



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE
PROTECCIONES Y SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA APLICADO A
SISTEMAS DE GENERACIÓN”

AUTORES

Andrés Danilo Vizuite Patarón.

José Fernando Sares Reyes.

DIRECTOR:

Ing. Roy Freddy Santana Jara.

GUAYAQUIL

2 DE MARZO 2017

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Andrés Danilo Vizuete Pataron y José Fernando Sares Reyes 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, 2 Marzo, 2017

Firma: _____

Autor: Andrés Vizuete Pataron.

Cédula: 0603197146.

Firma: _____

Autor: Fernando Sares Reyes

Cédula: 0930719158

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

Nosotros, **JOSÉ FERNANDO SARES REYES**, con documento de identificación N° **0930719158** y **ANDRÉS DANILO VIZUETE PATARON** con documento de identificación N° **0603197146**, manifestamos nuestra voluntad al ceder a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos los autores del trabajo de grado titulado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE PROTECCIONES Y SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA APLICADO A SISTEMAS DE GENERACIÓN”** mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO EN POTENCIA**, 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 nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 2 Marzo, 2017

Firma: _____

Autor: Andrés Danilo Vizuite Pataron.

Cédula: 0603197146.

Firma: _____

Autor: José Fernando Sares Reyes.

Cédula: 0930719158

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

Yo, **ROY FREDDY SANTANA JARA**, director del proyecto de Titulación denominado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE PROTECCIONES Y SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA APLICADO A SISTEMAS DE GENERACIÓN**” realizado por los estudiantes, Andrés Danilo Vizuete Pataron y José Fernando Sares Reyes, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, 2 Marzo, 2017

f).....

Ing. Roy F. Santana J.

DEDICATORIA

Dedico éste proyecto a mi madre Mayra Pataron, por ser un pilar fundamental en mi vida sin olvidar a mis abuelos Luz y Manuel quienes fueron mis segundos padres.

A mi esposa Valentina quien me apoyo en todo momento para conseguir mis tan anheladas metas.

Andrés Vizquete Pataron

A mis padres y quienes depositaron toda su confianza en mí para la realización de este proyecto.

A mi esposa Andrea quien se ha mantenido a mi lado apoyándome incondicionalmente en todo momento y a mi hija Luciana quien es mi fuerza para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

José Sares Reyes

AGRADECIMIENTOS

Primero agradezco el término de este proyecto a Dios por permitirme lograr esta anhelada meta, a mis padres que me apoyaron incondicionalmente a lo largo de mi vida, a mis abuelos y a todas esas personas que confiaron en mí. Quiero también dar gracias a todos los docentes por impartirme sus conocimientos y experiencias en el transcurso de la universidad, ya que todas esas enseñanzas me servirán por el resto de mi vida.

Andrés Vizuite Pataron

Agradezco a Dios, por transmitirme la paciencia y sabiduría para poder llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional. Agradezco también a los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana de la sede Guayaquil por transmitirme sus conocimientos durante el tiempo que duro mi carrera, al Ing. Roy Santana, tutor del proyecto, y al Ing. Ervin Solano por haberme guiado con sus conocimientos durante el inicio y conclusión del presente proyecto.

José F. Sares Reyes

RESUMEN

El presente proyecto trata sobre la construcción de un módulo didáctico de protecciones y sistemas eléctricos de potencia (SEP), aplicado a sistemas de generación, consta de una fuente alimentación local, alimentación trifásica del laboratorio, dos generadores síncronos y dos transformadores elevadores que conectan a una red tipo anillo, implementando sistemas de protección con su respectiva coordinación y ajuste de los Relés IED de Protecciones, garantizando la confiabilidad de la operación en los equipos, los mismos que deberán detectar selectivamente y despejar oportunamente todo tipo de fallas, asegurando una correcta operación incluso en condiciones de baja carga.

Una vez terminado el modulo se procederá a realizar ejercicios prácticos, los mismos que serán resueltos con el fin de ser objeto de estudio para profesores y alumnos de la carrera de Ingeniería Eléctrica y afines.

El proyecto formará parte de la implementación de un laboratorio de Protecciones Eléctricas de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil.

palabras clave: sistema eléctrico de potencia, sistema de generación, relés de protección, subestaciones eléctricas, protecciones, ied, confiabilidad, fallas, operación, generadores.

ABSTRACT

The present project deals with the construction of a didactic module of protections and electrical power systems (EPS) that are applied to generation systems. These systems consist of a local power supply, three-phase power supply of the laboratory, two synchronous generators and two elevators transformer that connect to a ring-type network. These protection systems, with their respective coordination and adjustment of IED Protection Relays, guarantee the reliability of the operation in the equipment. Then they must selectively detect and clear all types of faults in a timely manner to ensure a correct operation even under low load conditions.

Once the module is finished, practical exercises will be carried out towards a solution in order to be the object of study for teachers and students of the Electrical Engineering and related fields.

The project will be part of the implementation of a Laboratory of Electrical Protections of the Politecnica Salesiana University, Guayaquil.

Keywords: electrical power systems, generation systems, protection relays, electrical substations, protections, ied, reliability, failures, operation, generators.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Introducción	1
Capítulo 1	2
El problema	2
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Importancia y alcances	2
1.3. Delimitación	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivo específico	3
1.5. Marco metodológico	4
1.5.1. Recolección de datos y fuentes bibliográficas	4
1.5.2. Investigación teórica práctica	4
1.5.3 Instrumentación	5
1.6. Hipótesis	5
Capítulo 2	6
2. Marco teórico	6
2.1. Antecedentes	6
2.2. Anormalidades	6
2.3. Condiciones de operación	6
2.4. Necesidad de los sistemas de protección	7
2.5. Transformador	7
2.6 Conexiones del transformador	8
2.6.1 Conexión estrella – estrella	8
2.6.2 Conexión delta - delta	8
2.6.3 Conexión estrella – delta	9
2.6.4 Conexión delta – estrella	9
2.7. Circuito equivalente del transformador	10
2.8. Protecciones para un sep	11
2.8.1. Finalidad de la protección de un sep	11
2.8.2. Función principal de la protección de un sep	11
2.9. Análisis y coordinación de protecciones	12
2.9.1. Objetivo del sistema de protección	12
2.9.2. Componentes del sistema de protección	12
2.9.3. Relé de protección	13
2.9.4. Relé de protección sel 700g	14
2.9.5. Relé de protección sel 751	15
2.9.6. Curvas disponibles de sobrecorriente del relé sel 751	16

2.9.7. Protección de sobrecorriente	17
2.9.8. Protección instantánea.....	17
2.9.9. Protección de tiempo definido	18
2.9.10. Protección de tiempo inverso	19
2.10. Tipos de fallas	19
2.10.1. Cortocircuito trifásico simétrico	19
2.10.2. Cortocircuito entre fases	20
2.10.3. Cortocircuito entre fases con tierra	20
2.10.4. Cortocircuito entre fase y tierra.....	21
Capítulo 3.....	22
3. Diseño y construcción	22
3.1 Diseño	22
3.1.1 Estructura de soporte.....	22
3.1.2 Elaboración de la lámina de conexiones	25
3.1.3 Instalación de los elementos.....	28
3.2. Diseño eléctrico.....	29
3.2.1 Conexiones eléctricas.....	31
3.2.1.1. Circuito de fuerza.....	31
3.2.1.2. Circuito de control.....	34
3.2.2 Conexión interna de dispositivos eléctricos.....	36
3.3. Descripción y características técnicas de los elementos	37
3.3.1 Relé de sobrecorriente sel 751	39
3.3.1.1. Características técnicas	39
3.3.2 Relé de protección de generador sel 700g.....	40
3.3.2.1. Características técnicas	40
3.3.3. Analizador de energía	41
3.3.3.1. Características técnicas	41
3.3.4. Transformador de potencia	42
3.3.4.1. Características técnicas	43
3.3.5. Transformador de corriente.....	43
3.3.5.1. Características técnicas	44
3.3.6. Interruptor trifásico	44
3.3.6.1. Características técnicas	45
3.3.7. Contactor trifásico.....	45
3.3.7.1. Características técnicas	46
3.3.8. Seccionador trifásico.....	46
3.3.8.1. Características técnicas	47
3.3.9. Pulsador doble (no/nc)	47
3.3.9.1. Características técnicas	48
3.3.10. Luces piloto.....	48
3.3.10.1. Características técnicas	49

3.3.11. Bases fusibles bifásicas (incluye fusibles)	49
3.3.11.1. Características técnicas	50
3.3.12. Selector o-i	50
3.3.12.1. Características técnicas	51
3.3.13. Switch interruptor o-i (ojo de cangrejo).....	51
3.3.13.1. Características técnicas	52
3.4. Presupuesto para la construcción del módulo	53
Capítulo 4.....	54
Manual de prácticas.....	54
4.1 Práctica 1: introducción al módulo de generación, elementos y funcionamientos básicos.	55
4.1.1 Datos informativos	55
4.1.2 Datos de la práctica	55
4.1.3 Objetivo general.....	55
4.1.4 Objetivos específicos	55
4.1.5. Marco teórico	56
4.1.5.1 Transformador de potencia de subestaciones	56
4.1.5.2 Interruptores de potencia.....	56
4.1.5.3 Seccionador.....	57
4.1.5.4 Transformador de corriente.....	57
4.1.5.5 Transformador de potencial	58
4.1.5.6 Relé de protección sel-751	58
4.1.5.7 Relé de protección sel-700g.....	59
4.1.6. Marco procedimental	60
4.1.6.1 Componentes del módulo.....	60
4.1.6.2 Bloque de alimentación a – red local	60
4.1.6.3 Bloque de alimentación b y c – generador 1 y 2	61
4.1.6.4 Red tipo anillo.....	62
4.1.6.5 Bloque de control de interruptores.....	63
4.1.6.5 Bloque de relés de protección	63
4.1.7 Condiciones de funcionamiento.....	64
4.1.8 Recursos utilizados (equipos, accesorios y materiales consumibles)	65
4.1.9. Registro de resultados	65
4.1.10 Cuestionario	65
4.1.11 Bibliografía utilizada.....	65
4.1.12 Cronograma/calendario	65
4.2 Práctica 2: prueba de flujo de potencia en módulo de generación a vacío	66
4.2.1 Datos informativos	66
4.2.2 Datos de la práctica	66
4.2.3 Objetivo general.....	66
4.2.4 Objetivos específicos	66

4.2.5. Marco teórico	66
4.2.5.1 Flujo de corriente a vacío	66
4.2.5.2 Transformadores de corriente a vacío	67
4.2.6. Marco procedimental	67
4.2.7 Condiciones de funcionamiento.....	67
4.2.7.1 Energizar transformador#1 - 10 kva	68
4.2.7.2 Energizar transformador #2 - 3 kva	68
4.2.7. Energizar transformador #3 - 3 kva	69
4.2.8 Análisis matemático	70
4.2.8.1. Cálculo de valores de modelo real del transformador de 10 kva (-t1):.....	72
4.2.8.2. Cálculo de valores de modelo real del transformador de 3 kva (-t2):.....	72
4.2.8.3. Cálculo de valores de modelo real del transformador de 3kva mediano (-t5):	72
4.2.8.4. Cálculos de flujo de corriente a partir de modelo real de transformadores:	73
4.2.8.5. Corriente primaria del transformador -t1:	74
4.2.8.6. Corriente primaria del transformador -t2:	74
4.2.8.7. Corriente primaria del transformador -t3:	74
4.2.9 Recursos utilizados (equipos, accesorios y materiales consumibles)	74
4.2.10. Registro de resultados	75
4.2.11 Cuestionario	75
4.2.12 Bibliografía utilizada.....	75
4.2.13 Cronograma/calendario	75
4.3. Práctica 3: prueba de flujo de potencia del módulo de generación con carga y análisis de relación de transformación.	76
4.3.1. Datos informativos	76
4.3.2. Datos de la práctica	76
4.3.3. Objetivo general	76
4.3.4. Objetivos específicos.....	76
4.3.5. Marco teórico.....	76
4.3.5.1. Sobrecargas.....	76
4.3.6. Marco procedimental.....	77
4.3.6.1. Conexión de la red local con la carga de 3kva	77
4.3.6.2. Condiciones de funcionamiento	77
4.3.6.3. Energizar el sistema a través de los bornes de alimentación de la red local 78	
4.3.6.4. Energizar el sistema a través de los bornes de alimentación de generación 1 80	
4.3.6.5. Energizar el sistema a través de los bornes de alimentación de generación 2 81	
4.3.7. Recursos utilizados (equipos, accesorios y materiales consumibles).....	83
4.3.8. Registro de resultados.....	83
4.3.9. Cronograma / calendario	84
4.4. Práctica 4: protección de sobrecorriente en el transformador #1 del bloque de la red local mediante relé sel-751	85

4.4.1. Datos informativos	85
4.4.2. Datos de la práctica	85
4.4.3. Objetivo general	85
4.4.4. Objetivos específicos.....	85
4.4.5. Marco teórico.....	85
4.4.5.1. Transformadores de medición.....	85
4.4.5.2. Transformadores de corriente	86
4.4.5.3. La función de la protección por relevadores	87
4.4.5.4. Características funcionales de un sistema de protección	87
4.4.5.5 Protecciones instantáneas.....	88
4.4.5.6 Protecciones de tiempo diferido o con retraso en tiempo	88
4.4.6 Marco procedimental.....	88
4.4.6.1. Conexión desde la red local	88
4.4.6.2. Condiciones de funcionamiento.....	90
4.4.6.3. Energizar el sistema a través de los bornes de alimentación independiente .	91
4.4.6.4. Energizar el transformador de 3kva	91
4.4.5.5. Energizar los dos transformadores de 3kva.....	91
4.4.6. Cálculos matemáticos.....	91
4.4.7.1. Relación de transformación de corriente (rtc) del tc-1:	91
4.4.7.2. Sobrecorriente (51).....	95
4.4.7.3. Modelamiento de curvas de sobrecorriente [4].....	96
4.4.7.4. Prueba de sobrecorriente.	96
4.4.6.5. Instantáneo (50).....	98
4.4.6.6. Prueba de función instantánea	99
4.4.7. Recursos utilizados (equipos, accesorios y materiales consumibles).....	99
4.4.8. Registro de resultados.....	100
4.4.9. Cronograma / calendario	100
4.5. Práctica 5: protección diferencial en el transformador #2 y el generador 1 del bloque de generación mediante el relé sel-700g	101
4.5.1. Datos informativos	101
4.5.2. Datos de la práctica	101
4.5.3. Objetivo general	101
4.5.4. Objetivos específicos.....	101
4.5.5. Marco teórico.....	101
4.5.5.1. Ajuste de las protecciones diferenciales.....	101
4.5.5.2. Tipos de protecciones diferenciales.....	102
4.5.5.3. Protección diferencial en el relé sel-700g.	103
4.5.6. Marco procedimental.....	105
4.5.6.1. Conexión desde la alimentación b – generador 1	105
4.5.6.2. Energizar el transformador de 3kva.	106
4.5.6.3. Condiciones de funcionamiento	107
4.5.7. Cálculos matemáticos.....	107
4.5.7.1. Relación de transformación de corriente (rtc) de los tc-2 y 3	107
4.5.7.2. Prueba de función diferencial.....	113

4.5.8. Recursos utilizados (equipos, accesorios y materiales consumibles).....	115
4.5.9. Registro de resultados.....	115
4.5.10. Cronograma / calendario	116
4.6. Práctica 6: protección en las líneas de bahía de 600v del módulo de generación con carga mediante el relé sel-751	117
4.6.1. Datos informativos	117
4.6.2. Datos de la práctica	117
4.6.3. Objetivo general	117
4.6.4. Objetivos específicos.....	117
4.6.5. Marco teórico.....	117
4.6.5.1. Protección diferencial por barras	117
4.6.5.2 Transformadores de medición.....	118
4.6.5.3 Transformadores de corriente.....	118
4.6.5.4 La función de la protección por relevadores	119
4.6.5.5 Características funcionales de un sistema de protección.....	120
4.6.5.6 Sensibilidad.....	120
4.6.5.7 Selectividad.....	120
4.6.5.8 Rapidez.....	120
4.6.5.9 Protecciones instantáneas.....	120
4.6.5.10 Protecciones de tiempo diferido o con retraso en tiempo	121
4.6.6. Marco procedimental	121
4.6.6.1 Conexión desde la red local	121
4.6.6.2 Energizar los dos transformadores de 3kva.....	123
4.6.6.3 Condiciones de funcionamiento	125
4.6.7 Cálculos matemáticos.....	125
4.6.7.1 Relación de transformación de corriente (rtc) de los tc-7, 6 y 10	125
4.6.7.2 Instantáneo (50).....	127
4.6.7.3 Prueba de función instantánea	131
4.6.8 Recursos utilizados (equipos, accesorios y materiales consumibles).....	132
4.6.9 Registro de resultados.....	132
4.6.10 Cronograma / calendario	132
Conclusiones	133
Recomendaciones.....	134
Bibliografía	135
Anexos.....	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: construcción del transformador tipo núcleo. Fuente: [2].	7
Figura 2: banco trifásico estrella – estrella. Fuente: los autores.	8
Figura 3: banco trifásico delta - delta. Fuente: los autores.	9
Figura 4: banco trifásico estrella - delta. Fuente: los autores.	9
Figura 5: banco trifásico delta - estrella. Fuente: los autores.	10
Figura 6: modelos aproximados de un transformador, a) referido al lado primario; b) referido al lado secundario. Fuente: [2].	10
Figura 7: componentes de un sistema de protección. Fuente: [1].	12
Figura 8: esquema lógico de un relé de protección. Fuente: [1].	14
Figura 9: dispositivo de protección para generadores sel 700g. Fuente: [3].	15
Figura 10: dispositivo de protección sel 751. Fuente: [4].	16
Figura 11. Protección sobrecorriente según el tiempo de operación. Fuente: los autores.	17
Figura 12: curva de tiempo instantáneo. Fuente: [5].	18
Figura 13: curva de tiempo definido. Fuente: [5].	18
Figura 14: curva de tiempo inverso. Fuente: [5].	19
Figura 15: falla trifásica. Fuente: los autores.	20
Figura 16: falla bifásica a tierra. Fuente: los autores.	20
Figura 17: falla bifásica a tierra. Fuente: los autores.	20
Figura 18: falla monofásica a tierra. Fuente: los autores.	21
Figura 19: construcción de estructura metálica (mesa). Fuente: los autores.	23
Figura 20: construcción de estructura metálica (marco metálico). Fuente: los autores	23
Figura 21: construcción de estructura metálica (lámina frontal- calado). Fuente: los autores.	24
Figura 22. Construcción de estructura metálica (soporte trasero). Fuente: los autores.	24
Figura 23: colocación de lona sobre lámina de acero. Fuente: los autores.	25

Figura 24: presentación de lona y perforaciones sobre tablero. Fuente: los autores..	25
Figura 25: presentación de vinil antes de plotear. Fuente: los autores.....	27
Figura 26: presentación de vinil sobre tablero. Fuente: los autores.....	28
Figura 27: instalación de elementos sobre tablero. Fuente: los autores.....	28
Figura 28: instalación de elementos sobre tablero. Fuente: los autores.....	29
Figura 29: vista frontal de los elementos instalados. Fuente: los autores.....	29
Figura 30: simulación del módulo en el programa etap. Fuente: los autores.....	30
Figura 31: diagrama de fuerza y protección – módulo generador. Fuente: los autores.	32
Figura 32: diagrama de fuerza y medición – módulo generador. Fuente: los autores.	33
Figura 33: diagrama de control - módulo generador. Fuente: los autores	35
Figura 34: conexiones y cableado vista 1. Fuente: los autores	36
Figura 35: conexiones y cableado vista 2. Fuente: los autores.....	36
Figura 36: conexiones y cableado vista 3. Fuente: los autores.....	37
Figura 37 diseño y distribución de los elementos del módulo. Fuente: los autores...	38
Figura 38: relé de sobrecorriente diferencial sel 751. Fuente: los autores.....	39
Figura 39: relé de protección de generador sel 700g. Fuente: los autores.....	40
Figura 40: analizador de energía siemens. Fuente: los autores.....	41
Figura 41: transformador de voltaje 600/220 vac. Fuente: los autores	43
Figura 42: transformador de corriente 20/5 amp. Fuente: los autores	44
Figura 43: interruptor trifásicos siemens. Fuente: los autores.....	45
Figura 44: contactores trifásicos chint. Fuente: los autores.....	46
Figura 45: seccionador trifásico eaton. Fuente: los autores.....	47
Figura 46: pulsador doble no/nc siemens. Fuente: los autores.....	48
Figura 47: luces piloto ebc. Fuente: los autores.....	49
Figura 48: bases fusible bifásica. Fuente: los autores.....	50
Figura 49: selector o-i ebc. Fuente: los autores.....	51

Figura 50: módulo de fallas a tierra. Fuente: los autores.	52
Figura 51: transformador de potencia 30 mva. Fuente: los autores.	56
Figura 52: interruptor de potencia aislado en sf6. Fuente: [7].	56
Figura 53: seccionador de alta tensión. Fuente: [8].	57
Figura 54: transformadores de corriente de subestaciones. Fuente: [7].	57
Figura 55: transformadores de potencial. Fuente: [7].	58
Figura 56: relé de sobrecorriente sel-751 a. Fuente: [4].	59
Figura 57: relé de protección diferencial sel-387 e. Fuente: [3].	59
Figura 58: bloque de alimentación a – red local. Fuente: los autores.	61
Figura 59: bloque de alimentación b- generador 1. Fuente: los autores	61
Figura 60: bloque de alimentación c- generador 2. Fuente: los autores.	62
Figura 61: red eléctrica tipo anillo. Fuente: los autores.	62
Figura 62: unidad de control para interruptores fuente: los autores.	63
Figura 63: bloque de relés de protección. Fuente: los autores.	64
Figura 64: modelo real del transformador. Fuente: [2].	73
Figura 65: conexión de la red local con el transformador de 10kva y la conexión con la carga de 3kva. Fuente: los autores.	77
Figura 66: medición de corriente en el lado de 208v. Fuente: los autores.	78
Figura 67: medición de corriente del trafo de 3kva. Fuente: los autores.	79
Figura 68: medición de corriente en el lado de 208v. Fuente: los autores.	80
Figura 69: medición de corriente del trafo de 3kva. Fuente: los autores.	81
Figura 70: medición de corriente en el lado de 208v. Fuente: los autores.	82
Figura 71: medición de corriente del trafo de 3kva. Fuente: los autores.	83
Figura 72: conexión con la red local con el módulo de generación y el transformador de 10kva. Fuente: los autores.	89
Figura 73: conexión del relé sel – 751 con el tc-1 y tp-1. Fuente: los autores.	90
Figura 74: medición de corriente en el lado de 208v. Fuente: los autores.	92
Figura 75: medición de corriente desde la conexión del tc-1. Fuente: los autores. ...	92

Figura 76: menú “main” y submenú “meter”. Fuente: [4].....	93
Figura 77: menú “set/show”. Fuente: [4].	94
Figura 78: medición de corriente del trafo de 3kva. Fuente: los autores.	95
Figura 79: curva tipo c2 elaborada por medio del software excel, ajustes de 6 amp como corriente de pickup y $t_d=0.05$. Fuente: los autores.	97
Figura 80: medición de corriente de la unión de dos transformadores de 3kva. Fuente: los autores.....	98
Figura 81: característica de ajuste de la protección diferencial. Fuente: [1].....	102
Figura 82: esquema del relé diferencial tipo corriente circulante. Fuente: [1].	103
Figura 83: esquema del relé diferencial tipo corriente circulante. Fuente: [1].	103
Figura 84: esquema del relé diferencial. Fuente: autores.....	104
Figura 85: modo de operación del relé diferencial. Fuente: autores.....	104
Figura 86: conexión con la red local con el bloque de generación b y el transformador de 10kva. Fuente: los autores.	105
Figura 87: diagrama de conexionado entre los tc’s y el relé diferencial sel-700g. Fuente: los autores.....	106
Figura 88: conexión entre el transformador de 3kva y el módulo de generación. Fuente: los autores.....	107
Figura 89: conexionado final de la práctica de protección diferencial en el módulo de generación. Fuente: los autores.	107
Figura 90: medición de corriente en el lado de 208v. Fuente: los autores.....	108
Figura 91: método para medir de corriente del tc. Fuente: los autores.....	108
Figura 92: menú “main” y submenú “meter”. Fuente: [1].	109
Figura 93: menú “set/show”. Fuente: [1].	110
Figura 94: módulo de fallas a tierra o fallas de línea a línea. Fuente: autores.	110
Figura 95: borneras de prueba para realizar fallas a tierra o fallas de línea a línea. Fuente: autores.	110
Figura 96: falla de línea a línea externa generada desde la fuente. Fuente: autores.	111
Figura 97: falla de línea a línea externa generada desde la carga. Fuente: autores..	112

Figura 98: falla de línea a línea interna generada desde el devanado de alta del transformador. Fuente: autores.....	112
Figura 99: falla de línea a línea interna generada desde el devanado de baja del transformador. Fuente: autores.....	113
Figura 119: conexión con la red local con el módulo de generación y el transformador de 10kva. Fuente: los autores.	122
Figura 120: diagrama de conexionado del tc-7. Fuente: los autores.....	122
Figura 121: conexión del relé sel – 751 con los tc-6, tc-7, tc-10. Fuente: los autores.	123
Figura 122: conexión entre los transformadores de 3kva con el módulo de generación. Fuente: los autores.....	124
Figura 123: conexionado final de la práctica de sobrecorriente en las líneas de bahía de 600v. Fuente: los autores.....	124
Figura 124: medición de corriente en el lado de 208v. Fuente: los autores.....	125
Figura 125: medición de corriente en el lado de 208v. Fuente: los autores.....	126
Figura 126: menú “main” y submenú “meter”. Fuente: [1].	126
Figura 127: menú “set/show”. Fuente: [1].	127
Figura 128: módulo de fallas a tierra o fallas de línea a línea. Fuente: autores.	128
Figura 129: borneras de prueba para realizar fallas a tierra o fallas de línea a línea. Fuente: autores.	128
Figura 130: falla de línea a línea que medirá el tc-6. Fuente: autores.	129
Figura 131: falla de línea a línea que medirá el tc-7. Fuente: los autores.....	129
Figura 132: falla de línea a línea que medirá el tc-10. Fuente: los autores.....	130
Figura 133: conexión interna de los tc’s de bahía con el módulo y el relé sel-751. Fuente: los autores.....	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: componentes de un sistema de protección. Fuente: [1].	13
Tabla 2. Curvas sobre corriente de tiempo inverso. Fuente: [4].	16
Tabla 3: detalle de elementos y equipos. Fuente: los autores.	37
Tabla 4: presupuesto para la construcción del proyecto: fuente: los autores.	53
Tabla 5: valores a vacío del transformador #1. Fuente: los autores.	68
Tabla 6: valores a vacío del transformador #2. Fuente: los autores.	69
Tabla 7: valores a vacío del transformador #3. Fuente: los autores.	70
Tabla 8: valores de pruebas de transformadores. Fuente: los autores.	71
Tabla 9: valores nominales de corrientes del trafo de 10kva. Fuente: los autores.	79
Tabla 10: valores nominales de corrientes de los transformadores de 10kva y 3kva. Fuente: los autores.	79
Tabla 11: valores nominales de corrientes del trafo de 3kva. Fuente: los autores.	80
Tabla 12: valores nominales de corrientes del transformador #2 de 3kva y el transformador #3 de 3kva. Fuente: los autores.	81
Tabla 13: valores nominales de corrientes del trafo #3 de 3kva. Fuente: los autores.	82
Tabla 14: valores nominales de corrientes del transformador #3 de 3kva y el transformador #2 de 3kva.	83
Tabla 15: registro de valores de corrientes. Fuente: los autores.	93
Tabla 16: valores nominales de corrientes del trafo de 10kva. Fuente: los autores.	94
Tabla 17: valores nominales de corrientes de los transformadores de 10kva y 3kva. Fuente: los autores.	95
Tabla 18: tabulación de datos por medio de una hoja de cálculo en excel para modelamiento de curva c2 con 6 amperios como corriente de ajuste y 0.05 de td. Fuente: los autores.	97
Tabla 19: parámetros de ajuste del relé sel-751 para la función sobrecorriente. Fuente: los autores.	98
Tabla 20: valores nominales de corrientes de los transformadores de 10kva y 3kva. Fuente: los autores.	99

Tabla 21: parámetros de ajuste del relé sel-751 para la función instantánea. Fuente: los autores.	99
Tabla 22: registro de valores de corrientes. Fuente: los autores.	109
Tabla 23: configuraciones de grupo. Fuente: los autores.	113
Tabla 24: configuraciones para el diferencial. Fuente: los autores.	114
Tabla 28: registro de valores de corrientes. Fuente: los autores.	127
Tabla 29: corrientes que registran los tc's tanto en falla como en operación normal. Fuente: los autores.	130
Tabla 30: parámetros de ajuste del relé sel-751 para la función instantánea. Fuente: los autores.	131

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Impedancia de cortocircuito. Fuente: [2].	71
Ecuación 2: Admitancia de excitación. Fuente: [2].	71
Ecuación 3: Conductancia. Fuente: [2].	71
Ecuación 4: Susceptancia. Fuente: [2].	71
Ecuación 5: Resistencia de excitación. Fuente: [2].	71
Ecuación 6: Reactancia de excitación. Fuente: [2].	71
Ecuación 7: Corriente en el lado primario del transformador. Fuente: [2].	73
Ecuación 8: Corriente a vacío del transformador. Fuente: [2].	74
Ecuación 9: Relación de transformación del transformador de corriente fuente: [10]	86
Ecuación 10: Error de relación en forma porcentual. Fuente: [10].	86
Ecuación 11: Factor de corrección de la relación. Fuente: [10].	87
Ecuación 12: Tiempo de disparo con curva c2. Fuente: [4].	96
Ecuación 13: Múltiplo del ajuste. Fuente: [4].	96
Ecuación 14: Relación de transformación del transformador de corriente fuente: [1],	118
Ecuación 15: Error de relación en forma porcentual. Fuente: [1].	119
Ecuación 16: Factor de corrección de la relación. Fuente: [1].	119

ABREVIATURAS

ANSI	Instituto Nacional Americano de Normalización
AWG	Calibre de alambre estadounidense
Cu	Cobre
ETAP	Electrical Power System Analysis & Operation Software
FIG.	Figura
IEC	International Electrotechnical Commission
IED	Intelligent Electronic Device
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineering
IN	Entrada
KV	Kilo voltios
KVA	Kilo voltios amperios
L1	Conductor línea 1
L2	Conductor línea 2
L3	Conductor línea 3
MM.	Milímetros
MVA	Mega voltios amperios
OUT	Salida
PLG.	Pulgadas
SCADA	Sistema de supervisión y control de adquisición de datos
SEL	Schweitzer Engineering Laboratories
SEP	Sistema Eléctrico de Potencia
SLP	Slope, Pendiente

TC	Transformador de corriente
THHN	Thermoplastic Insulation/Nylon Sheath Heat, Oil Resistant
TP	Transformador de potencial
V	Voltios
VL	Voltaje de línea
Vac	Voltios AC, (corriente alterna)
VAR	Voltios amperios reactivos
Y	Conexión Estrella
Yn	Conexión Estrella con Neutro
Δ	Conexión Delta

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
#	Número
°C	Grados Centígrados
C	Capacitancia
E	Voltaje
f	Frecuencia
I	Corriente
I_{cc}	Corriente de cortocircuito
I_d	Corriente diferencial
I_k''	Corriente de cortocircuito
I_o	Corriente de vacío
I_{op}	Corriente de operación
I_{rt}	Corriente de restricción o retención
L	Inductancia
R	Resistencia
X	Reactancia
X_C	Reactancia capacitiva
X_L	Reactancia inductiva
Z_{cc}	Impedancia de cortocircuito
Z_{ert}	Impedancia de fase a tierra
Z_{lneutro}	Impedancia de línea a neutro
Z_s	Impedancia de carga

50	Protección instantánea
51	Protección contra sobrecorriente
-52	Nomenclatura ANSI para Interruptor
-89	Nomenclatura ANSI para seccionador
87	Protección diferencial

INTRODUCCIÓN

Como proyecto de fin de carrera se realizó el diseño y construcción de un módulo didáctico de generación mediante la conexión de una red local (alimentación del laboratorio) y dos generadores con dos transformadores elevadores a través de una red tipo anillo, implementando los sistemas de protección mediante la coordinación y ajuste de los Relés IED de Protecciones.

En el transcurso de la construcción de dicho módulo, se detalló una serie de capítulos que describen los equipos que van a funcionar en el tablero, también se menciona que tipo de protecciones se utilizará en el módulo. Ésta investigación será objeto de estudio para los estudiantes de la Politécnica Salesiana quienes podrán realizar una serie de prácticas que están destinadas al aprendizaje de los estudiantes.

Muy pocas universidades en el país tienen módulos o tableros de entrenamiento para realizar pruebas de protecciones aplicadas a los sistemas de generación. Gracias a esto se detectó necesidad de realizar éste trabajo, que complementará el estudio de la Carrera de Ingeniería Eléctrica en la Universidad.

Este proyecto comenzó desde la construcción de la estructura, pintura, calado, y vinil. Después se realizó el montaje de los equipos, el cableado, marquillado en los cables y el armado del circuito de control, para que el modulo pueda ser intervenido por una persona (modo local), o sea desde un scada (modo remoto).

En el momento que se ejecutó el proyecto, nos vimos en la tarea de encontrar la mejor metodología de investigación que se adapte a nuestro proyecto. Y se escogió el estudio experimental que es el más adecuado donde nosotros debemos explicar el por qué de los hechos mediante la manipulación de variables, estableciendo relaciones de causa – efecto.

El proyecto está dividido en cuatro capítulos donde se detallara el planteamiento del problema, el marco teórico, la construcción del módulo y un manual de prácticas para la manipulación del tablero de pruebas.

CAPÍTULO 1

EL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

En estos tiempos la tecnología avanza a un ritmo considerable sin olvidar la gran cantidad de información de sistemas de potencia que podemos adquirir con tan solo hacer clic, la misma que pueden ser objeto de estudio y ser impartida en las universidades, para ello se recurre a medios pedagógicos prácticos en las carreras técnicas con el fin de que ésta información teórica pueda ser entendida.

De allí parte la necesidad de contar con medios prácticos en la facultad de Ingeniería Eléctrica de nuestra Sede Guayaquil; para enriquecer el conocimiento teórico-práctico a todas las materias de especialización.

Gran parte de las materias de especialización poseen alto contenido teórico que debería ser debidamente reforzado con mecanismos prácticos.

Al ser manifestado éste problema se plantea fabricar un módulo de prueba para poder ampliar los conocimientos sobre protecciones y sistemas eléctricos de potencia aplicados a sistemas de generación.

1.2. Importancia y Alcances

Con la aplicación de este proyecto se pondrán en práctica los conocimientos adquiridos en las materias de especialidad, además se pondrá atención en el desarrollo de prácticas para que los estudiantes refuercen la parte teórica. Gracias a esto se puede observar la importancia de fabricación de este módulo didáctico en el laboratorio.

En el módulo se utilizarán relés SEL 700G y 751, estos equipos son dispositivos inteligentes que serán parte del sistema y pueden ser usados en muchas aplicaciones didácticas. Estos tipos de protecciones son sumamente necesarios en los sistemas de potencia, tiene como función proteger los elementos de un SEP por ejemplo a los generadores, transformadores, barras del sistema, líneas de transmisión, etc.

Es fundamental tener información relacionado con el funcionamiento y operación de los sistemas de potencia, así como de los dispositivos que intervienen en el módulo.

1.3. Delimitación

Se implementará un módulo de protecciones aplicado a sistemas de generación con fines didácticos, además se realizará los distintos ajustes a los IED's (Dispositivos Electrónicos Inteligentes) para que actúen ante alguna falla que se presente.

Adicional a eso se diseñará un circuito de control, el mismo que tendrá la función de abrir o cerrar los interruptores del sistema, y se entregará un manual de prácticas para el uso apropiado del módulo de generación.

Este proyecto está previsto entregarse en el mes de Marzo del 2017, y formara parte del nuevo laboratorio de Sistemas Eléctricas de Potencia de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un tablero de pruebas mediante la construcción de un módulo didáctico de protecciones y sistemas eléctricos de potencia aplicado a sistemas de generación.

1.4.2. Objetivo Especifico

- Esquematizar un módulo didáctico de protecciones y sistemas eléctricos de potencia que ayude como herramienta de aprendizaje en las materias de especialización de la carrera.
- Establecer un manual de procedimientos básicos para el ajuste de los relés de protección que están presentes en nuestro módulo.
- Simular fallas reales que ocurren en los sistemas eléctricos de potencia aplicado a sistemas de generación.
- Elaborar un manual de prácticas de laboratorio que explique el funcionamiento del módulo ante condiciones específicas de operación del sistema.

1.5. Marco Metodológico

Con el fin de cumplir todos los objetivos del proyecto se aplicaran diferentes técnicas y herramientas de investigación que nos ayuden al desenvolvimiento del proyecto y proporcione información fiable para el diseño y la construcción del módulo, tales como: recolección de datos, fuentes bibliográficas, investigación teórica-práctica e instrumentación.

1.5.1. Recolección de datos y fuentes bibliográficas

Para reunir la información necesaria se utilizaran diversas fuentes bibliográficas enfocadas a temas como: matriz energética, sistemas eléctricos de potencia, generadores, transformadores elevadores, sistemas de generación, coordinación de protecciones, normas eléctricas, hojas de datos de los equipos, fichas técnicas, manuales de usuario, entre otras.

1.5.2. Investigación teórica práctica

Para el diseño eléctrico del circuito del módulo de generación se utilizaran los datos teóricos básicos tales como: principios eléctricos, enunciados, leyes, normas y ecuaciones, para una vez terminado proceder a simularlo en el programa ETAP, gracias al cual podemos conocer el flujo de potencia y simular un sin número de fallas en diversos puntos del circuito, además nos ayudará a contrastar los valores reales obtenidos luego de las pruebas y los valores simulados por el programa ETAP.

Para la programación y configuración de los relés de protección SEL 751 y SEL 700G se parametrizará de forma manual en los respectivos relés de acuerdo a la aplicación predeterminada. Una vez realizados todos estos cálculos se procederá a dimensionar los elementos para el montaje y cableado de los mismos en el módulo, se energizará el sistema y se efectuaran mediciones de todos los parámetros eléctricos del circuito para finalmente realizar las pruebas referentes a coordinación de protecciones y maniobras de cierre/apertura.

1.5.3 Instrumentación

Para desarrollar la tarea de medición se emplearán elementos tales como: multímetro, pinza amperimétrica y tres analizadores de red. Los analizadores de red estarán colocados de la siguiente forma: Uno en la entrada de la red local (alimentación trifásica del laboratorio) y los otros dos a la salida de cada fuente de generación, esto es después del transformador elevador, esta distribución nos permitirá conocer el flujo eléctrico y todas sus características en cualquiera de sus fuentes de alimentación

1.6. Hipótesis

Este proyecto trata de demostrar de forma didáctica la relación causa – efecto de fenómenos o fallas eléctricas que son expuestas en el módulo, y éstas a su vez serán objeto de estudio para ser aceptadas o rechazadas mediante el cálculo y la práctica.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Desde que se descubrió la energía eléctrica, ésta ha jugado un papel importante en el desarrollo de la humanidad. El medio por el cual llega la energía a los consumidores, requiere de estructuras cada vez más complejas, llamadas Sistemas de Potencia.

Se puede decir que un SEP (Sistema Eléctrico de Potencia) es un sistema muy complejo y en ocasiones difícil de entender, cuyo funcionamiento es consecuencia de la interacción entre sus componentes (generadores, transformadores, líneas). En otras palabras se puede concluir que es la integración armoniosa de diferentes elementos tales como: unidades generadoras eléctricas, líneas de transmisión, equipos conectados eléctricamente o mecánicamente a la red.

2.2. Anormalidades

Una anomalía se explica como cualquier evento o suceso que obstruye el flujo normal de la intensidad. Las fallas eléctricas se las considera como condiciones anormales de operación, cuando se produce una falla las componentes de corriente y voltaje son excesivas en ciertos puntos del sistema. Para mitigar tales condiciones se instalan diversos equipos protectores.

2.3. Condiciones de operación

Un ingeniero eléctrico en todo momento debe considerar en el diseño de un SEP las condiciones normales y anormales del sistema eléctrico. Para esto se necesita tener un conocimiento profundo en circuitos trifásicos y protecciones, las condiciones de operación son muy complejas cuando se analiza el sistema eléctrico.

Los SEP están calculados y diseñados para operar tanto en condiciones normales y anormales, se debe garantizar su confiabilidad, su continuidad del servicio, y su robustez. Cabe recalcar que cuando se presente un disturbio en el SEP, éste incitará a condiciones de falla, las cuales deben ser despejadas por los sistemas de protección en el menos tiempo posible.

2.4. Necesidad de los sistemas de protección

El sistema eléctrico de potencia está conformado por muchos componentes interconectados entre sí, están dispersos en grandes zonas geográficas. Cada componente puede tener un gran número de subcomponentes [1].

Un SEP está conformado de muchos componentes interconectados como se mencionó en la cita de arriba. Para cuidar éstos componentes de alguna falla creada en algún punto del sistema, es necesario y de vital importancia que el sistema tenga instalado protecciones eléctricas, los equipos que se encuentran conectados al sistema son extremadamente costosos.

Además un SEP debe garantizar la continuidad del servicio en todo momento y las protecciones ayudarían a cumplir tal misión.

2.5. Transformador

Se puede definir al transformador como una máquina eléctrica estacionaria que trabaja con corriente alterna y está constituida por dos arrollamientos, primario y secundario; éstos a su vez permiten transmitir energía eléctrica de un nivel de tensión y corriente a otro nivel con magnitudes distintas.

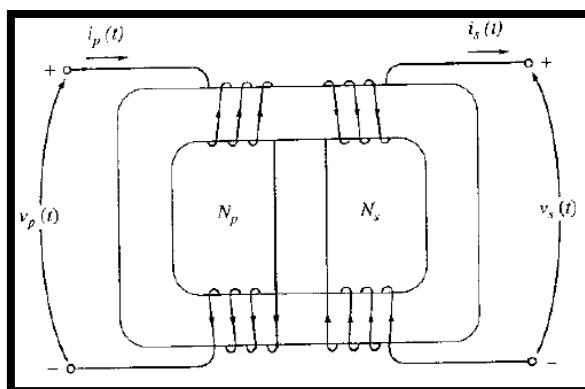


FIGURA 1: CONSTRUCCIÓN DEL TRANSFORMADOR TIPO NÚCLEO. FUENTE: [2]

2.6 Conexiones del transformador

2.6.1 Conexión estrella – estrella

La conexión que se muestra en la figura 2 se utiliza cuando se necesita alimentar grandes cargas monofásicas de manera simultánea con cargas trifásicas, ésta conexión además se recurre solo si el neutro del primario se puede conectar sólidamente al neutro de la fuente de alimentación ya sea con un neutro común o a través de tierra.

Es importante tener en cuenta ésta condición porque cuando los neutros de ambos lados del banco de transformadores no se unen, el voltaje de L-N tiende a distorsionarse.

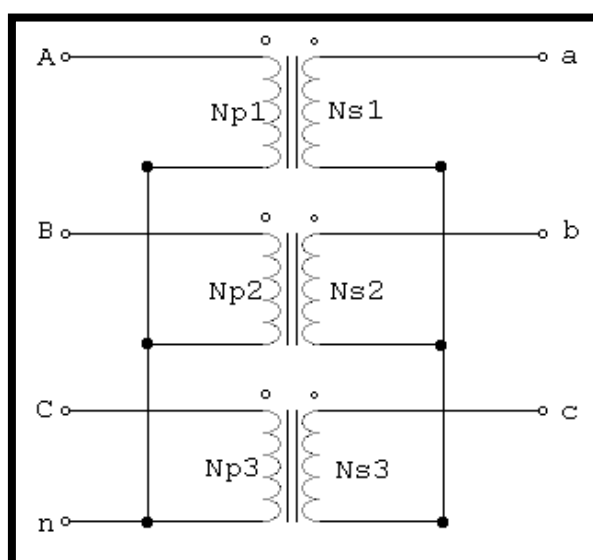


FIGURA 2: BANCO TRIFÁSICO ESTRELLA – ESTRELLA. FUENTE: LOS AUTORES.

2.6.2 Conexión delta - delta

La conexión que se muestra en la figura 3 se utiliza con frecuencia para alimentar cargas de alumbrado pequeñas y cargas trifásicas simultáneamente. Para esto se puede localizar una derivación en la mitad del arrollamiento secundario de uno de los transformadores, mediante una conexión a tierra con el neutro del secundario. De esta manera, las cargas monofásicas se conectan entre los conductores de fase y neutro, por lo tanto, el transformador toma dos terceras partes de la carga monofásica y una tercera parte de la carga trifásica.

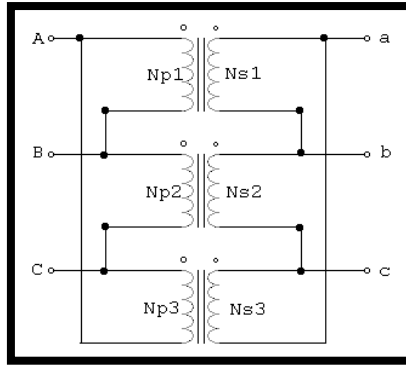


FIGURA 3: BANCO TRIFÁSICO DELTA - DELTA. FUENTE: LOS AUTORES.

2.6.3 Conexión estrella – delta

La conexión que exponemos a continuación se usa con frecuencia para alimentar las cargas trifásicas grandes de un SEP en conexión estrella. La desventaja de esta conexión es la de no tener neutro para alimentar cargas monofásicas y trifásicas en forma simultánea. Por otra parte, su principal ventaja es que la impedancia de los tres transformadores no necesariamente debe ser la misma conexión.

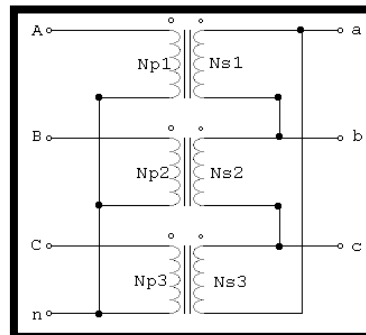


FIGURA 4: BANCO TRIFÁSICO ESTRELLA - DELTA. FUENTE: LOS AUTORES.

2.6.4 Conexión delta – estrella

Habitualmente este tipo de conexión se utiliza para mantener en forma combinada, cargas trifásicas y cargas monofásicas, las cuales pueden ser gran capacidad. En transformadores de potencia, la conexión delta – estrella, se recurre para aumentar los niveles de tensión. La conexión estrella permite la facilidad de disponer de neutro para conexión a tierra. La desventaja de dicha conexión es cuando se quiere conectar en paralelo transformadores trifásicos en conexión delta – estrella, se debe considerar el desplazamiento angular entre la delta y la estrella.

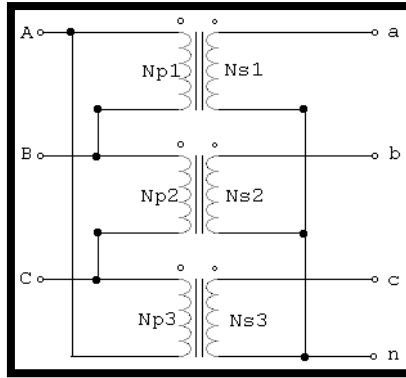


FIGURA 5: BANCO TRIFÁSICO DELTA - ESTRELLA. FUENTE: LOS AUTORES.

2.7. Circuito equivalente del transformador

Los modelos de transformador mostrados, son con frecuencia más complejos que lo requerido en la práctica para obtener buenos resultados. Uno de los principales inconvenientes es, que la rama de excitación del modelo añade otro nodo al circuito en análisis, lo cual hace que su solución sea más compleja de lo necesario. La rama de excitación tiene una corriente muy pequeña comparada con la corriente de carga de los transformadores. En efecto, es tan pequeña que en condiciones normales causa una caída de voltaje despreciable en R_p y X_p . Por esta causa, se ha elaborado un circuito equivalente simplificado que opera casi tan bien como el original. Solo se ha movido la rama de excitación hacia la entrada del circuito, dejando en serie las impedancias primaria y secundaria. Estas impedancias se adicionan dando como resultados los circuitos que se muestran en la figura [2, p. 85].

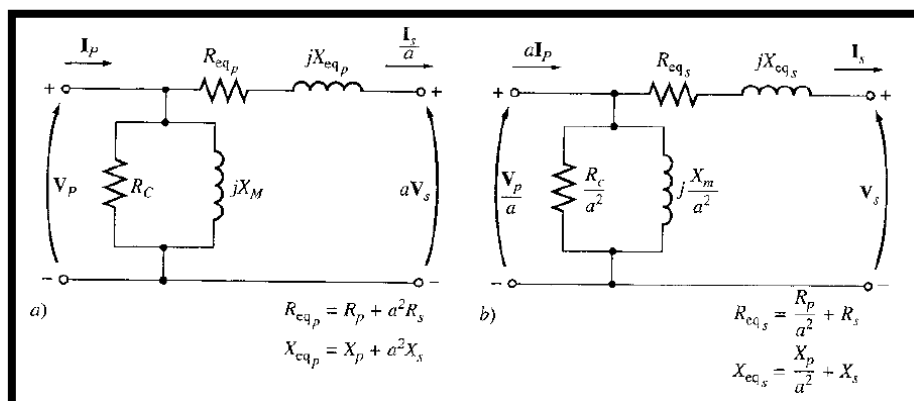


FIGURA 6: MODELOS APROXIMADOS DE UN TRANSFORMADOR. A) REFERIDO AL LADO PRIMARIO; B) REFERIDO AL LADO SECUNDARIO. FUENTE: [2].

2.8. Protecciones para un SEP

2.8.1. Finalidad de la protección de un SEP

La confiabilidad, calidad, continuidad, y servicio son exigencias que están unidas al correcto funcionamiento de un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP). Si se cumple con estas exigencias se puede garantizar, que la energía que se produce tanto en represas eléctricas como en centrales térmicas sea suministrada de forma interrumpida.

La continuidad del servicio es el principal objetivo de un SEP, debe garantizar que la energía producida sea abastecida de forma permanente a la carga.

Es importante tener una continuidad en el servicio, la energía no puede ser almacenada en forma significativa, por lo que una interrupción del suministro tiene repercusiones directas e inmediatas sobre los procesos que se desarrollan a partir del consumo de energía eléctrica. Para esto, el sistema debe ser confiable con respecto a las protecciones, éstas deben ser capaces interrumpir el camino por donde circula la falla.

2.8.2. Función principal de la protección de un SEP

La principal característica de la protección de un SEP, es retirar lo más rápido posible cualquier equipo del SEP cuando éste sufre una falla o cuando empieza a funcionar en cualquier forma anormal, que pueda interferir con el funcionamiento correcto del sistema.

Todos los equipos de protección son ayudados por los interruptores, que tienen la tarea de aislar la falla que se presenta en un corto periodo de tiempo.

En otras palabras la protección es un seguro de vida para los equipos que se desean salvaguardar porque son extremadamente costosos.

Un proceso de protección puede resumirse en tres etapas, a saber:

- Detectar las corrientes y/o tensiones.
- Analizar si esos valores son o no perjudicables al sistema.
- Si son perjudiciales, desconectar la parte de la falla en el menor tiempo posible.

2.9. Análisis y coordinación de protecciones

2.9.1. Objetivo del sistema de protección

El objetivo de un sistema de protección, es de minimizar el lapso de tiempo para suprimir la falla. El sistema de protección no previene las fallas, pues es necesario que primero se detecten condiciones anormales de operación o condiciones de falla para que actúe.

La rápida desconexión del componente puede evitar que se produzca daño en otros componentes del sistema o que la falla tenga un efecto mayor, lo cual contribuye a la seguridad del sistema.

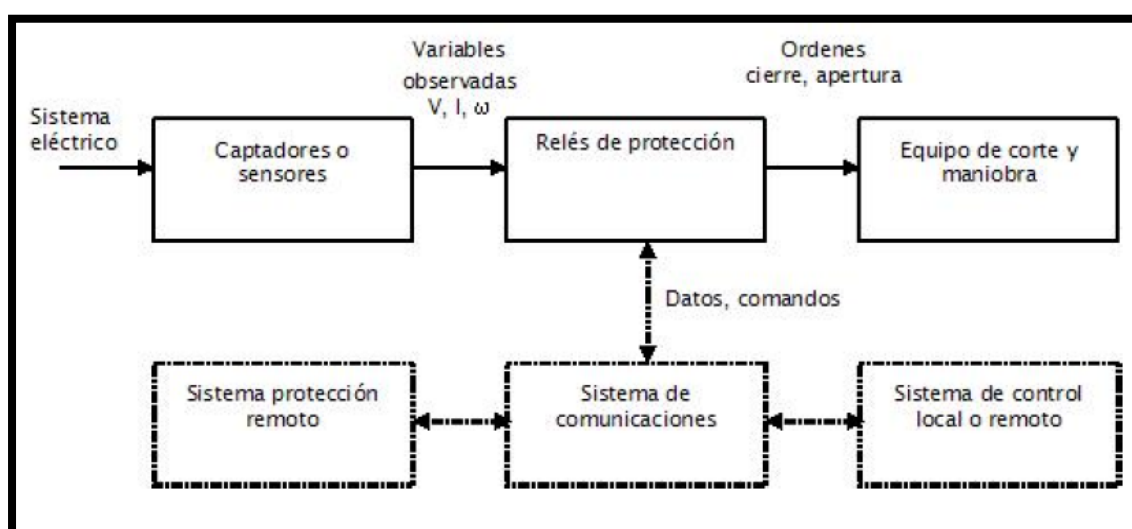


FIGURA 7: COMPONENTES DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN. FUENTE: [1].

2.9.2. Componentes del sistema de protección

Los componentes de un sistema de protección son:

TABLA 1: COMPONENTES DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN. FUENTE: [1].

	Descripción.	Ejemplo.
Sensores captadores	<ul style="list-style-type: none"> Transforman las variables de interés (eléctricas o mecánicas) a los valores adecuados para alimentar los relés de protección (Bajo voltaje y corrientes de 1 o 5 amperios). 	<ul style="list-style-type: none"> Transformadores instrumentación. Termocuplas. Sensores de velocidad y presión.
Relés (Relays)	<p>Determinan la existencia de condiciones anormales o de falla del sistema eléctrico. Realizan acciones como: orden de disparo (apertura, desconexión), orden de cierre (conexión), alarma (anuncio).</p>	<ul style="list-style-type: none"> Relé térmico Relé de sobrecorriente.
Equipo de corte y maniobra (switchgear)	<p>Realizan las maniobras de conexión y desconexión de los equipos, implican condiciones de sobrevoltajes, sobrecorrientes y el fenómeno del arco (en la interrupción de corrientes) que no pueden ser manejados directamente por los relés.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Interruptores Seccionadores Reconectores
Sistema de comunicación (opcional)	<p>Permite intercambiar información con otros relés y con un sistema de control local o remoto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Fibra óptica Power Line Carrier (PLC) Microondas.

2.9.3. Relé de protección

Los relés de protección o IED ofrecen un sinnúmero de ventajas y desventajas, las mismas que anunciaremos a continuación.

Ventajas.

- El costo de los Relés digitales son en muchos casos menores a los equipos analógicos.
- Tienen la capacidad de auto diagnóstico en caso de falla.
- Tienen compatibilidad en cuanto al tema de comunicación con los diferentes IED
- Múltiples funciones.
- Sus parámetros pueden cambiar automáticamente de acuerdo a las condiciones del sistema.

Entre las desventajas se pueden mencionar:

- Su hardware cambia con gran velocidad, lo que dificulta el mantenimiento.
- Las condiciones ambientales pueden causar interferencias electromagnéticas en una subestación.



FIGURA 8: ESQUEMA LÓGICO DE UN RELÉ DE PROTECCIÓN. FUENTE: [1].

2.9.4. Relé de protección SEL 700G

El relé de protección SEL 700G está diseñado básicamente para proteger pequeños, medianos o grandes generadores, los cuales tienen un costo muy alto y no sería rentable para la empresa generadora cambiar todo el sistema de generación cuando ocurre alguna falla.

Además el relé SEL-700G ofrece una completa solución de protección y sincronización a los generadores síncronos y nos evitaríamos comprar equipos costosos adicionales que cumplan la función de sincronización. La integración de la capacidad de sincronización en el relé de protección del generador, proporciona la solución más

rentable y fiable. En éste proyecto final de carrera, no vamos a utilizar la función de sincronización, solo vamos a utilizar la función diferencial para proteger el generador y los transformadores de 3KVA.



FIGURA 9: DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN PARA GENERADORES SEL 700G. FUENTE: [3].

2.9.5. Relé de protección SEL 751

El relé SEL-751 está diseñado para proteger cualquier circuito del sistema de alimentación o dispositivo que incluye líneas, alimentadores, transformadores, baterías de condensadores, reactores, y generadores. El equipo está integrado con varias funciones tales como:

- 67 Protección de intensidad direccional
- 50/51 Protección Sobrecorriente
- 21 Protección de Distancia
- 81 Protección Sobrefrecuencia

Cabe destacar que para el proyecto final de carrera solo vamos a utilizar la función de sobrecorriente para proteger el transformador de 10KVA y las alimentadoras.



FIGURA 10: DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN SEL 751. FUENTE: [4].

2.9.6. Curvas disponibles de sobrecorriente del relé SEL 751

El SEL-751 incluye unas configuraciones robustas de fase, secuencia negativa, elementos de sobre corriente residual, y neutrales. Cada tipo de elemento tiene cuatro niveles de protección instantánea. Cada tipo de elemento tiene dos tiempos de sobre corriente inversa elementos (excepto secuencia negativa, la cual tiene un elemento de sobre corriente de tiempo). La Tabla 2 enumera las curvas disponibles en el SEL-751.

TABLA 2. CURVAS SOBRE CORRIENTE DE TIEMPO INVERSO. FUENTE: [4].

US	IEC
Moderadamente inversa	Estándar inversa
Inversa	Muy inversa
Muy inversa	Extremadamente inversa
Extremadamente inversa	Inversa a largo tiempo
Inversa a corto tiempo	Inversa a corto tiempo

2.9.7. Protección de sobrecorriente

El aumento de corriente es lo más común que se encuentra en un sistema, siempre la carga aumenta en una red, éste aumento no se interpreta como un cortocircuito, así que el relé lo debe distinguir. La función de ésta protección no es muy compleja, solo se necesita saber el nivel de corriente mínima para operar y el tiempo de operación. Las funciones de la protección de sobrecorriente se puede observar en la siguiente figura:



FIGURA 11. PROTECCIÓN SOBRECORRIENTE SEGÚN EL TIEMPO DE OPERACIÓN. FUENTE: LOS AUTORES.

Los relés modernos actúan cuando se presenta una sobrecorriente trifásica o cuando sucede una falla a tierra. Realizar una correcta parametrización en los relés, conlleva a una exacta elección de variables importantes como son las corrientes de arranque (Inrush) que se utilizan básicamente para la función temporizada e instantánea.

2.9.8. Protección instantánea

El ajuste de la protección instantánea es más preciso siempre y cuando la impedancia de todos los equipos que comprende el SEP sea más grande que la impedancia de la fuente suministradora. Gracias a la protección instantánea podemos señalar algunas ventajas esenciales:

- Se puede acortar o reducir el tiempo de operación del relé cuando se presente una falla extremadamente dañina.
- Cabe destacar que ésta protección nos ayuda a tener selectividad de los relés cuando son diferentes.
- Los tiempos de operación pueden ser de 10 a los 60 milisegundos.

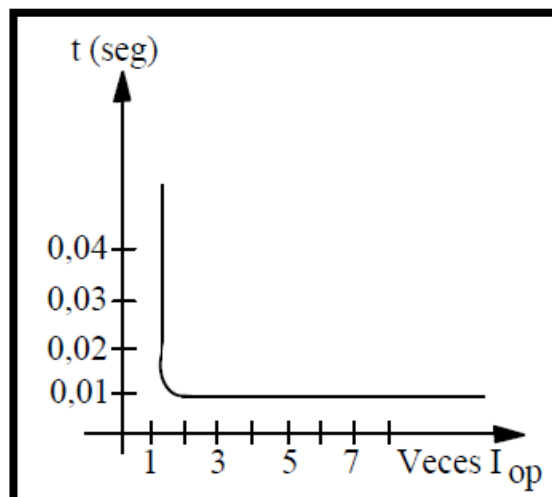


FIGURA 12: CURVA DE TIEMPO INSTANTÁNEO. FUENTE: [5].

2.9.9. Protección de tiempo definido

Es la unión o la combinación de una función instantánea con un parámetro de tiempo o temporizador (T) para generar el retardo deseado. El relé solo operará si la sobrecorriente supera el tiempo ajustado, caso contrario el relé no actuará. El tiempo se escoge para 10 veces la intensidad de operación.

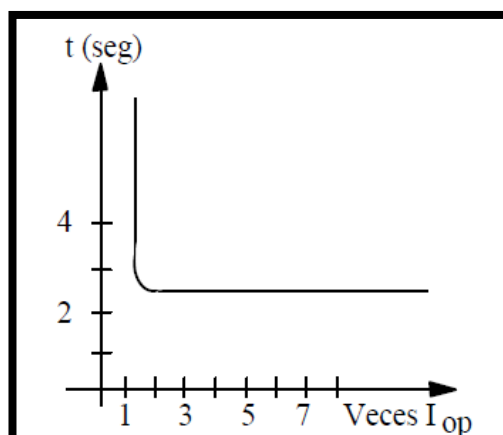


FIGURA 13: CURVA DE TIEMPO DEFINIDO. FUENTE: [5].

2.9.10. Protección de tiempo inverso

La característica principal y/o fundamental de la protección de tiempo inverso es que mientras la corriente empleada sea mucho más grande, menor será el tiempo de operación del relé.

Esta protección se usa habitualmente para proteger los equipos del SEP, tales como: generadores, transformadores, líneas, etc. Gracias a eso se han creado diversas curvas de tiempo inverso con características de tiempo de operación semejantes.

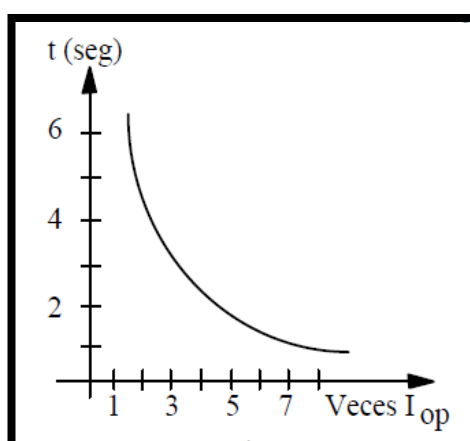


FIGURA 14: CURVA DE TIEMPO INVERSO. FUENTE: [5].

2.10. Tipos de fallas

Podemos apreciar que la mayoría de los elementos que se encuentran conectados al sistema eléctrico de potencia son sumamente costosos y su probabilidad de ser reparados en caso de un daño relativo son muy escasas o nulas. Gracias a esto se puede deducir que al existir una falla severa en las líneas que están inmersas en la falla, estos presentan corrientes tan altas que podrían dañar los equipos de potencia. Estas fallas pueden clasificarse en varios tipos, detallaremos a continuación.

2.10.1. Cortocircuito trifásico simétrico

En ésta anomalía podemos encontrar que la probabilidad de que ocurra es del dos por ciento o menos del total de ocurrencia de fallas [6].

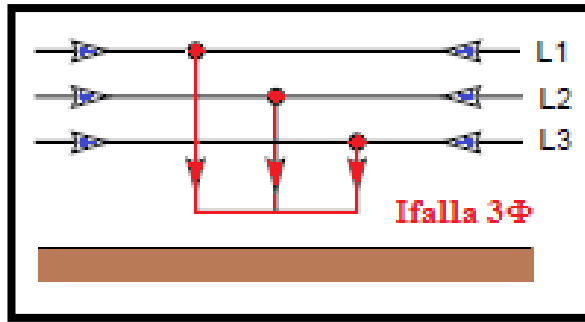


FIGURA 15: FALLA TRIFÁSICA. FUENTE: LOS AUTORES.

2.10.2. Cortocircuito entre fases

En ésta anomalía podemos encontrar que la probabilidad de que suceda es del ocho por ciento del total de ocurrencia de fallas [6].

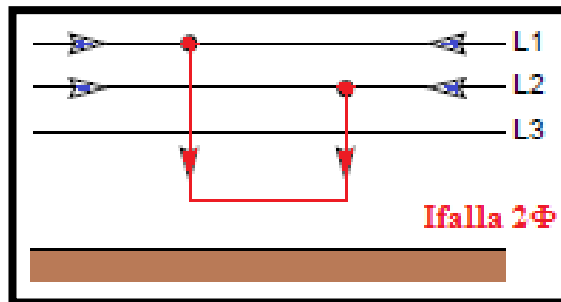


FIGURA 16: FALLA BIFÁSICA A TIERRA. FUENTE: LOS AUTORES.

2.10.3. Cortocircuito entre fases con tierra

En ésta anomalía podemos encontrar que la probabilidad de que pase es del cinco por ciento del total de ocurrencia de fallas [6].

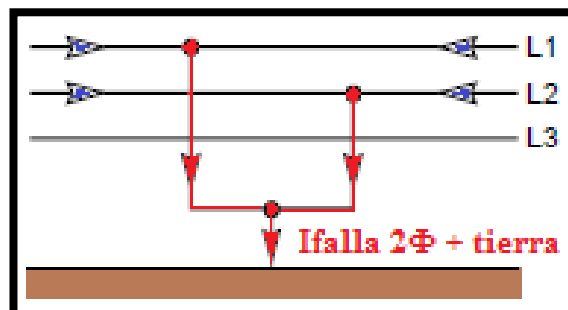


FIGURA 17: FALLA BIFÁSICA A TIERRA. FUENTE: LOS AUTORES.

2.10.4. Cortocircuito entre fase y tierra

En ésta anomalía podemos encontrar que la probabilidad de que suceda es del ochenta y cinco por ciento del total de ocurrencia de fallas [6].

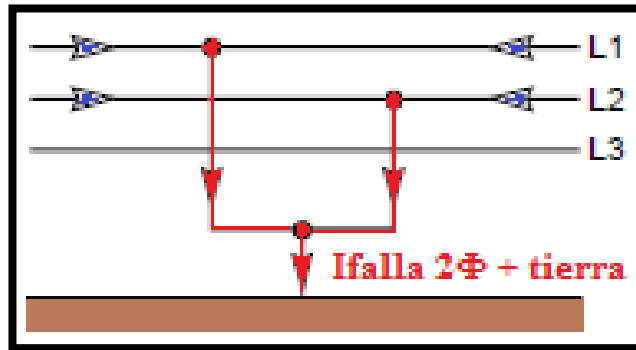


FIGURA 18: FALLA MONOFÁSICA A TIERRA. FUENTE: LOS AUTORES.

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1 Diseño

En este capítulo se detallan todos los elementos que son empleados para la construcción y el correcto funcionamiento del modulo didáctico de protecciones y sistemas eléctricos de potencia aplicado a sistema de generación, exponiendo los datos técnicos de cada elemento del tablero de pruebas, diseño en el programa AUTOCAD, simulación en ETAP y construcción bajo la normativa y supervisión de la universidad (UPS).

3.1.1 Estructura de soporte

Una vez aprobadas las dimensiones, presentación y posición de los elementos en el módulo se procedió a la compra de los materiales para la confección de la estructura metálica.

En la presente se adjunta el diseño final aprobado donde se puede encontrar las dimensiones de cada elemento del tablero, hay que tener presente que las medidas expuestas están dadas en milímetros.

En las figuras 19, 20, 21 y 22 se puede apreciar la partes por las que está compuesta la estructura metálica del módulo como son: la mesa y el marco del tablero de trabajo fabricado con tubo cuadrado negro de 2" por 2 mm de espesor, los cuales soportaran una lámina de acero negro de 3mm de espesor, sobre la que se realizará el calado y montaje de los equipos eléctricos – electrónicos.



FIGURA 19: CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA (MESA). FUENTE: LOS AUTORES.



FIGURA 20: CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA (MARCO METÁLICO). FUENTE: LOS AUTORES



FIGURA 21: CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA (LÁMINA FRONTAL- CALADO). FUENTE: LOS AUTORES.



FIGURA 22. CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA (SOPORTE TRASERO). FUENTE: LOS AUTORES.

3.1.2 Elaboración de la lámina de conexiones

Posteriormente a la aceptación de la estructura metálica se procedió a la impresión de una lona a colores con la distribución de los elementos, la misma que colocamos sobre la lámina de acero para realizar el calado en los puntos señalados correctamente.



FIGURA 23: COLOCACIÓN DE LONA SOBRE LÁMINA DE ACERO. FUENTE: LOS AUTORES.

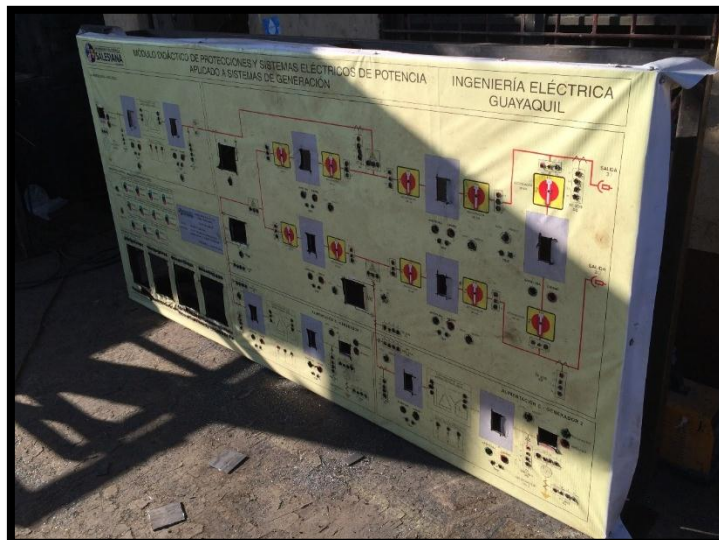
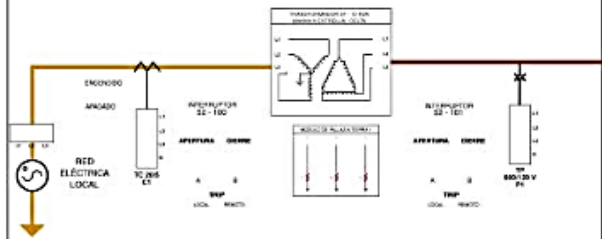


FIGURA 24: PRESENTACIÓN DE LONA Y PERFORACIONES SOBRE TABLERO. FUENTE: LOS AUTORES.

Una vez terminadas las perforaciones se procede a retirar la lona y pintar la lámina con el color seleccionado para el módulo (RAL 1016).

Concluido el proceso de secado se procedió a imprimir el vinil transparente autoadhesivo del tablero que será sobrepuesto a las perforaciones anteriormente realizadas, este proceso se realizó con extremo cuidado, finalmente con un estilete se retiraron los filos de vinil y se realizaron los cortes internos donde irán montados todos los elementos eléctricos.

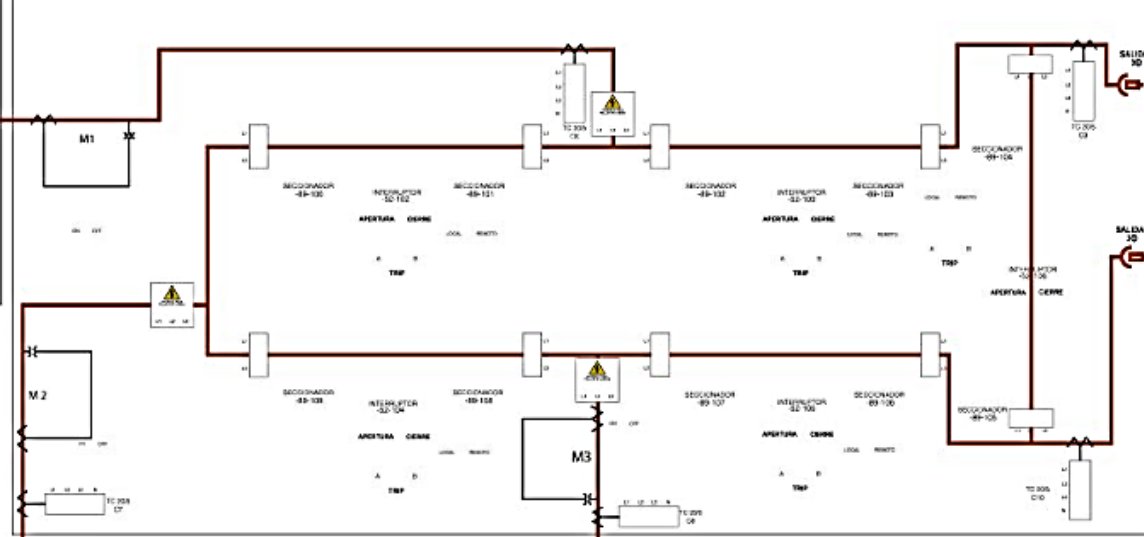
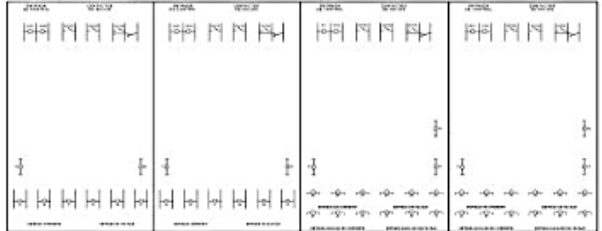
ALIMENTACIÓN A - RED LOCAL



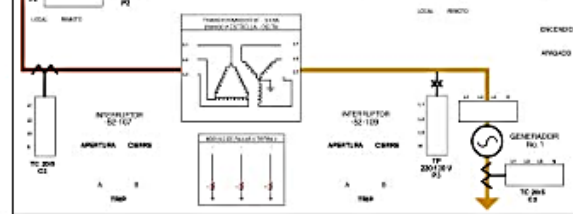
UNIDAD DE CONTROL PARA LOS INTERRUPTORES

	INTERRUPTOR - 100	INTERRUPTOR - 101	INTERRUPTOR - 102	INTERRUPTOR - 103
LOCAL	ABIERTO CERRADO	ABIERTO CERRADO	ABIERTO CERRADO	ABIERTO CERRADO
	ABIERTO CERRADO	ABIERTO CERRADO	ABIERTO CERRADO	ABIERTO CERRADO
REMOTO	ABIERTO CERRADO	ABIERTO CERRADO	ABIERTO CERRADO	ABIERTO CERRADO
	ABIERTO CERRADO	ABIERTO CERRADO	ABIERTO CERRADO	ABIERTO CERRADO

RELES DE PROTECCIÓN



ALIMENTACIÓN B - GENERADOR 1



ALIMENTACIÓN C - GENERADOR 2

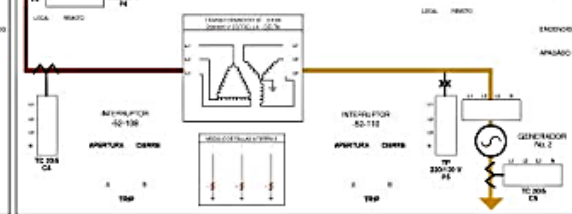


FIGURA 25: PRESENTACIÓN DE VINIL ANTES DE PLOTTEAR. FUENTE: LOS AUTORES

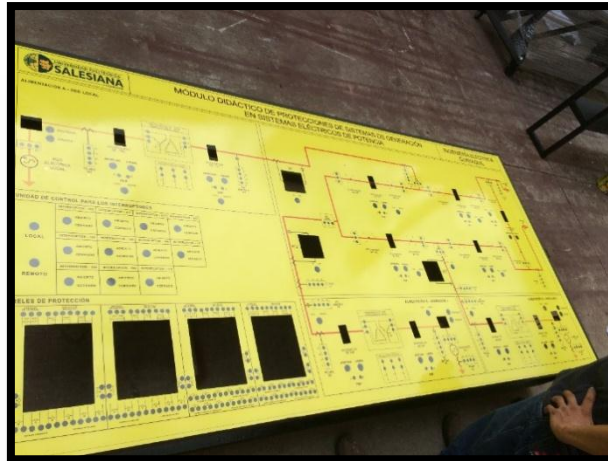


FIGURA 26: PRESENTACIÓN DE VINIL SOBRE TABLERO. FUENTE: LOS AUTORES.

3.1.3 Instalación de los elementos

Se inicia con el montaje de los elementos eléctricos y electrónicos como se evidencia en las figuras 27, 28 y 29. Tener presente que para el montaje y ubicación de los elementos más delicados del módulo, se deben revisar los manuales y especificaciones técnicas, estos indican la manera correcta de manipulación, maniobra y sujeción de cada elemento como de sus elemento auxiliares.



FIGURA 27: INSTALACIÓN DE ELEMENTOS SOBRE TABLERO. FUENTE: LOS AUTORES.

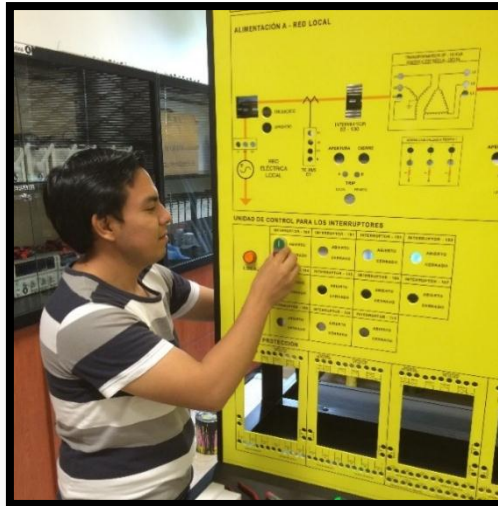


FIGURA 28: INSTALACIÓN DE ELEMENTOS SOBRE TABLERO. FUENTE: LOS AUTORES.



FIGURA 29: VISTA FRONTAL DE LOS ELEMENTOS INSTALADOS. FUENTE: LOS AUTORES.

3.2. Diseño Eléctrico

Lo principal que se debe considerar en el diseño de nuestro tablero es la ubicación de cada uno de los elementos, se debe obtener un esquema adecuado en cuanto a la repartición de los espacios.

Para conocer si existe alguna falla en el diseño eléctrico se realizó una simulación en el programa ETAP con resultados favorables en cuanto al flujo de carga y corrientes.

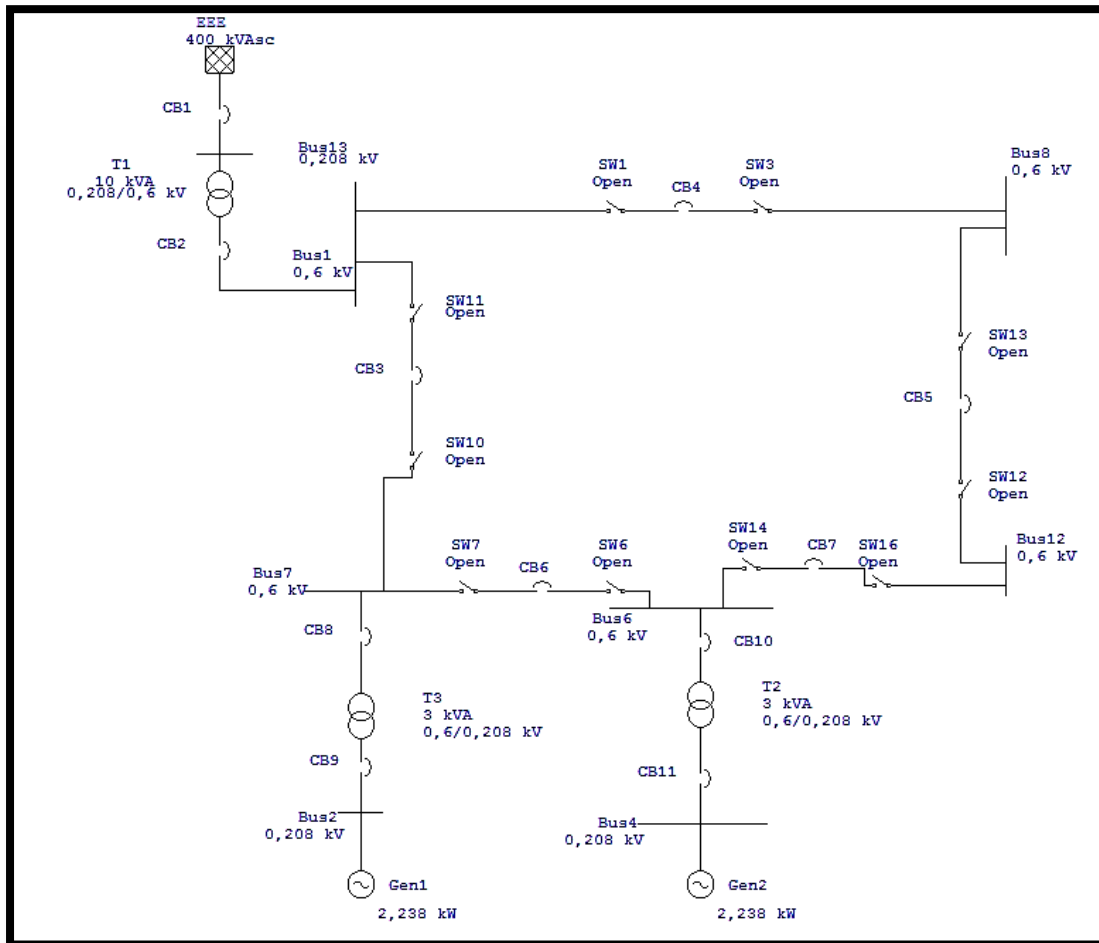


FIGURA 30: SIMULACIÓN DEL MÓDULO EN EL PROGRAMA ETAP. FUENTE: LOS AUTORES.

El módulo consta de varios equipos y elementos eléctricos instalados en el mismo, pero se pueden resaltar los equipos de protección (relés SEL 700G y SEL 751), es donde más vamos a profundizar en su configuración y ajuste.

El Relé SEL 700G sirve para proteger al generador y su transformador por medio de su protección diferencial, mientras que el Relé SEL 75 sirve para proteger la alimentación de red local y las barras del módulo mediante la característica de sobrecorriente.

La alimentación del módulo será administrada de dos maneras, la primera mediante la conexión de dos generadores síncronos que entregan 220 voltios trifásicos alternos, la misma que será conectada al módulo mediante conectores macho tipo banana, la segunda es mediante una red eléctrica local (Suministrada por la universidad), será de 220 voltios trifásicos alternos. Las tres fuentes de alimentación tendrán transformadores elevadores que llevaran el voltaje a 600 V.

El módulo fue diseñado y construido para ser una herramienta didáctica para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica, por tal motivo se instaló en la parte frontal conectores hembra tipo banana en cada elemento y equipo eléctrico para que los estudiantes realicen las conexiones de los mismos al momento que realizan las prácticas.

3.2.1 Conexiones eléctricas

Una vez colocados los elementos, se continuó con las conexiones eléctricas entre los elementos según indican los diagramas de fuerza y control adjuntos.

3.2.1.1. Circuito de fuerza

Se construyó un Sistema Eléctrico de Potencia basado en los mismos criterios y diseños constructivos de una Red de Generación de Potencia convencional.

En las redes de generación convencionales el voltaje de servicio se presenta en el orden de los 13.8 KV hasta los 69 KV, luego pasa a una subestacion elevadora que los lleva a 138 KV, 250 KV o 500 KV según sea el caso, pero para el tablero simulador la generación será de 208 V y las subestaciones elevadoras la llevaran a 600V que es el voltaje con el cual se empezará a transmitir. Para la protección del sistema de generación tenemos colocados reles que protegen a los generadores y a la bahía de transmisión por si sucede alguna falla. Adicional para la medición constamos con 3 medidores de parámetros que van a leer la cantidad de energía suministrada a la red de tal forma se tendría el conocimiento total de la demanda requerida.

El cable utilizado para el circuito de fuerza fue cable de Cu #8 THHN-FLEX 90 ° con una capacidad de conducción de 55 amperios, la corriente máxima esperada en este circuito incluidas las pérdidas no excedería de los 32 amperios.

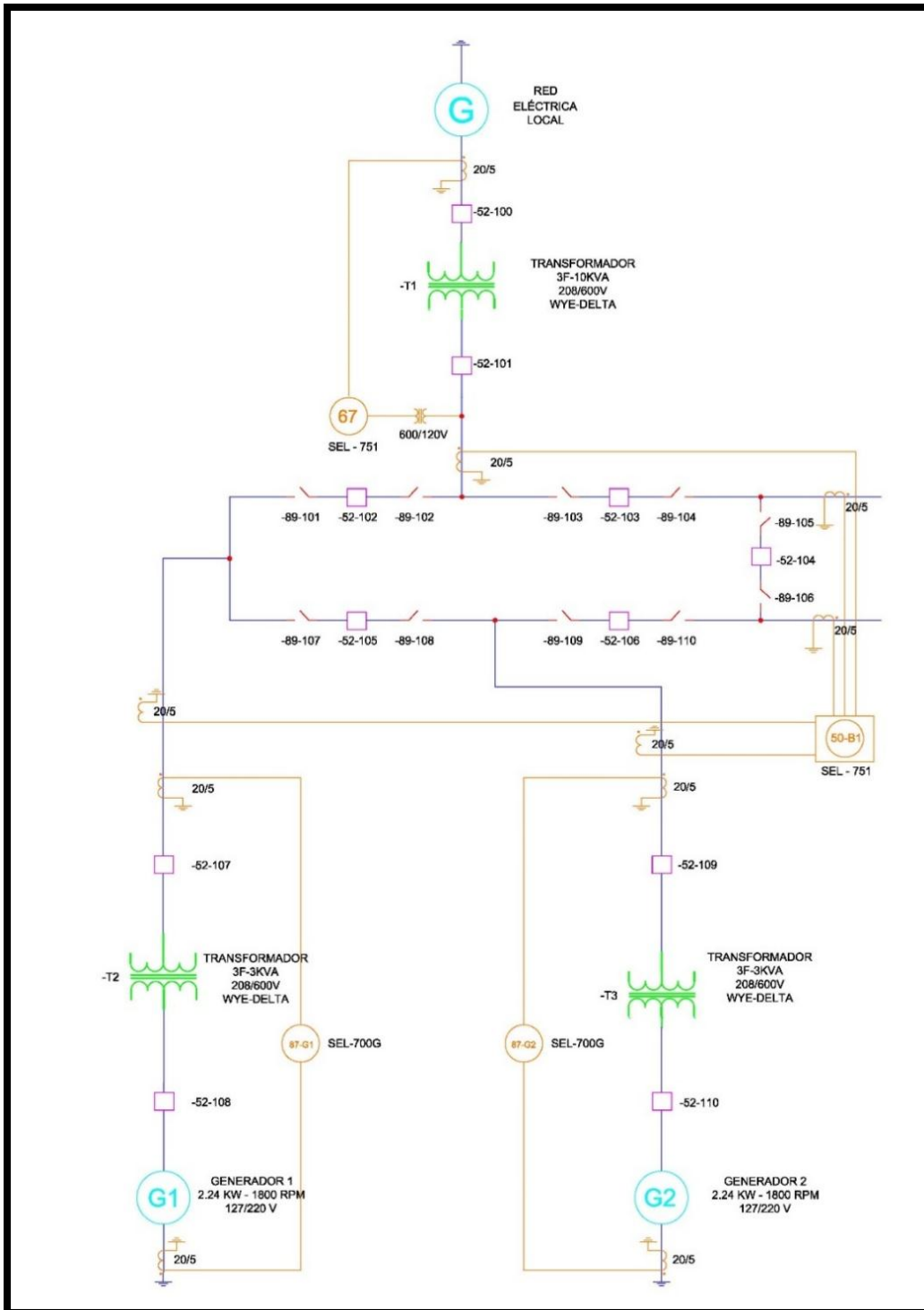


FIGURA 31: DIAGRAMA DE FUERZA Y PROTECCIÓN – MÓDULO GENERADOR. FUENTE: LOS AUTORES.

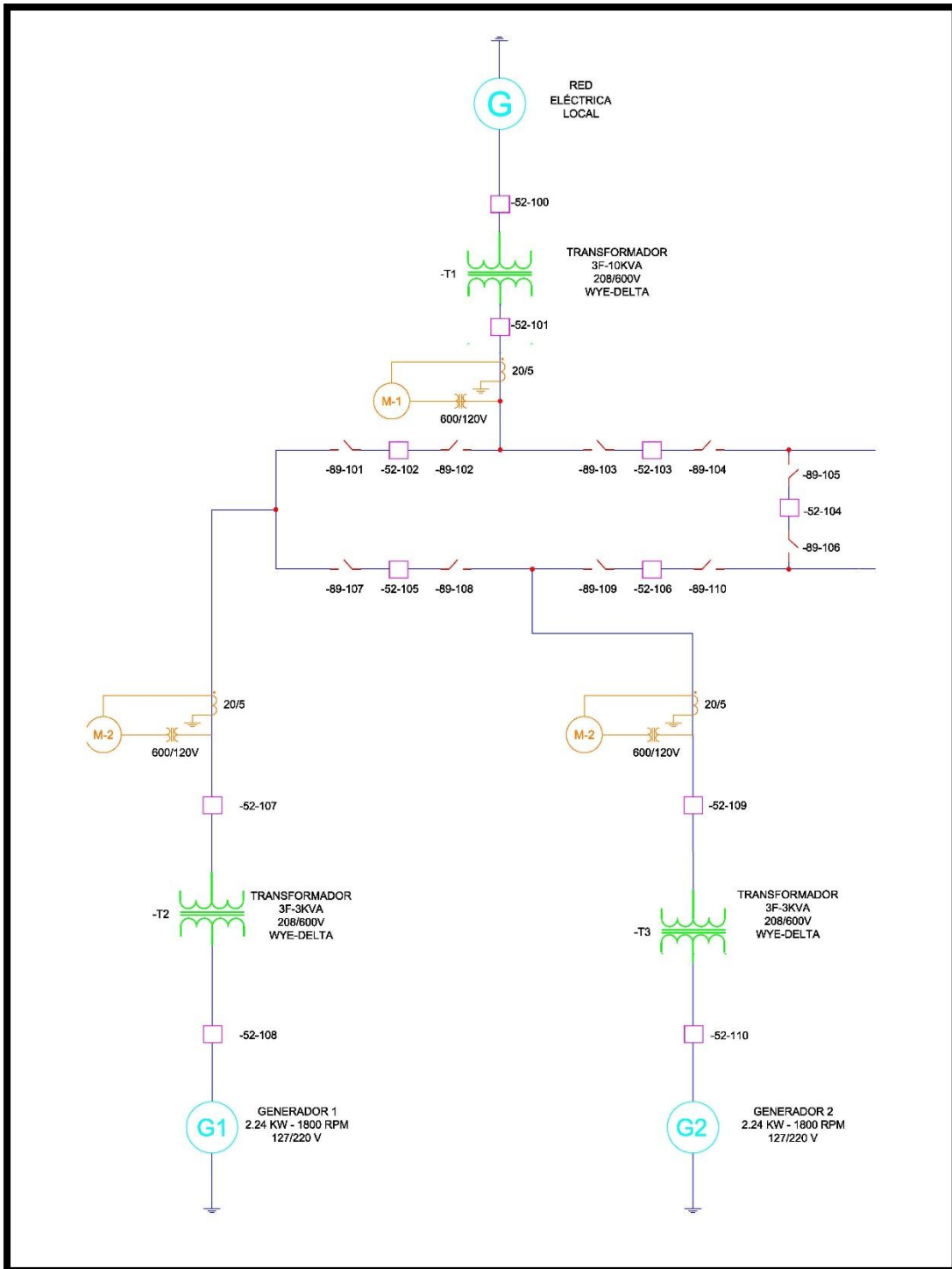


FIGURA 32: DIAGRAMA DE FUERZA Y MEDICIÓN – MÓDULO GENERADOR. FUENTE: LOS AUTORES.

3.2.1.2. Circuito de control

Se construyó el circuito de control de tal forma que cumpla con todas las condiciones requeridas, estas condiciones son muy frecuentes dentro de los sistemas de potencia real, entre las que podemos mencionar; accionamientos manuales y accionamientos remotos por SCADA.

El circuito de control diseñado tiene como característica la flexibilidad a la hora de realizar maniobras de mantenimiento así como brindar mantenimiento a un equipo o un conjunto de equipos de la red sin dejar de suministrar energía al módulo o activar el paso de energía desde otras fuentes para garantizar la demanda requerida.

El cable utilizado fue cable de Cu #18 THHN-FLEX 90 ° con una capacidad de conducción de 10 amperios, su aplicación será única y exclusivamente de señales de control y estas nunca pasarían de los 5 amperios.

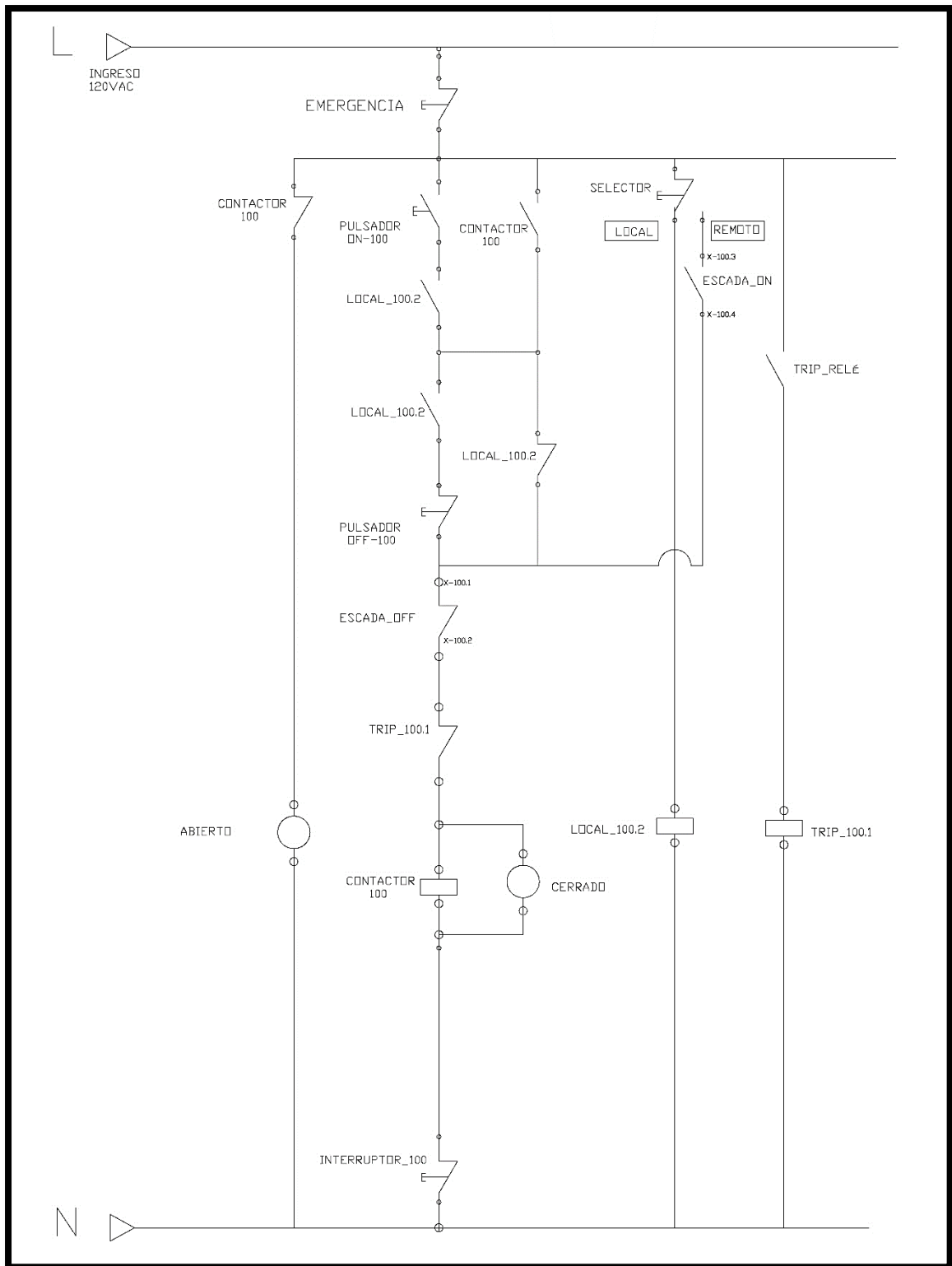


FIGURA 33: DIAGRAMA DE CONTROL - MÓDULO GENERADOR. FUENTE: LOS AUTORES

3.2.2 Conexión interna de dispositivos eléctricos

Una vez terminado la parte metalmecánica y el diseño frontal del módulo se procede a realizar la instalación de todos los equipos y elementos que serán empotrados en el módulo.



FIGURA 34: CONEXIONES Y CABLEADO VISTA 1. FUENTE: LOS AUTORES



FIGURA 35: CONEXIONES Y CABLEADO VISTA 2. FUENTE: LOS AUTORES.



FIGURA 36: CONEXIONES Y CABLEADO VISTA 3. FUENTE: LOS AUTORES.

3.3. Descripción y características técnicas de los elementos

En la tabla a continuación se detallan los elementos que comprenden el módulo de generación, en la figura 37 se puede observar donde están ubicados cada uno de ellos.

TABLA 3: DETALLE DE ELEMENTOS Y EQUIPOS. FUENTE: LOS AUTORES.

Item	Descripción	Cantidad
1	Rele de Sobrecorriente Diferencial SEL 751	2
2	Rele de Protección de Generador SEL 700 G	2
3	Analizador de Red Trifásico	3
4	Transformador de Voltaje	4
5	Transformador de Corriente	27
6	Interruptor Trifásico	11
7	Contactador Trifásico	11
8	Seccionador Trifásico	10
9	Pulsador Doble (NO/NC)	11
10	Luces Pilotos	30
11	Bases Fusibles Bifásicas (INCLUYE FUSIBLES)	4
12	Selector O-I	14
13	Swich Interruptor (Ojo de cangrejo)	9

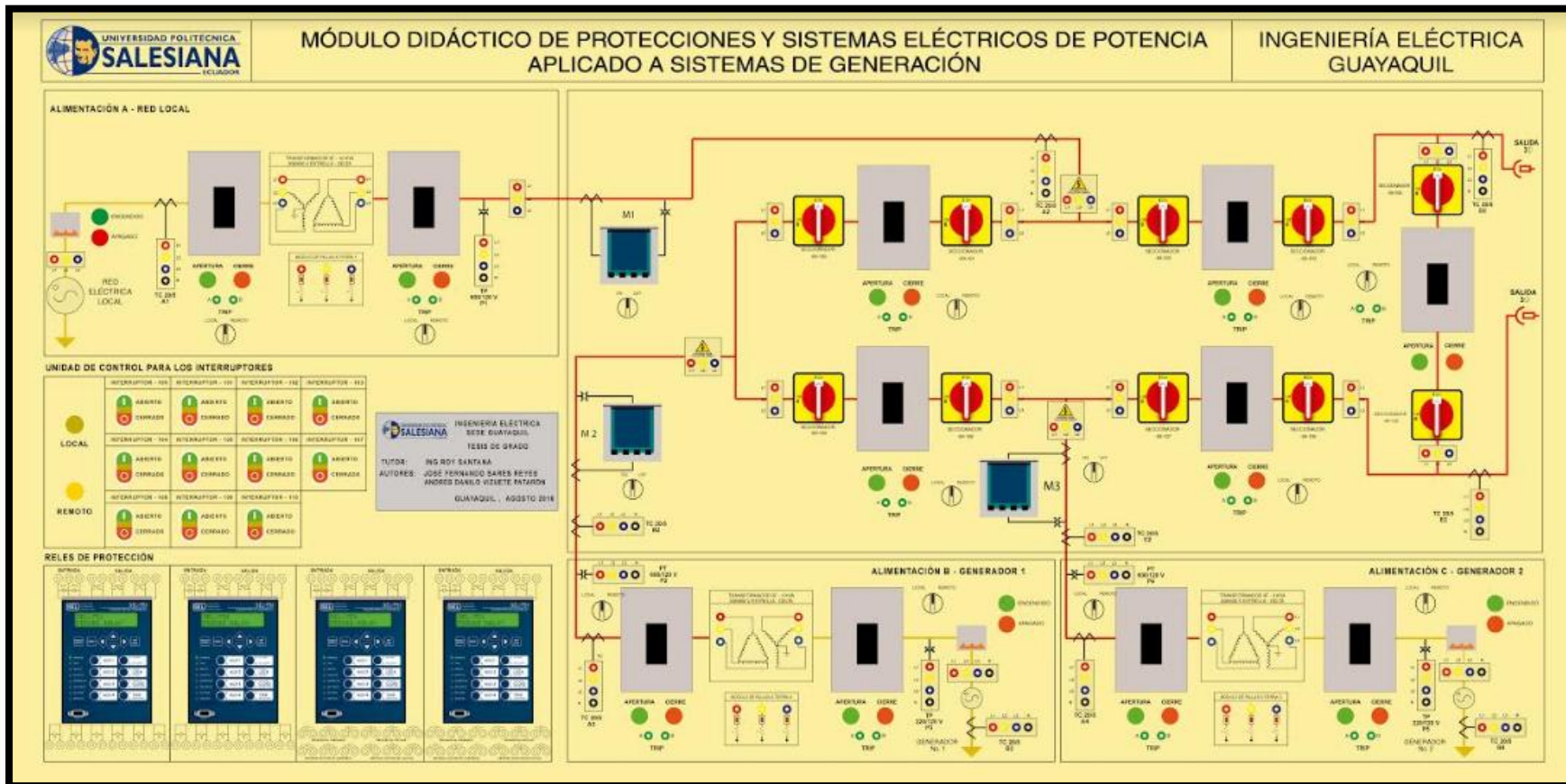


FIGURA 37 DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL MÓDULO. FUENTE: LOS AUTORES.

3.3.1 Relé de Sobrecorriente SEL 751

El relé SEL-751 sirve para aplicaciones de sobrecorriente, direccional, localización de fallas y detección de fallas de alta impedancia. Las sencillas opciones de parametrización y ajustes hacen que el SEL-751 sea una solución íntegra para la protección de alimentadores.

El SEL-751 provee una protección completa de alimentador, con características de protección para sobrecorriente, sobrevoltaje, bajo voltaje y direccional.



FIGURA 38: RELÉ DE SOBRECORRIENTE DIFERENCIAL SEL 751. FUENTE: LOS AUTORES

3.3.1.1. Características técnicas

- Corriente de entrada AC: 1-5 A Nominal: 15 A permanente, 250 A por 1 segundo, lineal hasta 100 A simétricos, 500 A por 1 ciclo (onda sinusoidal).
- Fuente de alimentación: Nominal 125/250 VDC o 125/240 VAC: interrupción 50 ms @ 125 VDC/VAC
- Opción con conectores enchufables (salidas con alta corriente de interrupción)
- Cierre: 30 A, Tiempo de pickup: < 50 us,; Tiempo de Dropout:< 8 ms
- Capacidad de apertura (10.00 operaciones): 125 V 10 A L/R = 40 ms
- Capacidad cíclica (4 ciclos en 1 segundo, seguido por 2 minutos de inactividad para disipación térmica) 125V 10 A L/R = 40 ms.

- Frecuencia: 60 o 50 Hz.
- Opciones de Puerto: EIA – 232, EIA 485, Ethernet Port, Fiber Optical Port.
- Temperatura de operación: -40° a $+85^{\circ}$ C

3.3.2 Relé de protección de generador SEL 700G

El relé SEL-700G tiene como principio la protección de generadores de energía e incluso puede proteger al generador junto a su transformador. Para mayor facilidad en su maniobra posee fáciles opciones de parametrización y ajustes. El SEL-700G ofrece una solución íntegra de protección y sincronización para generadores síncronos.



FIGURA 39: RELÉ DE PROTECCIÓN DE GENERADOR SEL 700G. FUENTE: LOS AUTORES.

3.3.2.1. Características técnicas

- Corriente de entrada AC: 1-5 A Nominal: 15 A permanente, 250 A por 1 segundo, lineal hasta 95 A simétricos, 500 A por 1 ciclo (onda sinusoidal).
- Fuente de alimentación: Nominal 110/250 VDC o 110/240 VAC: interrupción 50 ms @ 125 VDC/VAC
- Opción con conectores enchufables (salidas con alta corriente de interrupción)

- Cierre: 30 A, Tiempo de pickup: < 50 us,: Tiempo de Dropout:< 8 ms
- Capacidad de apertura (10.00 operaciones): 125 V 0.30 A L/R = 40 ms
- Capacidad cíclica (4 ciclos en 1 segundo, seguido por 2 minutos de inactividad para disipación térmica) 125V 0.30 A L/R = 40 ms.
- Frecuencia: 60 o 50 Hz.
- Opciones de Puerto: EIA – 232, EIA 485, Ethernet Port, Fiber Optical Port.
- Temperatura de operación: –40 ° a +85° C

3.3.3. Analizador de energía

El analizador de energía sirve para supervisar, guardar y monitorear todos los parámetros que presenta una red eléctrica sea voltaje, corriente, frecuencia, potencia, etc. Puede realizar la medición en baja tensión de forma directa, si se necesita que monitoree una red de media o alta tensión se debe adicionar transformadores de voltaje y corriente, en este caso se usará SENTRON 3200 de la marca Siemens que permite visualizar de forma directa el voltaje hasta 690 VAC, sin necesidad de conectarle un transformador de voltaje.



FIGURA 40: ANALIZADOR DE ENERGÍA SIEMENS. FUENTE: LOS AUTORES

3.3.3.1. Características técnicas

- Marca: Siemens
- Modelo: PAC 3200
- Tipo de alimentación: 95-240 VAC (50/60 HZ) o 110 – 340 VDC

- Tensión nominal (alimentación)
- Tensión L-N: AC 3-400 VAC (+20%)
- Tensión L-L: AC 3-690 VAC (+20%)
- Max. intensidad permanente admisible: 10 A
- Frecuencia: 60 Hz
- Potencia Absorbida: 10 VA
- Límite de funcionamiento: ± 10 % del rango nominal AC/DC
- Precisión de medida: Valor eficaz de las tensiones (L-L, L-N): 0.2
- Pila de tensión nominal: 3 V
- Número de entradas Digitales: 2
- Número de salidas Digitales: 2

3.3.4. Transformador de potencia

El transformador de potencia es un equipo eléctrico que tiene como fin aumentar o disminuir la tensión eléctrica en un circuito eléctrico, para este módulo se utilizara 4 transformadores de potencia, 2 transformadores de potencia de 600/120 VAC y 2 transformadores de potencia de 220 a 120 VAC, la capacidad de los 4 transformadores es de 500 VA.

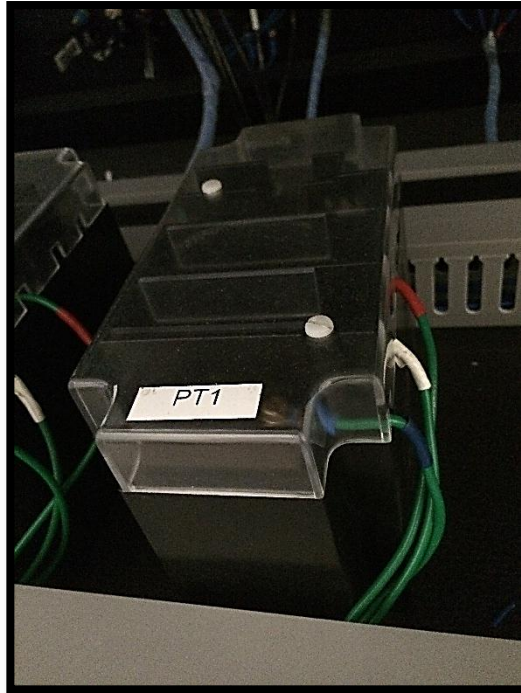


FIGURA 41: TRANSFORMADOR DE VOLTAJE 600/220 VAC. FUENTE: LOS AUTORES

3.3.4.1. Características técnicas

- Marca del equipo: S/M
- Voltaje de Entrada: 600 VAC 50-60 Hz / 220 VAC 50-60 Hz
- Voltaje de Salida: 120 VAC 50-60 Hz / 120 VAC 50-60 Hz
- Potencia: 500 VA
- Temperatura de trabajo: 0 ° a 40° C

3.3.5. Transformador de corriente

El transformador de corriente es un equipo eléctrico de medición que tiene como fin reducir la corriente nominal de un sistema primario a niveles muy bajos, de tal forma que puedan ser percibidos por los equipos de medición y protección sin sufrir ningún daño. Para el módulo se utilizaran 27 transformadores de corriente de relación 20/5 amperios, los que ayudaran a parametrizar los relés 751 y 700 G respectivamente.



FIGURA 42: TRANSFORMADOR DE CORRIENTE 20/5 AMP. FUENTE: LOS AUTORES

3.3.5.1. Características técnicas

- Marca del equipo: S/M
- Precisión: Clase II
- Corriente Nominal Primaria: 20 Amp.
- Corriente Nominal Secundaria: 5 Amp.
- Burden: 2.5 VA
- Rango de Voltaje: 690 VAC
- Temperatura de trabajo: 0 ° a 40° C

3.3.6. Interruptor trifásico

El interruptor trifásico o también llamado disyuntor trifásico, tiene la función de abrir o seccionar un circuito eléctrico automáticamente siempre y cuando la corriente del sistema sobrepase la corriente para la que está configurado. En el tablero se usará 11 interruptores trifásicos que ayudarán a despejar las fallas que ocurran en las líneas del sistema.

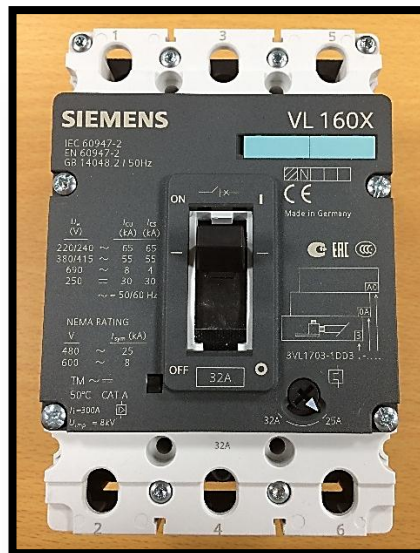


FIGURA 43: INTERRUPTOR TRIFÁSICOS SIEMENS. FUENTE: LOS AUTORES.

3.3.6.1. Características técnicas

- Marca del equipo: Siemens
- Modelo: 3VL
- Corriente Máxima: 32 Amp.
- Rango de Voltaje: 690 VAC
- Temperatura de trabajo: 0 ° a 40° C
- Dimensiones: 10 x 15 x 8 cm

3.3.7. Contactor trifásico

Un contactor trifásico es un elemento electromecánico, que tiene como función permitir o interrumpir el paso de corriente eléctrica tan pronto se entregue tensión a la bobina del contactor, con la facilidad de ser accionado a distancia, este elemento consta de dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe excitación de tensión alguna por parte del circuito de control, y otra inestable, cuando actúa dicha tensión y se energiza la bobina haciendo que los contactos cambien de estado. Para el módulo se hará uso de 11 contactores trifásicos que servirán para dar apertura o cierre al camino que se necesita realizar en la transmisión de energía sobre el módulo.

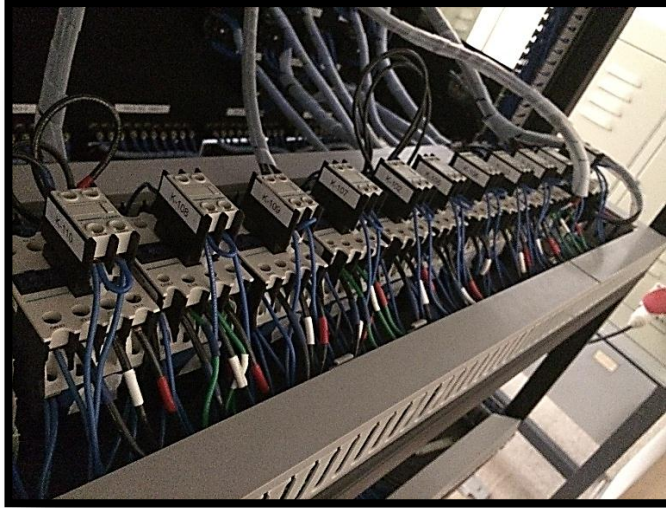


FIGURA 44: CONTACTORES TRIFÁSICOS CHINT. FUENTE: LOS AUTORES.

3.3.7.1. Características técnicas

- Marca del equipo: CHINT
- Modelo: NC1
- Corriente Máxima: 32 Amp.
- Rango de Voltaje: 690 VAC
- Vida Eléctrica: 800.000 operaciones
- Vida Mecánica: 800.000 operaciones
- Temperatura de trabajo: 0 ° a 40° C

3.3.8. Seccionador trifásico

El seccionador trifásico es un elemento electromecánico que permite separar de manera mecánica un circuito eléctrico o seccionar para realizar alguna maniobra, por ejemplo cuando se da mantenimiento a una red de distribución, se accionan los seccionadores separando eléctricamente el circuito del sistema, con el fin de garantizar la seguridad de las personas que trabajen sobre la parte aislada.

El seccionador, a diferencia de un interruptor, no tiene un mecanismo termomagnético que le permita trabajar de forma automática por lo que su accionamiento es únicamente manual, sea para la apertura o cierre del circuito eléctrico.



FIGURA 45: SECCIONADOR TRIFÁSICO EATON. FUENTE: LOS AUTORES.

3.3.8.1. Características técnicas

- Marca del equipo: EATON
- Modelo: P3-EA-SVB
- Corriente Máxima: 32 Amp.
- Rango de Voltaje: 690 VAC
- Protección : IP 65
- Peso: 0.20 Kg
- Temperatura de trabajo: 0 ° a 40° C
- Dimensiones: 7 x 8 x 7 cm

3.3.9. Pulsador doble (NO/NC)

El pulsador es un operador de accionamiento manual utilizado para permitir el paso de la energía, mientras son pulsados cuando no se presiona vuelve a su posición original.

El pulsador doble consta de 2 contactos, un contacto normalmente abierto NO (Normally Open) y con un contacto normalmente cerrado NC (Normally Close).

En el tablero se usaran los pulsadores para abrir y cerrar los contactores del circuito, estos pulsadores poseen una configuración con los contactos del contactor, de tal forma que una vez presionado queda enclavado el contacto sin necesidad de tener presionado el pulsador todo el tiempo.



FIGURA 46: PULSADOR DOBLE NO/NC SIEMENS. FUENTE: LOS AUTORES.

3.3.9.1. Características técnicas

- Marca del equipo: SIEMENS
- Modelo: 3SU105
- Voltaje de operación: 120 VAC
- Grado de Protección: IP66
- Vida Útil Mecánica: 2'000.000 operaciones
- Temperatura de trabajo: -40 ° a +80° C

3.3.10. Luces piloto

La luz piloto o también conocida como luz monitor, indica cuales son las condiciones normales de un sistema o cuál dispositivo están funcionando, la luz de color rojo significa circuito cerrado, la luz verde significa circuito abierto y la luz azul indica en que condición se encuentra nuestra módulo. Para este tablero las luces se usarán para indicar el estado de cada interruptor y de la configuración de accionamiento del tablero.



FIGURA 47: LUCES PILOTO EBC. FUENTE: LOS AUTORES.

3.3.10.1. Características técnicas

- Marca del equipo: EBC
- Modelo: 17522
- Voltaje de operación: 120 VAC
- Temperatura de trabajo: 0 ° a +40° C
- Dimensiones: 2.2 x 2.2 x 5 cm

3.3.11. Bases fusibles bifásicas (incluye fusibles)

Las bases fusible bifásicas con su respectivos fusibles tienen como función proteger los elementos eléctricos ante los picos de corriente o sobrecorriente provocados por alguna falla en el sistema. Para esta aplicación las bases con sus fusibles van a proteger la alimentación a los relés de protección, de esta forma se aseguran ante algún corto en el circuito de control.



FIGURA 48: BASES FUSIBLE BIFÁSICA. FUENTE: LOS AUTORES.

3.3.11.1. Características técnicas

- Marca del equipo: CAMASCO
- Modelo: RT18-32
- Corriente Máxima: 32 Amp.
- Voltaje de operación: 120 VAC
- Fusibles: 4 Amp.
- Temperatura de trabajo: 0 ° a +40° C

3.3.12. Selector O-I

El selector o también llamado conmutador, es un dispositivo cuya función es la de seleccionar una u otra operación o varias. En este caso el selector permite encender los analizadores de energía y accionar los interruptores desde Local o Remoto.



FIGURA 49: SELECTOR O-I EBC. FUENTE: LOS AUTORES.

3.3.12.1. Características técnicas

- Marca del equipo: EBC
- Modelo: 19202
- Posiciones: 2 (O-I)
- Voltaje de operación: 120 VAC
- Temperatura de trabajo: 0 ° a +40° C
- Dimensiones: 3 x 4 x 7 cm

3.3.13. Switch interruptor o-i (ojo de cangrejo)

El Switch interruptor tiene como función permitir o cortar el paso de corriente en un determinado punto del circuito. Para ésta aplicación el switch permitirá hacer la maniobra de fallas a tierra, de tal forma que accionando el switch la línea se va a tierra y las protecciones funcionarían de forma instantánea.



FIGURA 50: MÓDULO DE FALLAS A TIERRA. FUENTE: LOS AUTORES.

3.3.13.1. Características técnicas

- Marca del equipo: CAMSCO
- Modelo: SW-5A
- Corriente Maxima: 5 Amp.
- Voltaje de operación: 120 VAC
- Temperatura de trabajo: 0 ° a +40° C
- Dimensiones: 1.2 x 2 x 1.3 cm

3.4. Presupuesto para la construcción del módulo

TABLA 4: PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO: FUENTE: LOS AUTORES.

Modulo didactico de proteccions y SEP aplicado a sistemas de generacion					
Items	Descripcion	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
1	Transformador 3 KVA 208/600 V. Estrella/Delta	U.	2	\$ 892.50	\$ 1,785.00
2	Transformador 10 KVA 208/600 V. Estrella/Delta	U.	1	\$ 1,867.29	\$ 1,867.29
3	Rele de Protección SEL 700 G	U.	2	\$ 3,375.00	\$ 6,750.00
4	Rele de Protección SEL 751	U.	2	\$ 2,362.50	\$ 4,725.00
5	Medidor de Parámetros SENTRON 3200	U.	3	\$ 780.00	\$ 2,340.00
6	Interruptor Automático Trifásico Siemens 3VL - 32 AMP.	U.	11	\$ 172.00	\$ 1,892.00
7	Contactador CHINT 3P - 25 AMP - 110V.	U.	2	\$ 15.50	\$ 31.00
8	Contactador CHINT 3P - 32 AMP - 110V.	U.	8	\$ 20.50	\$ 164.00
9	Contactador CHINT 3P - 50 AMP - 110V.	U.	1	\$ 37.00	\$ 37.00
10	Bloque de contactos 1NA + 1NC - CHINT	U.	11	\$ 2.50	\$ 27.50
11	Luz Piloto Azul LED 22 mm. 110/220V - EBC	U.	2	\$ 2.00	\$ 4.00
12	Luz Piloto Verde LED 22 mm. 110/220V - EBC	U.	15	\$ 2.00	\$ 30.00
13	Luz Piloto Roja LED 22 mm. 110/220V - EBC	U.	15	\$ 2.00	\$ 30.00
14	Selector 0-I 22 mm - EBC	U.	14	\$ 2.50	\$ 35.00
15	Pulsador Doble Luminoso 110 V. 22 mm - SIEMENS	U.	11	\$ 32.68	\$ 359.48
16	Seccionador Trifasico 690 V. 32 Amp - EATON	U.	10	\$ 65.93	\$ 659.30
17	Módulo Incluye: Estructura + Mesa + Materiales	GBL.	1	\$ 1,150.00	\$ 1,150.00
18	Soporte para transformadores trifásicos.	U	3	\$ 70.00	\$ 210.00
19	Tranformadores de Corriente 30/5 A. - S/M	U.	27	\$ 24.36	\$ 657.72
20	Cable Superflex #8 - 1000V.	m.	400	\$ 1.56	\$ 624.00
21	Cable Ext. Flex . #18	m.	1000	\$ 0.18	\$ 180.00
22	Breaker 3P - 16A - SIEMENS	U.	2	\$ 28.25	\$ 56.50
23	Breaker 3P - 40A - SIEMENS	U.	1	\$ 28.25	\$ 28.25
24	Impresion Vinil	U.	1	\$ 110.00	\$ 110.00
25	Placa de identificación	U.	1	\$ 30.00	\$ 30.00
26	Paro de Emergencia	U.	1	\$ 50.00	\$ 50.00
27	Toma Sobrepuesto 32 A - 690V.	U.	2	\$ 35.25	\$ 70.50
28	Extension con Clavija 32 A - 690V.	U.	2	\$ 65.50	\$ 131.00
29	Base Fusible Bifasica.	U.	4	\$ 6.35	\$ 25.40
30	Fusibles 4 Amp.	U	8	\$ 1.25	\$ 10.00
31	Terminal Compresion #8	U.	200	\$ 0.20	\$ 40.00
32	Terminal Hembra Roja	Fda.	2	\$ 8.04	\$ 16.08
33	Terminal Puntero Azul	Fda.	2	\$ 5.22	\$ 10.44
34	Base adhesiva	Fda.	2	\$ 6.54	\$ 13.08
35	Amarra Plástica Negra 10 cm	Fda.	3	\$ 0.82	\$ 2.46
36	Amarra Plástica Negra 15 cm	Fda.	3	\$ 2.34	\$ 7.02
37	Canaleta Ranurada 33 x 33 mm x 2 m	U.	5	\$ 6.74	\$ 33.70
38	Canaleta Ranurada 45 x 45 mm x 2 m	U.	3	\$ 8.46	\$ 25.38
39	Canaleta Ranurada 40 x 60 mm x 2 m	U.	4	\$ 16.20	\$ 64.80
40	Canaleta Ranurada 50 x 70 mm x 2 m	U.	4	\$ 17.80	\$ 71.20
41	Riel Din 35 mm	U.	5	\$ 3.10	\$ 15.50
42	Cinta Espiral 9 mm/ 10 M	U.	3	\$ 3.66	\$ 10.98
43	Cinta Espiral 12 mm/ 10 M	U.	3	\$ 5.96	\$ 17.88
44	Cinta de etiquetadora	U.	3	\$ 35.00	\$ 105.00
45	Transformador 24 VDC	U.	1	\$ 40.00	\$ 40.00
46	Materiales Varios	GBL.	1	\$ 200.00	\$ 200.00
47	Caja de Herramientas incluye: Juego de desarmadores, Cortafrio, Alicata, Machinadora	GBL.	1	\$ 250.00	\$ 250.00
				Subtotal	\$ 24,993.46
				Impuesto IVA 14%	\$ 3,499.08
				TOTAL	\$ 28,492.54

CAPÍTULO 4

MANUAL DE PRÁCTICAS

En el siguiente capítulo se presentaran las 6 prácticas establecidas dentro de los objetivos específicos.

Las prácticas fueron realizadas para analizar el comportamiento del sistema a vacío y con una carga puntual, sin embargo, se pueden realizar experimentos más complejos interconectando los módulos de transmisión y distribución.

Se recomienda revisar cada punto de las prácticas previo a la experimentación. El procedimiento debe realizarse en orden, cumpliendo cada uno de los puntos descritos y sin saltarse ningún procedimiento.

A continuación se detallan las prácticas a desarrollar:

- ✓ **Practica 1:** Introducción al módulo de generación elementos y funcionamientos básicos
- ✓ **Practica 2:** Prueba de flujo de potencia de módulo de generación a vacío.
- ✓ **Practica 3:** Prueba de flujo de potencia de módulo de generación con carga y análisis de relación de transformación.
- ✓ **Practica 4:** Protección sobrecorriente en el transformador # 1 del bloque de la red local mediante relé sel-751.
- ✓ **Practica 5:** Protección diferencial en transformador #2 y generador # 1 del bloque de generación a mediante relé sel-700g.
- ✓ **Practica 6:** Protección sobrecorriente en líneas de la bahía de 600 v. Del módulo de generación con carga mediante relé sel-751.

4.1 Práctica 1: Introducción al módulo de generación, elementos y funcionamientos básicos.

4.1.1 Datos informativos

- Materia: Protecciones/SEP II y III/Máquinas Eléctricas I
- Práctica: N° 1
- Número de estudiantes: 20
- Nombre del docente: Ing. Roy Santana
- Tiempo estimado: 2 Horas

4.1.2 Datos de la práctica

- Tema: Introducción al módulo de generación, elementos y funcionamientos básicos.

4.1.3 Objetivo general

- Reconocer cada uno de los elementos que conforman el módulo de protecciones de sistemas de generación y comprender su funcionamiento básico y formas de conexión para posteriores aplicaciones.

4.1.4 Objetivos específicos

- Conocer cada uno de elementos de control, fuerza y protección que intervienen en el módulo para facilitar el entendimiento de las prácticas posteriores.
- Saber cuáles son los elementos que intervienen en el proceso de generación y como interpretarlos en el módulo.
- Comprender el diseño eléctrico y la estructura mecánica del módulo de generación, su alcance y limitaciones para mantener y alargar la vida útil de los elementos y equipos instalados.

4.1.5. Marco Teórico

4.1.5.1 Transformador de potencia de subestaciones

El transformador es una máquina eléctrica que tiene como finalidad transformar parámetros eléctricos manteniendo la potencia.

Los transformadores de potencial son usualmente utilizados por las empresas suministradoras de energía, requieren transformadores de grandes capacidades con elevados voltajes.



FIGURA 51: TRANSFORMADOR DE POTENCIA 30 MVA. FUENTE: LOS AUTORES.

4.1.5.2 Interruptores de Potencia

Son equipos eléctricos cuya función es abrir o cerrar un sistema eléctrico. Pueden efectuar estas operaciones a vacío, con carga o una corriente de cortocircuito, gracias a que poseen un sistema de aislamiento que puede ser aceite, vacío o SF6.



FIGURA 52: INTERRUPTOR DE POTENCIA AISLADO EN SF6. FUENTE: [7].

4.1.5.3 Seccionador

Elemento electro-mecánico que permite la apertura o cierre de un circuito eléctrico. A diferencia de los interruptores de potencia los seccionadores funcionan cuando el sistema se encuentra con una carga despreciable o preferentemente a vacío.



FIGURA 53: SECCIONADOR DE ALTA TENSIÓN. FUENTE: [8].

4.1.5.4 Transformador de corriente

Como dice su nombre, su principal función es la de transformar la corriente del devanado primario a otra corriente menor en su devanado secundario, usualmente se los utiliza para sistemas de medición.



FIGURA 54: TRANSFORMADORES DE CORRIENTE DE SUBESTACIONES. FUENTE: [7].

4.1.5.5 Transformador de potencial

En un sistema eléctrico de potencia, su función es transformar altos valores de voltaje sin tomar en cuenta los valores de corriente que circulan en el sistema, generalmente este tipo de elementos se los emplea en sistemas de medición y protección.



FIGURA 55: TRANSFORMADORES DE POTENCIAL. FUENTE: [7].

4.1.5.6 Relé de protección SEL-751

También llamado relé de sobrecorriente, entre sus funciones esta la protección cuando la corriente excede la nominal ajustada en el dispositivo, este dispositivo asume que existe sobrecarga en el sistema y luego de unos segundos acciona sus contactos para dar apertura al circuito, la otra protección funciona cuando la corriente se dispara súbitamente, este dispositivo entiende que hay un cortocircuito y acciona sus contactos e inmediatamente se abre el circuito.



FIGURA 56: RELÉ DE SOBRECORRIENTE SEL-751 A. FUENTE: [4].

4.1.5.7 Relé de protección SEL-700G

Entre sus múltiples parámetros de protección tiene la protección diferencial que se acciona cuando detecta una diferencia significativa entre las corrientes de fases.



FIGURA 57: RELÉ DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL SEL-387 E. FUENTE: [3].

4.1.6. Marco Procedimental

4.1.6.1 Componentes del módulo

Para identificar rápidamente el módulo de generación se encuentra dividido en sencillos bloques donde se condensan los elementos descritos en capítulos anteriores.

4.1.6.2 Bloque de Alimentación A – Red Local

En este primer módulo se puede encontrar la alimentación a través de la Red Local (Alimentación Trifásica del laboratorio). Para su energización conectamos el variac a la red trifásica y ajustamos su voltaje a 208 V, de las salidas del variac conectamos a los bornes de entrada.

Una vez conectados se procede a subir el breaker de protección del bloque de alimentación A, al energizarse su luz piloto verde se apagara y la luz piloto roja se encenderá indicando que el circuito se encuentra energizado.

Cabe recalcar que cuando se empiece a energizar el sistema, no se debe olvidar cortocircuitar los transformadores de corriente que no estén en uso para evitar falsas lecturas o daños de los mismos.

Continuando con la trayectoria de la línea aparece un transformador elevador que lleva el voltaje de 208 a 600 V, este transformador está protegido por dos disyuntores en el lado del primario como en el lado del secundario. El bloque también consta de un TP que ayuda a obtener señales de voltaje necesarias para los parámetros del Relé de protección.

Finalmente el bloque consta de un módulo de falla a tierra para realizar las pruebas de cortocircuito y ajuste de la protección instantánea del Relé SEL-751

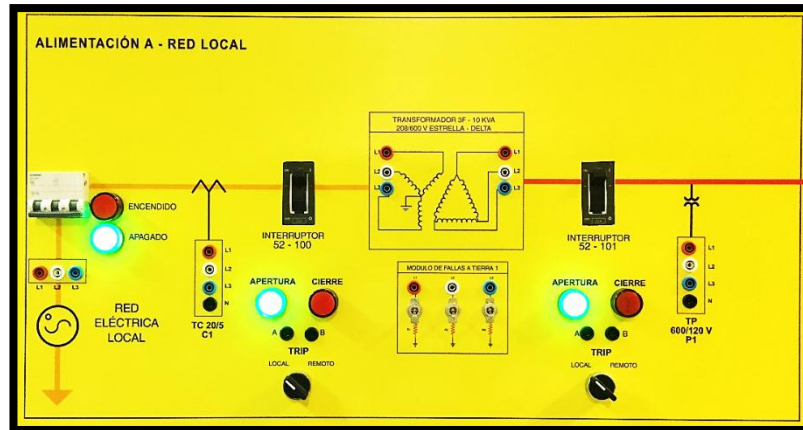


FIGURA 58: BLOQUE DE ALIMENTACIÓN A – RED LOCAL. FUENTE: LOS AUTORES.

4.1.6.3 Bloque de Alimentación B y C – Generador 1 y 2

En el segundo y tercer bloque se encuentran la alimentación B y C, cada bloque comprenden una alimentación a través de generador síncrono, un breaker principal para energizar el bloque, transformadores de corriente y transformadores de voltaje a la entrada y a la salida para llevar las señales que se requiere en los parámetros del ajuste de los relés 700 G, un transformador elevador que lleva el voltaje de 208V a 600V para poder conectarse a la red tipo anillo, dos interruptores trifásicos uno del lado del primario y otro en la salida del secundario para realizar la apertura del circuito cuando el Relé de la orden de disparo.

Los bloques de alimentación B y C también consta de sus respectivos módulos de pruebas para fallas a tierras que son accionados por un switch ojo de cangrejo para simular la falla de una línea a tierra.

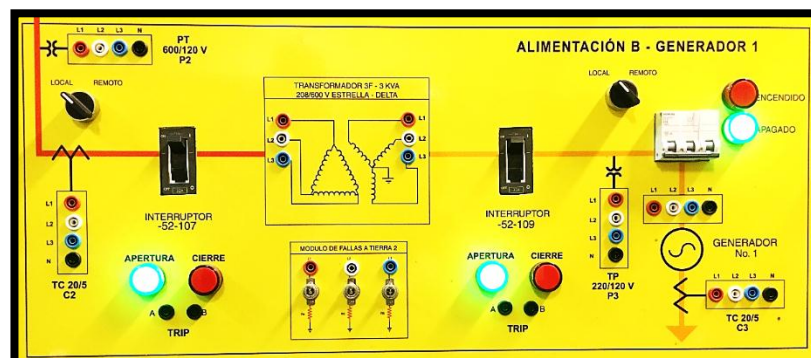


FIGURA 59: BLOQUE DE ALIMENTACIÓN B- GENERADOR 1. FUENTE: LOS AUTORES

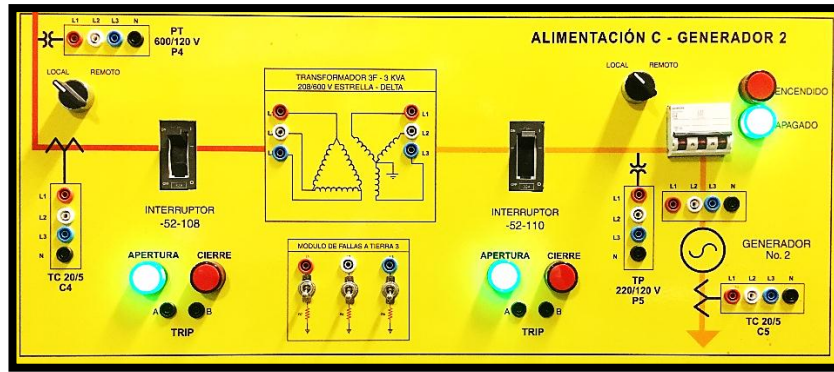


FIGURA 60: BLOQUE DE ALIMENTACIÓN C- GENERADOR 2. FUENTE: LOS AUTORES

4.1.6.4 Red Tipo anillo

En el bloque de Red Tipo Anillo se puede encontrar interconexión de las tres alimentadoras A, B y C, para supervisar los parámetros eléctricos con los cuales la alimentación entra a la red, dispone de tres analizadores de redes uno para cada alimentación. En su interior consta de diez seccionadores trifásicos que permitirán realizar operaciones de maniobra en la red, cinco interruptores trifásicos que harán la apertura del circuito en caso de un desbalance o falla a tierra, cinco transformadores de corriente que enviarán las señales de corriente que requiere el relé 751 para proteger la red y cinco pares de borneras que harán de By-Pass en el caso de emergencia.

Al final de la red el anillo consta de 2 salidas trifásicas de 600 V. para interconexión con los módulos de transmisión o destrucción.

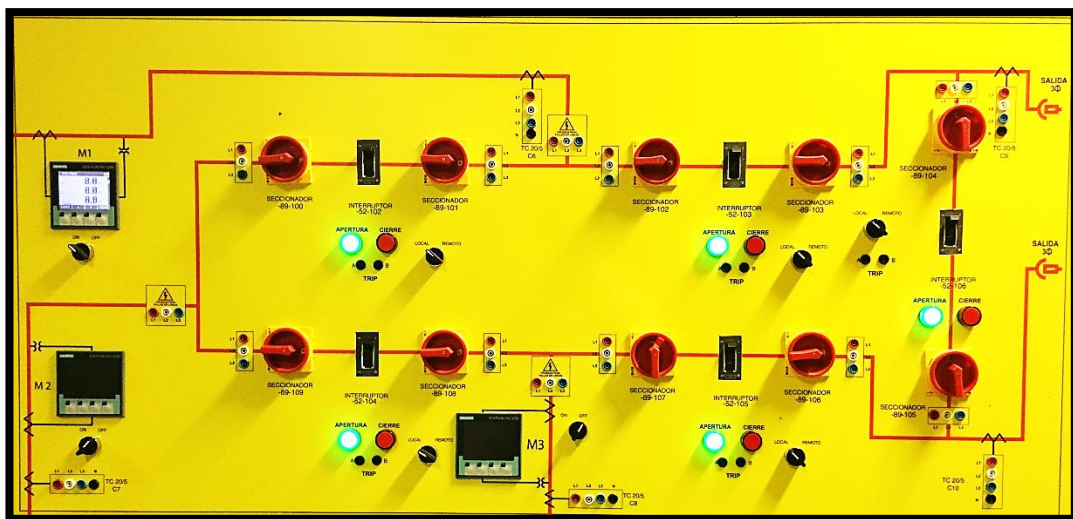


FIGURA 61: RED ELÉCTRICA TIPO ANILLO. FUENTE: LOS AUTORES.

4.1.6.5 Bloque de Control de Interruptores

Este bloque condensa el centro de control de los interruptores constituido por 11 interruptores dobles con luz piloto blanca y dos luces pilotos azules que indican el tipo de control que se encuentra activo en el sistema.

Cada pulsador doble acciona un contactor que está conectado en serie con el interruptor que protege al sistema. La luz piloto blanca indica que el contactor al que corresponde el pulsador doble se encuentra en accionamiento local, cuando esta luz se apaga el accionamiento del contactor está en modo remoto y no se podrá abrir o cerrar el contacto sin volverlo al modo local.

La condición que existe para las luces pilotos azules consiste en que todos los interruptores deben estar en local para que encienda la luz piloto del modo local y así mismo todos los interruptores deben estar en remoto para que la luz piloto encienda el modo remoto y permita conectar al sistema SCADA.



FIGURA 62: UNIDAD DE CONTROL PARA INTERRUPTORES FUENTE: LOS AUTORES.

4.1.6.5 Bloque de Relés de Protección

El bloque de relés de protección es la sección más importante del módulo, concentra a todos los relés que protegen cada parte del módulo didáctico y están distribuidos en regiones de protección en todo el tablero.

Compuesto por dos relés 751 y dos relés 700G garantizan el despeje de cualquier falla o perturbación en la red de forma oportuna.

El primer Relé 751 protege al bloque de alimentación A ante sobrecorrientes por exceso de carga o fallas a tierra con su protección 50/51.

El segundo Relé 751 protege el anillo de distribución ante desbalances de corriente provocados por fallas a tierra o pérdidas de fase para lo cual se empleará la protección 50/51 de igual manera que el primer relé.

El tercer Relé 700G protege al bloque de alimentación B donde se encuentra el generador 1 con su transformador elevador, el relé actuara ante diferencias de corriente provocadas por fallas a tierra o perdidas de fase. En este caso se usará la protección 87 del relé.

El cuarto y último relé 700 G protege al bloque de alimentación C donde se encuentra el generador 2 con su transformador elevador respectivamente, el relé estará ajustado de igual manera que el relé anterior siempre y cuando el generador y transformador sean de las mismas características que el mencionado con anterioridad.

Finalmente para su conexión en el sistema el bloque de relés consta de bornes para sus entradas de parámetros eléctricos proporcionadas por sus TCs y TPs y para sus contactos de salidas con los cual accionara la apertura del circuito.



FIGURA 63: BLOQUE DE RELÉS DE PROTECCIÓN. FUENTE: LOS AUTORES.

4.1.7 Condiciones de Funcionamiento

Esta primera práctica consiste en reconocer cada uno de los elementos antes mencionados y se enseñará como alimentar y encender el sistema de control, medición de parámetros, señalización y operatividad de los relés.

Para energizar el módulo se deben seguir las siguientes instrucciones:

- Comprobar que el paro de emergencia se encuentra deshabilitado y permita el paso de la energía.
- Conectar la clavija azul monofásica 110V (Alimentación de control) al módulo de generación.
- Conectar el enchufe 110V al tomacorriente más cercano al módulo de generación.
- Una vez realizada la conexión de la clavija y el enchufe se puede proceder a encender el breaker principal de 2P-20A correspondiente al circuito de control, en el tablero se debe apreciar que las luces pilotos verdes se encuentran encendidas, las pantallas de los relés se encuentran encendidas, y los medidores de parámetros empiezan a funcionar.

4.1.8 Recursos utilizados (Equipos, accesorios y materiales consumibles)

- Módulo de protecciones para sistemas de generación.

4.1.9. Registro de Resultados

- Tabla de identificación de los elementos del tablero.

4.1.10 Cuestionario

- 1) ¿Qué entiende por un SEP?
- 2) ¿Qué entiende usted por un Sistema de Generación de Potencia?
- 3) ¿Qué entiende usted por un Sistema de Protección?
- 4) ¿Qué elementos del módulo son nuevos para usted?
- 5) ¿Qué elementos del módulo los reconoce y en qué aplicaciones los ha usado antes?

4.1.11 Bibliografía Utilizada

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

4.1.12 Cronograma/Calendario

- De acuerdo a la planificación de cada docente.

4.2 Práctica 2: Prueba de flujo de potencia en módulo de generación a vacío

4.2.1 Datos informativos

- Materia: Protecciones/SEP II y III/Máquinas Eléctricas I
- Práctica: N° 2
- Número de estudiantes: 20
- Nombre del docente: Ing. Roy Santana
- Tiempo estimado: 4 Horas

4.2.2 Datos de la práctica

- Tema: Prueba de flujo de potencia en módulo de generación a vacío.

4.2.3 Objetivo general

- Identificar los valores nominales de funcionamiento del módulo de generación cuando se encuentra energizado a vacío.

4.2.4 Objetivos específicos

- Conocer cada uno de los valores nominales de voltaje de los elementos en la red a vacío.
- Conocer el valor de pérdida de corriente existente en los transformadores trifásicos de 10 KVA y 3 KVA cuando estos se encuentran conectados sin carga.
- Registrar los parámetros eléctricos nominales del sistema para comparaciones posteriores.

4.2.5. Marco Teórico

4.2.5.1 Flujo de corriente a vacío

En muchas ocasiones antes de energizar completamente un sistema eléctrico se realiza el ensayo de flujo sin carga o también llamado a vacío con el fin de medir la pérdida que existe en el hierro para la excitación del núcleo de los transformadores.

4.2.5.2 Transformadores de corriente a vacío

Cuando se inducen altos voltajes pueden dañar el aislamiento del devanado secundario haciendo que entre en cortocircuito y se destruyan, es por esta razón que los secundarios no utilizados deben estar cortocircuitados para evitar dichas sobre tensiones.

Según indica normativa IEEE 60044-1 el secundario debería poder resistir una sobre tensión de valores 1.2, 1.5 hasta 2 veces su corriente nominal primaria por un lapso de 60 segundos con frecuencias de 60/50 Hz o 18 segundos con frecuencia mejorada (400 Hz)

4.2.6. Marco Procedimental

Conectar el módulo de generación y todos los transformadores trifásicos a tierra.

De igual manera antes de energizar el tablero desde la fuente cortocircuitar todas las salidas del secundario de los transformadores de corriente, puesto que si se encuentran abiertos pueden causar lecturas de voltaje erróneas y daños en los transformadores de corriente.

Energizar el sistema paulatinamente y observar los parámetros eléctricos de los transformadores cuando entran en operación a vacío.

Tomar lecturas de los valores de voltaje y corriente en los diferentes puntos del sistema a vacío y registrarlos en una tabla.

Realizar una comparación entre valores teóricos y valores prácticos.

Establecer conclusiones y recomendaciones de la práctica.

4.2.7 Condiciones de Funcionamiento

- ✓ Conectar el enchufe trifásico desde el tomacorriente trifásico del laboratorio al Variac.
- ✓ Con el Variac Energizado conectarlo a la entrada de la Red Local y subir el breaker de protección.
- ✓ Una vez entre en operación y la luz piloto cambie a roja, procedemos a medir con el multímetro el voltaje que está entregando el VARIAC, recordemos que para esta práctica y para el resto de prácticas necesitamos que el variac entregue 208 VAC.

4.2.7.1 Energizar transformador#1 - 10 KVA

- ✓ Con el voltaje ajustado se procede a cerrar el primer breaker -52-100-energizando el transformador trifásico de 10 KVA.
- ✓ Tomamos lectura de los valores de voltaje y corriente en las tres fases del transformador trifásico de 10 KVA tanto del lado de baja mientras que en el lado de alta tomamos solo valores de voltaje.

TABLA 5: VALORES A VACÍO DEL TRANSFORMADOR #1. FUENTE: LOS AUTORES.

RED LOCAL	Transformador #1 10 KVA	
	Lado B.T. (V)	Lado A.T.(V)
VAB	207.7	
VBC	208.4	
VCA	208.5	
VAN		
VBN		
VCN		
	Lado B.T. (Amp.)	Lado B.T. (Amp.)
IA	12.1	
IB	10.4	
IC	10.2	
IC	4	
In Variac	1,4	
In Trafo	2,2	
Ig Tablero	0,8	

4.2.7.2 Energizar transformador #2 - 3 KVA

- ✓ Una vez levantada esta información y grabada en la tabla procedemos a energizar el bloque de GENERACIÓN 1.
- ✓ El bloque de generación uno está diseñado para que su alimentación sea a través de un generador síncrono o un VARIAC como en el caso de la RED LOCAL. En el caso de que la alimentación del GENERADOR 1 sea como el de la red local se continúan con pasos muy similares a los descritos con anterioridad.
- ✓ Con el Variac Energizado conectarlo a la entrada del GENERADOR 1 y subir el breaker de protección.

- ✓ Una vez entre en funcionamiento y la luz piloto roja encienda se procede a medir con el multímetro el voltaje que está entregando el VARIAC, recordemos que el variac entregue 208 VAC.
- ✓ Con el voltaje ajustado se procede a cerrar el breaker -52-109- energizando el transformador trifásico de 3 KVA.
- ✓ Tomamos lectura de los valores de voltaje y corriente en las tres fases del transformador trifásico de 3 KVA, tanto del lado de baja mientras que en el lado de alta se toma solo valores de voltaje.

TABLA 6: VALORES A VACÍO DEL TRANSFORMADOR #2. FUENTE: LOS AUTORES.

GENERADOR 1	Transformador #2 3 KVA	
	Lado B.T. (V)	Lado A.T.(V)
VAB	208.4	
VBC	208.2	
VCA	207.1	
VAN		
VBN		
VCN		
	Lado B.T. (Amp.)	Lado B.T. (Amp.)
IA	4.1	
IB	5.9	
IC	3.6	
IC	0	
In Variac		
In Trafo		
Ig Tablero		

4.2.7. Energizar transformador #3 - 3 KVA

- ✓ Para energizar el Transformador #3 se repiten los pasos expuestos para el transformador #2.
- ✓ Cerramos el breaker -52-110- energizando el transformador #3 trifásico de 3 KVA.

- ✓ Finalmente se toma lectura de los valores de voltaje y corriente en las tres fases del transformador trifásico de 3 KVA tanto del lado de baja mientras que en el lado de alta tomamos solo valores de voltaje.

TABLA 7: VALORES A VACÍO DEL TRANSFORMADOR #3. FUENTE: LOS AUTORES.

GENERADOR 2	Transformador #3 3 KVA	
	Lado B.T. (V)	Lado A.T.(V)
VAB	208.1	
VBC	208.1	
VCA	207.8	
VAN		
VBN		
VCN		
	Lado B.T. (Amp.)	Lado B.T. (Amp.)
IA	4.3	
IB	6.2	
IC	4.4	
IC	0	
In Variac		
In Trafo		
Ig Tablero		

4.2.8 Análisis matemático

Para calcular la corriente que circulará por el sistema, se deben obtener los datos de las pruebas a vacío del transformador; la impedancia de cortocircuito no intervendrá en el cálculo.

Datos tomados de las pruebas de cortocircuito (referidas desde lado de alta tensión) y circuito abierto (referidas al lado de baja tensión en el transformador de 10 KVA y al lado de alta tensión en los otros 3 transformadores).

TABLA 8: VALORES DE PRUEBAS DE TRANSFORMADORES. FUENTE: LOS AUTORES.

	Trafo # 1 - 10 KVA	Trafo # 2 - 3 KVA	Trafo # 3 - 3 KVA
Vcc	17,06	15.43	16.53
Icc	10,10	29.00	3.00
Pcc	0,29	0.07	0.08
Vca	206,73	209.19	208.76
Ica	10,15	5.60	3.80
Pca	0,16	0.30	0.11

$$\text{Impedancia de cortocircuito} = Z_{cc} = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \angle \cos^{-1} \frac{P_{cc}}{V_{cc} * I_{cc}}$$

ECUACIÓN 1: IMPEDANCIA DE CORTOCIRCUITO. FUENTE: [2].

$$\text{Admitancia de excitación} = Y_{ex} = \frac{I_{ca}}{V_{ca}} \angle \cos^{-1} \frac{P_{ca}}{V_{ca} * I_{ca}}$$

ECUACIÓN 2: ADMITANCIA DE EXCITACIÓN. FUENTE: [2].

$$\text{Conductancia} = G = \frac{I_{ca}}{V_{ca}} \cos \left(\cos^{-1} \frac{P_{ca}}{V_{ca} * I_{ca}} \right)$$

ECUACIÓN 3: CONDUCTANCIA. FUENTE: [2].

$$\text{Susceptancia} = B = \frac{I_{ca}}{V_{ca}} \sin \left(\cos^{-1} \frac{P_{ca}}{V_{ca} * I_{ca}} \right)$$

ECUACIÓN 4: SUSCEPTANCIA. FUENTE: [2].

$$\text{Resistencia de excitación} = R_{ex} = \frac{1}{G}$$

ECUACIÓN 5: RESISTENCIA DE EXCITACIÓN. FUENTE: [2].

$$\text{Reactancia de excitación} = jY_{ex} = \frac{1}{B}$$

ECUACIÓN 6: REACTANCIA DE EXCITACIÓN. FUENTE: [2].

4.2.8.1. Cálculo de valores de modelo real del transformador de 10 KVA (-T1):

$$Z_{cc} = \frac{17.06}{10.1} \angle \cos^{-1} \frac{0.29}{17.06 * 10.1}$$

$$Z_{cc} = 1.6891 \angle 89.9036^\circ \Omega; \text{ referido desde el lado de A.T.}$$

$$Y_{ex} = \frac{10.15}{207.83} \angle \cos^{-1} \frac{0.16}{207.83 * 10.15}$$

$$Y_{ex} = 0.049 \angle 89.9960^\circ = 3.673 \times 10^{-6} + j0.049$$

$$R_{ex} = \frac{1}{3.673 \times 10^{-6}} = 272.26 \text{ K}\Omega; \text{ referido al lado de B.T.}$$

$$jX_{ex} = \frac{1}{j0.049} = j20.41 \Omega; \text{ referido al lado de B.T.}$$

4.2.8.2. Cálculo de valores de modelo real del transformador de 3 KVA (-T2):

$$Z_{cc} = \frac{15.43}{3.02} \angle \cos^{-1} \frac{0.11}{15.43 * 3.02}$$

$$Z_{cc} = 2.5688 \angle 89.7909^\circ \Omega; \text{ referido desde el lado de A.T.}$$

$$Y_{ex} = \frac{4.6}{207.83} \angle \cos^{-1} \frac{0.11}{207.83 * 4.6}$$

$$Y_{ex} = 0.003624 \angle 89.9954^\circ = 2.7945 \times 10^{-7} + j0.003516$$

$$R_{ex} = \frac{1}{2.7945 \times 10^{-7}} = 3656.84 \text{ K}\Omega; \text{ referido al lado de A.T.}$$

$$jX_{ex} = \frac{1}{j0.003624} = j279.41 \Omega; \text{ referido al lado de A.T.}$$

4.2.8.3. Cálculo de valores de modelo real del transformador de 3KVA mediano (-T5):

$$Z_{cc} = \frac{16.5326}{3.00} \angle \cos^{-1} \frac{0.11}{16.5326 * 3.00}$$

$$Z_{cc} = 2.4562 \angle 89.5204^\circ \Omega; \text{ referido desde el lado de A.T.}$$

$$Y_{ex} = \frac{1.8}{207.83} \angle \cos^{-1} \frac{0.05}{207.83 * 3}$$

$$Y_{ex} = 0.003845 \angle 89.9967^\circ = 2.2146 \times 10^{-7} + j0.003845$$

$$R_{ex} = \frac{1}{2.2146 \times 10^{-7}} = 4598.52 \text{ K}\Omega; \text{ referido al lado de A.T.}$$

$$jX_{ex} = \frac{1}{j0.003845} = j267.38 \text{ }\Omega; \text{ referido al lado de A.T.}$$

4.2.8.4. Cálculos de flujo de corriente a partir de modelo real de transformadores:

Una vez que se hayan calculado los datos del modelo real de cada transformador, se procede a calcular los valores de corriente de cada núcleo de transformador, teniendo en cuenta que para tener el valor real de corriente, hay que referenciarlo a su respectivo nivel de tensión.

El resultado debe coincidir con el valor promedio de las corrientes de las 3 fases que se muestra en la tabla anterior.

Para realizar el cálculo hay que considerar las siguientes ecuaciones:

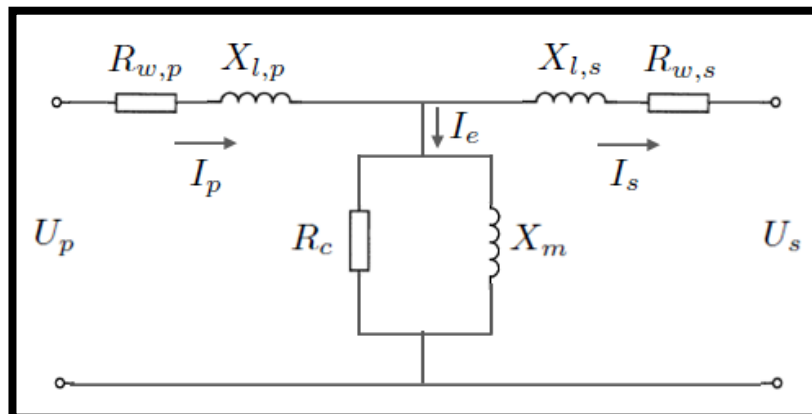


FIGURA 64: MODELO REAL DEL TRANSFORMADOR. FUENTE: [2].

Corriente primari = Corriente a vacío + Corriente secundaria

$$I_p = I_e + I_s$$

ECUACIÓN 7: CORRIENTE EN EL LADO PRIMARIO DEL TRANSFORMADOR. FUENTE: [2].

Corriente vacío = Corriente núcleo + Corriente magnetización

$$I_e = I_{Re} + I_{Xm}$$

$$I_e = \frac{U_p}{R_e} + \frac{U_p}{X_m}$$

4.2.8.5. Corriente primaria del transformador –T1:

Como la corriente en el secundario es cero (es decir no existe carga), entonces la corriente primaria será igual a la corriente de vacío, vista desde el lado de alta.

$$I_p = I_e = \frac{207.83V}{272.26 \text{ K}\Omega} + \frac{207.83V}{j20.41 \Omega}$$

$$I_p = 10.33 \text{ A}$$

4.2.8.6. Corriente primaria del transformador –T2:

Al igual que el anterior la corriente en el secundario es cero (es decir no existe carga), entonces la corriente primaria será igual a la corriente de vacío, vista desde el lado de alta.

$$I_p = I_e = \frac{207.83V}{4598.52 \text{ K}\Omega} + \frac{207.83V}{j267.38 \Omega}$$

$$I_p = 4.27 \text{ A}$$

4.2.8.7. Corriente primaria del transformador –T3:

Y finalmente en el último transformador la corriente en el secundario es cero (es decir no existe carga), entonces la corriente primaria será igual a la corriente de vacío, vista desde el lado de alta.

$$I_p = I_e = \frac{207.83V}{3656.84 \text{ K}\Omega} + \frac{207.83V}{j279.41 \Omega}$$

$$I_p = 4.64 \text{ A}$$

4.2.9 Recursos utilizados (Equipos, accesorios y materiales consumibles)

- Módulo de protecciones para Sistemas de Generación.
- Equipos de medición, Voltímetro, Amperímetro, Analizador de Red.
- Cables de pruebas del Laboratorio.
- Transformador Trifásico 10 KVA Estrella - Delta 220/600 VAC.
- Transformador Trifásico 3 KVA Estrella - Delta 220/600 VAC

4.2.10. Registro de Resultados

- Tabla de registro de valores nominales del módulo de generación.

4.2.11 Cuestionario

- 1) ¿Son éstos valores nominales tolerables en un sistema de potencia?
- 2) ¿Las pérdidas en los núcleos de los transformadores están en el rango permisible?
- 3) ¿Son los valores prácticos similares a los valores calculados?
- 4) ¿Qué conclusiones has obtenido en esta práctica?
- 5) ¿Qué recomendaciones podrías acotar a esta práctica?

4.2.12 Bibliografía Utilizada

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

4.2.13 Cronograma/Calendario

- De acuerdo a la planificación de cada docente.

4.3. Práctica 3: Prueba de flujo de potencia del módulo de generación con carga y análisis de relación de transformación.

4.3.1. Datos informativos

- Materia: SEP II
- Práctica: N° 3
- Número de estudiantes: 20
- Nombre del docente: Ing. Roy Santana
- Tiempo estimado: 2 Horas

4.3.2. Datos de la práctica

Tema: Análisis del flujo de corriente del sistema con carga.

4.3.3. Objetivo general

Analizar el comportamiento del sistema cuando es conectado el módulo didáctico desde la red local y desde las entradas de los generadores uno y dos a diferentes cargas.

4.3.4. Objetivos específicos

- Determinar los valores máximos de operación del sistema cuando la red local alimenta una carga conectada.
- Determinar los valores máximos de operación del sistema cuando la alimentación del generador 1 se encuentra conectada a una carga.
- Determinar los valores máximos de operación del sistema cuando la alimentación del generador 2 se encuentra conectada a una carga.

4.3.5. Marco teórico

4.3.5.1. Sobrecargas

Podemos definir a las sobrecargas como valores o datos de corrientes muchas veces superiores a la nominal de los equipos, mientras que la tensión y la diferencia de fase entre la tensión y corriente no sufren variaciones de importancia [9].

La capacidad de los equipos para admitir sobrecargas muchas veces dependen del tipo de equipo de que se trata y del estado de carga anterior al de la sobrecarga, el efecto

de esta última se limita a producir un calentamiento del equipo diseñado para disipar las pérdidas que se producen con corrientes inferiores o iguales a la nominal [9].

La protección contra sobrecargas es fundamentalmente una protección contra sobre temperatura, debiendo ser la temperatura del equipo y no la corriente que por él circula la magnitud de medida de la protección [9].

En presencia de una sobrecarga habitualmente no es necesario sacar el equipo de servicio, hay tiempo suficiente antes que se afecte el mismo, posibilitando al personal de operación tomar medidas a efectos de normalizar las cargas [9].

4.3.6. Marco procedimental

4.3.6.1. Conexión de la red local con la carga de 3KVA

Realizar la respectiva conexión del transformador de 10KVA y de la red local externa con la carga de 3KVA, como se muestra en la figura 65. Cabe recordar que la tierra de los transformadores deberán estar conectados con la tierra del sistema y que los bornes de los transformadores de corriente (TC's) que no van a ser utilizados en la práctica, deberán estar cortocircuitados.

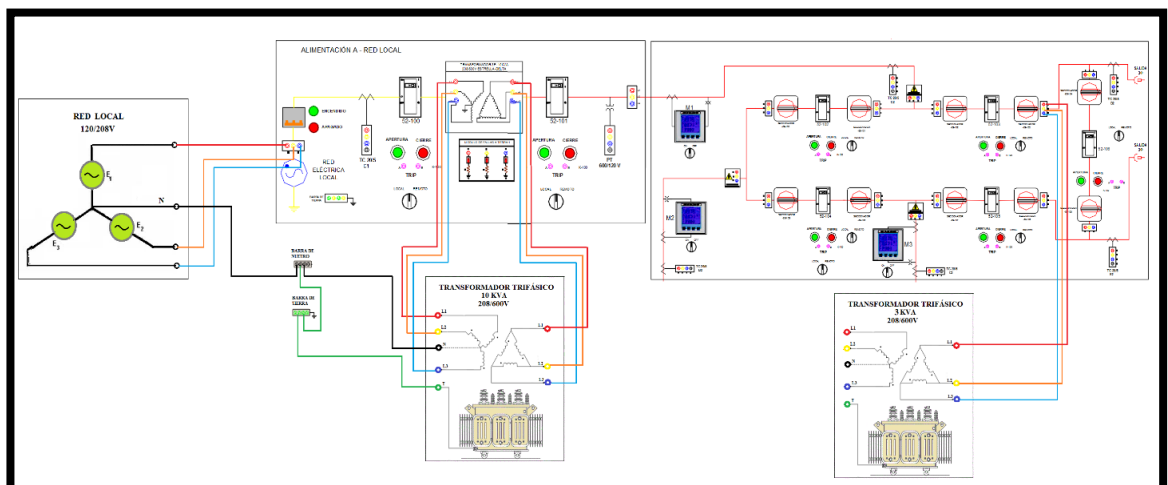


FIGURA 65: CONEXIÓN DE LA RED LOCAL CON EL TRANSFORMADOR DE 10KVA Y LA CONEXIÓN CON LA CARGA DE 3KVA. FUENTE: LOS AUTORES.

4.3.6.2. Condiciones de funcionamiento

- Verificar que el variac no esté regulado a valores mayores de 208 V.
- Verificar que la fuente no entregue más de 27 Amperios.
- Verificar que el valor del voltaje a la salida del sistema no sea inferior al 98.5% del voltaje nominal de la fuente.

4.3.6.3. Energizar el sistema a través de los bornes de alimentación de la red local

Conectar el variac al lado de baja del transformador de 10 KVA, aplicar un voltaje de 208 V como máximo, este es el valor nominal de tensión en las bobinas del transformador.

Conectar el transformador de 10 KVA a la entrada de alimentación independiente del sistema y cerrar los interruptores 100 y 101 como se aprecia en la figura 66. Luego procedemos a verificar las corrientes de línea del lado de baja del transformador como se muestra en la tabla 9.

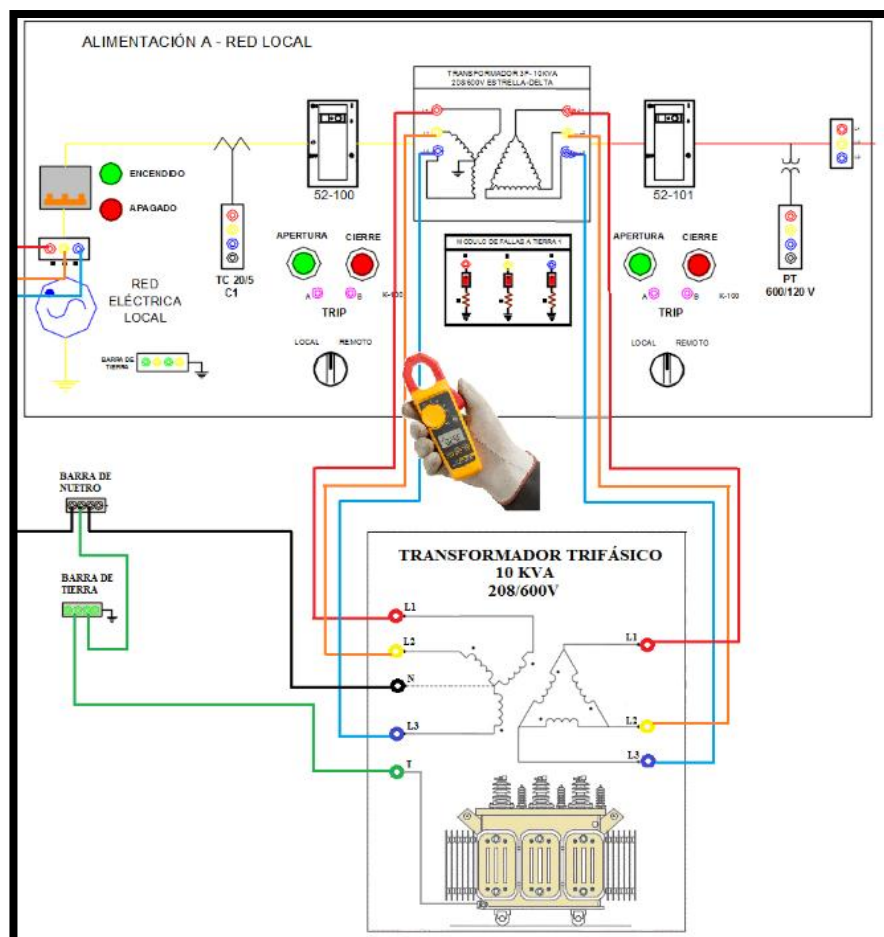


FIGURA 66: MEDICIÓN DE CORRIENTE EN EL LADO DE 208V. FUENTE: LOS AUTORES.

TABLA 9: VALORES NOMINALES DE CORRIENTES DEL TRAFEO DE 10KVA. FUENTE: LOS AUTORES.

CORRIENTE NOMINAL DE LAS TRES LINEAS EN EL LADO DE 208V DEL TRAFEO DE 10KVA	
L1	11.6 Amp.
L2	10.8 Amp.
L3	9.6 Amp.

Ahora procedemos a conectar la carga que para nuestro estudio será el transformador de 3 KVA. Para esto debemos cerrar el interruptor 103 como se aprecia en la figura 67. Luego procedemos a verificar las corrientes de línea del lado de alta del transformador de 3KVA como se muestra en la tabla 10.

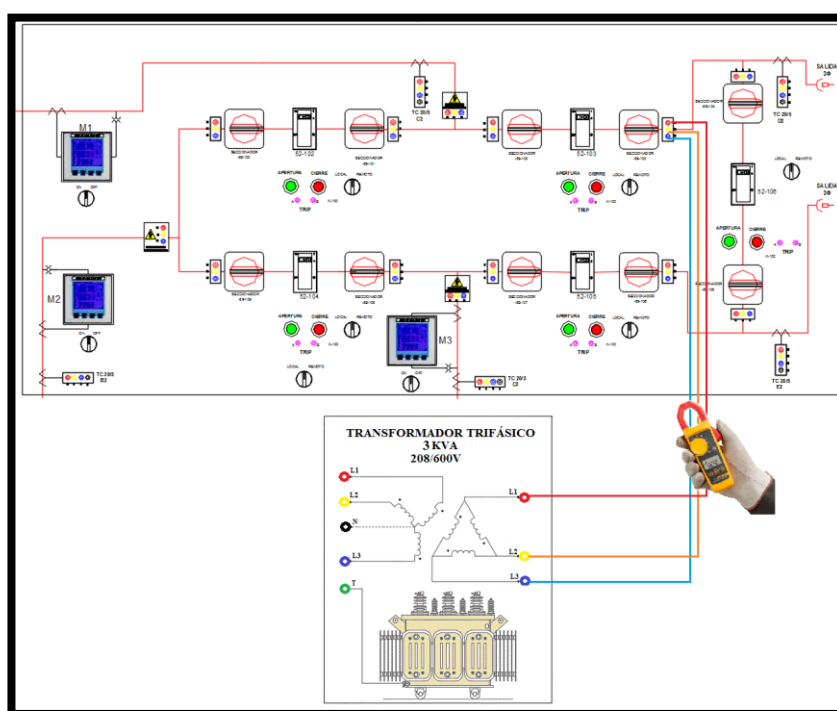


FIGURA 67: MEDICIÓN DE CORRIENTE DEL TRAFEO DE 3KVA. FUENTE: LOS AUTORES.

TABLA 10: VALORES NOMINALES DE CORRIENTES DE LOS TRANSFORMADORES DE 10KVA Y 3KVA. FUENTE: LOS AUTORES

	CORRIENTE NOMINAL DE LAS TRES LINEAS EN EL LADO DE 208V DEL TRAFEO DE 10KVA	CORRIENTE NOMINAL DE LAS TRES LINEAS EN EL LADO DE 600V DEL TRAFEO DE 3KVA
L1	12.9 Amp.	1.3 Amp.
L2	11.9 Amp.	1.1 Amp.
L3	10.6 Amp.	1 Amp.

4.3.6.4. Energizar el sistema a través de los bornes de alimentación de Generación 1

Conectar el variac al lado de baja del transformador #2 de 3 KVA, aplicar un voltaje de 208 V como máximo, este es el valor nominal de tensión en las bobinas del transformador.

Conectar el transformador #2 de 3 KVA a la entrada de alimentación independiente del sistema y cerrar el interruptor 109 como se aprecia en la figura 68. Luego se procede a verificar las corrientes de línea del lado de baja del transformador como se muestra en la tabla 11.

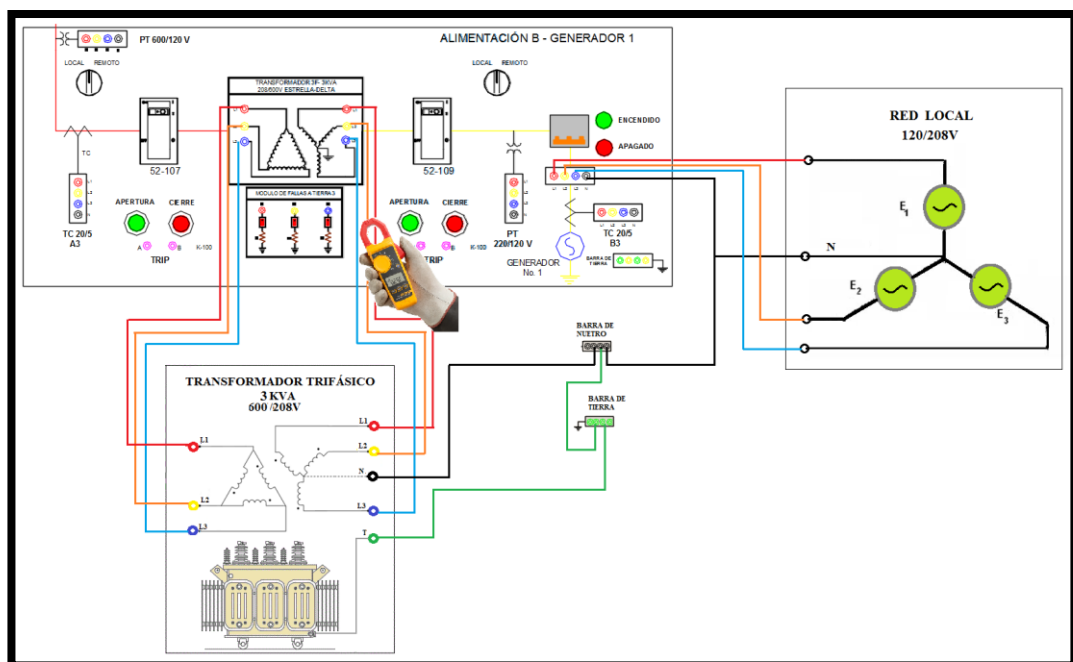


FIGURA 68: MEDICIÓN DE CORRIENTE EN EL LADO DE 208V. FUENTE: LOS AUTORES.

TABLA 11: VALORES NOMINALES DE CORRIENTES DEL TRAFO DE 3KVA. FUENTE: LOS AUTORES.

CORRIENTE NOMINAL DE LAS TRES LINEAS EN EL LADO DE 208V DEL TRAFO #2 DE 3KVA	
L1	4.1 Amp.
L2	5.7 Amp.
L3	3.6 Amp.

Ahora se procede a conectar la carga que para este estudio será el transformador #3 de 3 KVA. Se debe cerrar el interruptor 103 y 107 como se aprecia en la figura 69. Luego

se procede a verificar las corrientes de línea del lado de alta del transformador #3 de 3KVA como se muestra en la tabla 12.

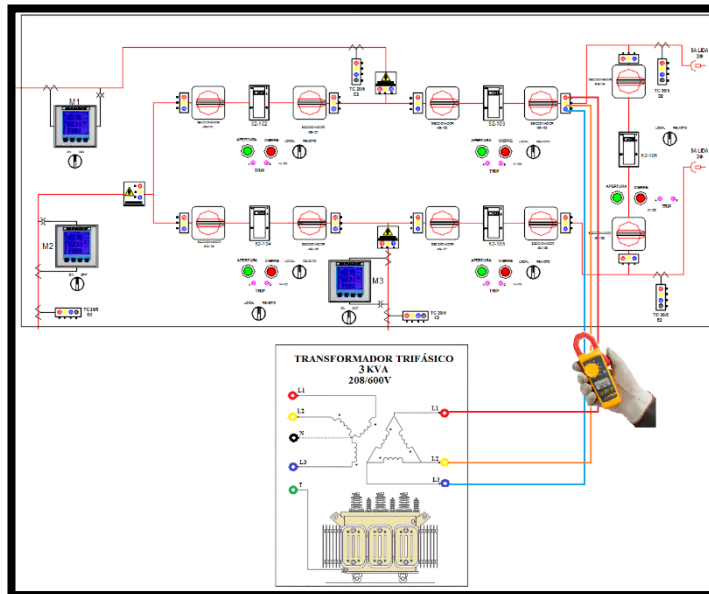


FIGURA 69: MEDICIÓN DE CORRIENTE DEL TRAFIO DE 3KVA. FUENTE: LOS AUTORES.

TABLA 12: VALORES NOMINALES DE CORRIENTES DEL TRANSFORMADOR #2 DE 3KVA Y EL TRANSFORMADOR #3 DE 3KVA. FUENTE: LOS AUTORES.

	CORRIENTE NOMINAL DE LAS TRES LINEAS EN EL LADO DE 208V DEL TRAFIO #2 DE 3KVA	CORRIENTE NOMINAL DE LAS TRES LINEAS EN EL LADO DE 600V DEL TRAFIO #3 DE 3KVA
L1	7.3 Amp.	1.2 Amp.
L2	9.1 Amp.	1.1 Amp.
L3	6.6 Amp.	1.2 Amp.

4.3.6.5. Energizar el sistema a través de los bornes de alimentación de Generación 2

Conectar el variac al lado de baja del transformador #3 de 3 KVA, aplicar un voltaje de 208 V como máximo, éste es el valor nominal de tensión en las bobinas del transformador.

Conectar el transformador #3 de 3 KVA a la entrada de alimentación independiente del sistema y cerrar el interruptor 110 como se aprecia en la figura 70. Luego procedemos a verificar las corrientes de línea del lado de baja del transformador como se muestra en la tabla 13.

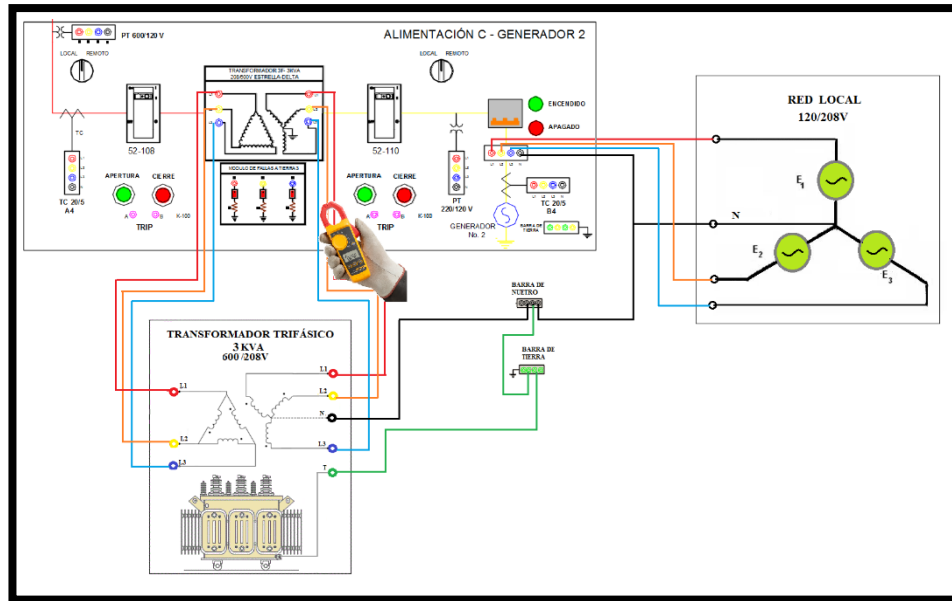


FIGURA 70: MEDICIÓN DE CORRIENTE EN EL LADO DE 208V. FUENTE: LOS AUTORES.

TABLA 13: VALORES NOMINALES DE CORRIENTES DEL TRAF0 #3 DE 3KVA. FUENTE: LOS AUTORES.

CORRIENTE NOMINAL DE LAS TRES LINEAS EN EL LADO DE 208V DEL TRAF0 #2 DE 3KVA	
L1	4.1 Amp.
L2	6.2 Amp.
L3	4.4 Amp.

Ahora se procede a conectar la carga que para nuestro estudio será el transformador #2 de 3 KVA. Para esto se debe cerrar el interruptor 103 y 108 como se aprecia en la figura 71. Luego se procede a verificar las corrientes de línea del lado de alta del transformador #3 de 3KVA como se muestra en la tabla 14.

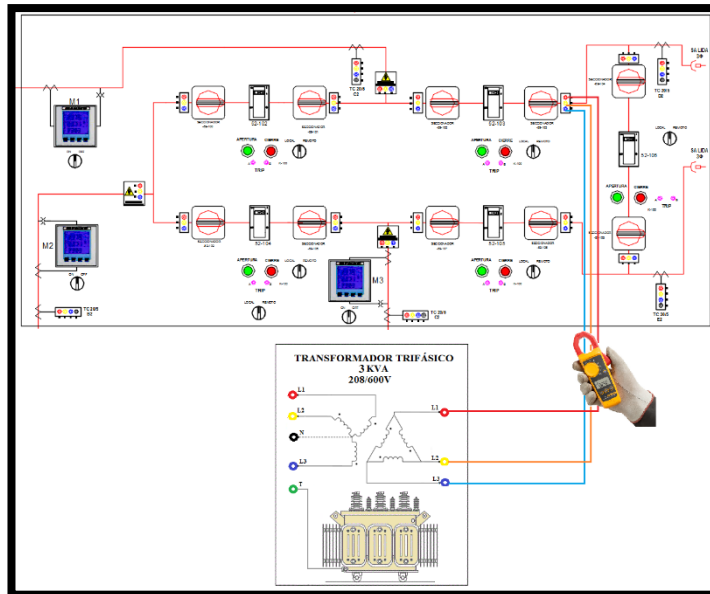


FIGURA 71: MEDICIÓN DE CORRIENTE DEL TRAF0 DE 3KVA. FUENTE: LOS AUTORES.

TABLA 14: VALORES NOMINALES DE CORRIENTES DEL TRANSFORMADOR #3 DE 3KVA Y EL TRANSFORMADOR #2 DE 3KVA.

	CORRIENTE NOMINAL DE LAS TRES LINEAS EN EL LADO DE 208V DEL TRAF0 #3 DE 3KVA	CORRIENTE NOMINAL DE LAS TRES LINEAS EN EL LADO DE 600V DEL TRAF0 #2 DE 3KVA
L1	7.9 Amp.	1.3 Amp.
L2	9.6 Amp.	1.1 Amp.
L3	7.4 Amp.	1.1 Amp.

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

- Analizador de redes.
- Amperímetro.
- Calculadora.
- Cables con plugs incorporados.

4.3.8. Registro de resultados

Cuestionario

¿Existe una sobrecarga en los devanados de los transformadores al realizar la práctica?

Conclusiones

Al introducir carga en el sistema, se crea un efecto adicional con respecto a las pérdidas que se cargan en los transformadores. Finalmente, como se lo explicó en la práctica #2, el transformador de 10KVA es el que cargaría con todas las corrientes de vacío existentes en los transformadores más la corriente de consumo de la carga que se vaya a conectar.

Recomendaciones

Colocar la protección adecuada (25 A) en el lado de B.T. del transformador de 10KVA

Cortocircuitar los TC para evitar caídas de tensión en el sistema.

4.3.9. Cronograma / calendario

- De acuerdo a la planificación de cada docente.

4.4. Práctica 4: Protección de sobrecorriente en el transformador #1 del bloque de la red local mediante relé sel-751

4.4.1. Datos informativos

- Materia: SEP II
- Práctica: N° 4
- Número de estudiantes: 20
- Nombre del docente: Ing. Roy Santana
- Tiempo estimado: 4 Horas

4.4.2. Datos de la práctica

Tema: Protección de sobrecorriente en el transformador #1 del bloque de la red local mediante relé SEL-751.

4.4.3. Objetivo general

Ajustar los parámetros adecuados para la coordinación del relé SEL-751 con la protección contra sobrecorriente e instantánea.

4.4.4. Objetivos específicos

- Verificar tiempos de disparo de acuerdo al tipo de curva y de ajustes del relé.
- Analizar para qué sirve la función instantánea.
- Comparar los resultados obtenidos cuando se presenta una falla a tierra.

4.4.5. Marco teórico

4.4.5.1. Transformadores de medición

Se denominan transformadores de instrumentación o transformadores de medida a los equipos que se emplean para alimentar con señales de bajo voltaje y baja corriente instrumentos para medida y protección. Estos equipos se utilizan para reducir o transformar los altos voltajes o altas corrientes del sistema eléctrico a valores que pueden ser medidos con seguridad y que son admisibles para los instrumentos de medida y protección que por lo general operan con baja tensión ($V \leq 1000$ Voltios) y baja corriente ($I < 100$ Amperios).

Existen dos tipos de transformadores para medición.

- Transformadores de voltaje o potencial (TP's).- Son los encargados de reducir el voltaje a la salida para que un equipo inteligente pueda capturar sus datos y se los puede conectar o instalar en paralelo del circuito primario.
- Transformadores de corriente o intensidad (TC's).- Están destinados a reducir la corriente del devanado primario en el lado secundario para lograr que un equipo inteligente pueda capturar sus datos, también se pueden conectar o instalar en serie del circuito primario.

4.4.5.2. Transformadores de corriente

Para que los TC's puedan cumplir con su función, se debe primero considerar el valor de la corriente circulante en el primario, la relación entre la corriente entre el primario y la corriente del secundario debe ser constante al tener variaciones de carga, por lo cual se trata de reducir al mínimo la corriente magnetizante.

La relación entre la corriente primaria y la corriente secundaria se la conoce como la relación de transformación del transformador de corriente (RTC).

$$RTC = \frac{I_p}{I_s}$$

ECUACIÓN 9: RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE FUENTE: [10]

Como todos sabemos, la parte teórica no siempre es igual a la práctica. Sobre todo en los TC's, ya que ésta relación no es exactamente igual porque los flujos magnéticos de ambos devanados (primario y secundario), no son exactamente.

Si por alguna razón se abriera el devanado secundario, la variación del flujo con el tiempo induce un valor de tensión alto que puede ser peligroso. Por esta razón, "el instrumento conectado en el secundario de un TC, no se debe desconectar sin antes poner en cortocircuito el secundario y poner a tierra este devanado".

$$\eta\% = \frac{RTC \times I_s - I_p}{I_p} \times 100$$

ECUACIÓN 10: ERROR DE RELACIÓN EN FORMA PORCENTUAL. FUENTE: [10]

El error de relación de un transformador de corriente, se expresa normalmente por medio de un factor de corrección de la relación, que se define como:

$$FCR = \frac{\text{Relación de transformación real}}{\text{Relación de transformación nominal}}$$

ECUACIÓN 11: FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA RELACIÓN. FUENTE: [10]

4.4.5.3. La función de la protección por relevadores

La función de la protección por relevadores es originar el retiro rápido del servicio de cualquier elemento de un sistema de potencia cuando éste sufre un cortocircuito o cuando empieza a funcionar en cualquier forma anormal que pueda originar daño e interfiera de otra manera con el funcionamiento eficaz del resto del sistema [11].

El equipo de protección esta soportado por interruptores que son capaces de desconectar el elemento defectuoso cuando el equipo de protección se los manda. Estos interruptores están localizados de tal manera que cada generador, transformador, barra colectora, línea de transmisión, etc. pueda desconectarse por completo del resto del sistema. Estos interruptores deben tener la capacidad suficiente para que puedan conducir momentáneamente la corriente máxima de cortocircuito que puede fluir a través de ellos e interrumpir, entonces esta corriente debe soportar también el cierre de un cortocircuito semejante e interrumpirlo de acuerdo con ciertas normas prescritas. Los fusibles se emplean donde los relevadores de protección y los interruptores no son justificables económicamente [11].

4.4.5.4. Características funcionales de un sistema de protección

Tanto un sistema de protección en su conjunto como cada una de las protecciones que lo componen, deben satisfacer las siguientes características funcionales [11]:

Sensibilidad: La protección debe saber distinguir inequívocamente las situaciones de falla de aquellas que no lo son.

Selectividad: La selectividad es la capacidad que debe tener la protección una vez detectada la existencia de falla, discernir si la misma se ha producido dentro o fuera de su área de vigilancia y, en consecuencia, dar orden de disparar los interruptores automáticos que controla, cuando así sea necesario para despejar la falla.

Rapidez: Tras haber sido detectada, una falla debe ser despejada lo más rápidamente posible. Cuanto menos tiempo se tarde en aislar la falla, menos se extenderán sus

efectos y menores daños y alteraciones se producirán al reducirse el tiempo de permanencia bajo condiciones anómalas en los diferentes elementos. Todo ello redundará en una disminución de los costes y tiempos de restablecimiento de las condiciones normales de operación, así como de reparación o reposición de equipos dañados, por tanto, en un menor tiempo de indisponibilidad de las instalaciones afectadas por la falla, lo que posibilita un mayor y mejor aprovechamiento de los recursos ofrecidos por el SEP.

4.4.5.5 Protecciones instantáneas

Son aquellas que actúan tan rápido como sea posible debido a que la falla se ha producido dentro del área que vigilan directamente. El tiempo usual de despeje de una falla en AT mediante una protección instantánea puede situarse en el entorno de dos o tres ciclos. Si el tiempo de despeje es menor la protección se denomina de alta velocidad.

4.4.5.6 Protecciones de tiempo diferido o con retraso en tiempo

Son aquellas en las que de manera intencionada se introduce un tiempo de espera que retrasa su operación, es decir, que retrasa el inicio de la maniobra de apertura de interruptores una vez que ha sido tomada la decisión de operar. Este retraso facilita, por ejemplo, la coordinación entre protecciones con el objetivo de que actúen solamente aquellas que permiten aislar la falla desconectando la mínima parte posible del SEP.

4.4.6 Marco procedimental

4.4.6.1. Conexión desde la red local

Realizar la respectiva conexión del transformador de 10KVA y de la red local externa con el módulo, como se muestra en la figura #72. Cabe recordar que la tierra del transformador deberá estar conectada con la tierra del sistema y que los bornes de los transformadores de corriente (TC's) que no van a ser utilizados en la práctica, tendrán que estar cortocircuitados.

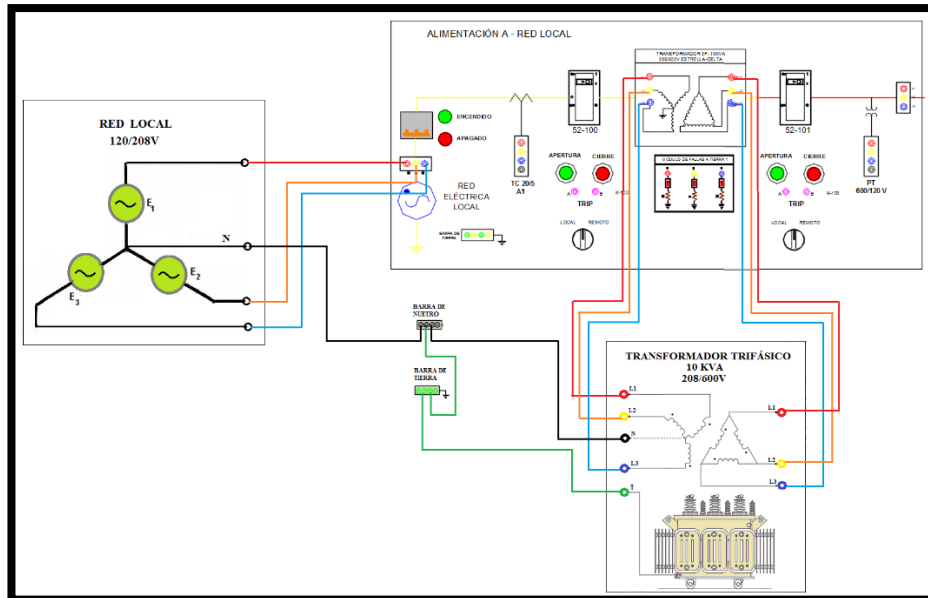


FIGURA 72: CONEXIÓN CON LA RED LOCAL CON EL MÓDULO DE GENERACIÓN Y EL TRANSFORMADOR DE 10KVA. FUENTE: LOS AUTORES.

Después se procede a conectar el transformador de corriente (C1) y el transformador de potencial (P1) al Relé 751, además se realiza la conexión mediante los bornes de control de trip del interruptor #100 como se ilustra en la figura #73.

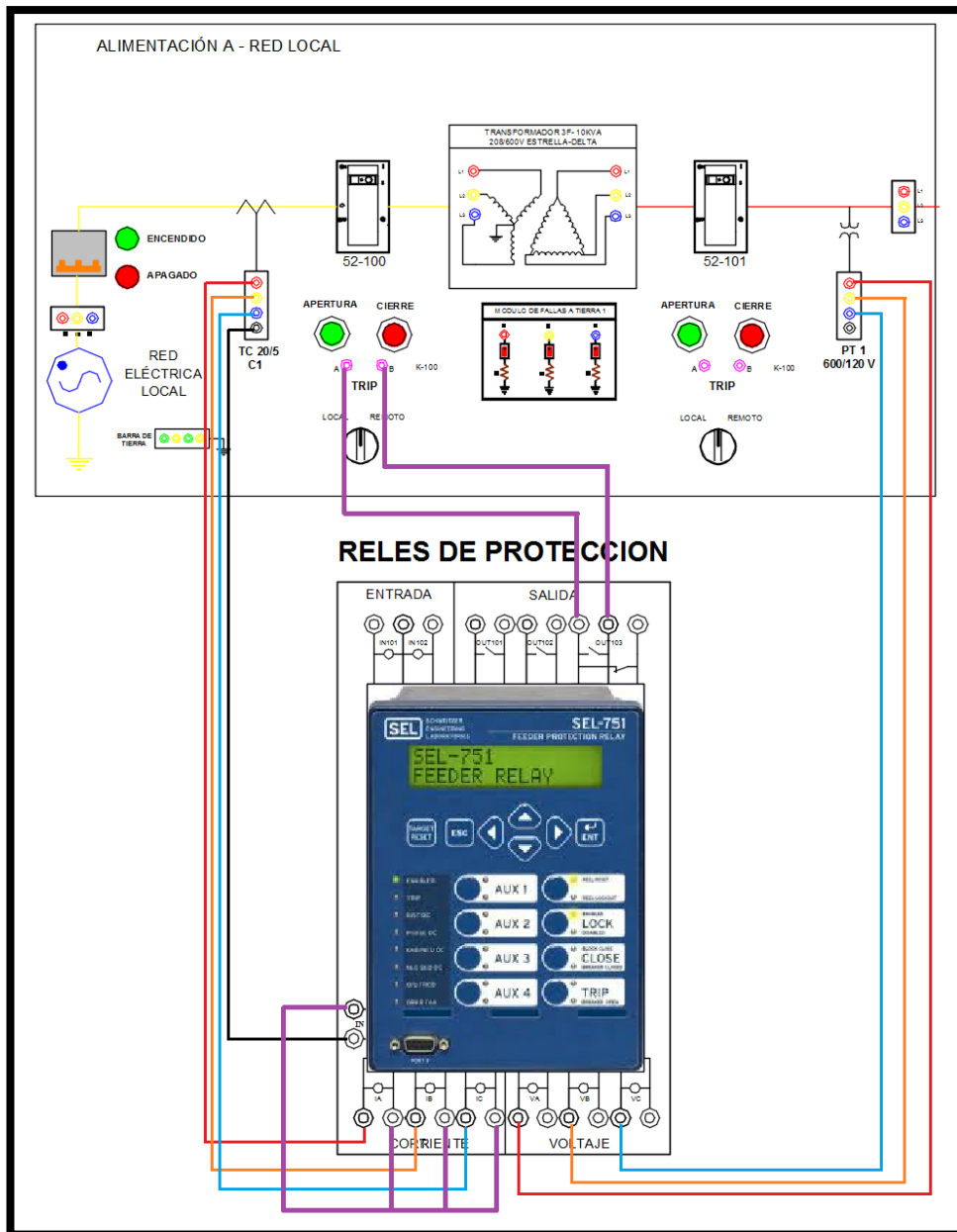


FIGURA 73: CONEXIÓN DEL RELÉ SEL – 751 CON EL TC-1 Y TP-1. FUENTE: LOS AUTORES.

4.4.6.2. Condiciones de funcionamiento

- Verificar que el variac no esté regulado a valores mayores de 208 V.
- Verificar que la fuente no entregue más de 27 Amperios.
- Verificar que el valor del voltaje a la salida del sistema no sea inferior al 98.5% del voltaje nominal de la fuente.

4.4.6.3. Energizar el sistema a través de los bornes de alimentación independiente

Conectar el variac al lado de baja del transformador de 10 KVA, aplicar un voltaje de 208 V como máximo, ya que este es el valor nominal de tensión en las bobinas del transformador.

Conectar el lado de alta del transformador de 10 KVA a la entrada de alimentación independiente del sistema y cerrar los interruptores 100 y 101

4.4.6.4. Energizar el transformador de 3KVA

Verificar que los seccionadores 102 y 103 se encuentren cerrados y verificar que el interruptor 103 también se encuentre cerrado. Presionar “CIERRE” en el pulsador del interruptor 103, esto energizará al transformador de 3KVA

4.4.5.5. Energizar los dos transformadores de 3KVA

Verificar que los seccionadores 102 y 103 se encuentren cerrados y verificar que el interruptor 103 también se encuentre cerrado. Presionar “CIERRE” en el pulsador del interruptor 103, esto energizará a los transformadores de 3KVA conectados en paralelo.

4.4.6. Cálculos matemáticos

4.4.7.1. Relación de transformación de corriente (RTC) del TC-1:

Para poder calcular la relación de transformación de corriente (RTC) del TC-1, debemos primero tomar datos de corriente que circula en el lado de 208V del transformador de 10KVA, en los cables que conectan el TC-1 y la lectura de corriente del relé SEL – 751 como se ilustran en las siguientes figuras 74.

La medición de los valores de corriente en las líneas desde el SEL-751 lo podemos observar aplastando el botón “ENT”. Enseguida nos muestra el menú principal y pulsamos en la función “METER”, y por último escogemos “FUNDAMENTAL”. Esto lo podemos ver en la figura 75.

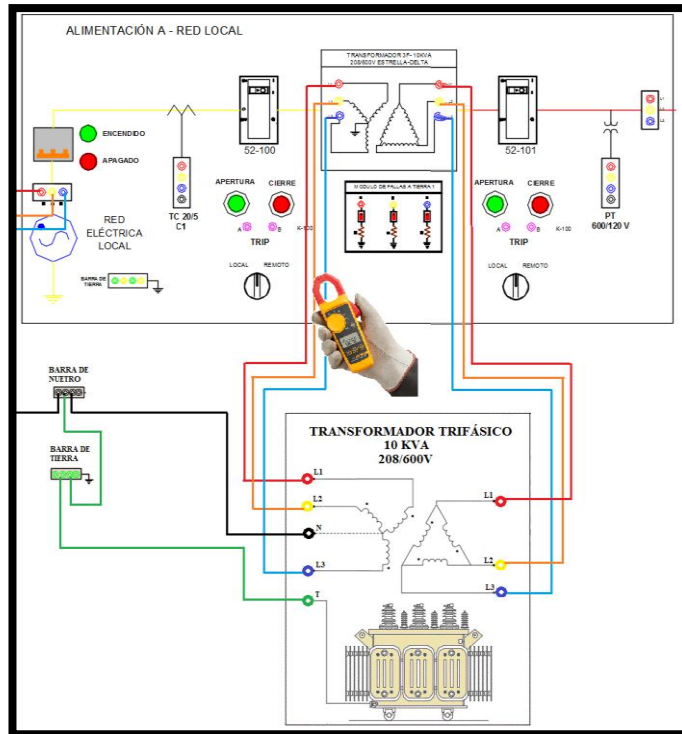


FIGURA 74: MEDICIÓN DE CORRIENTE EN EL LADO DE 208V. FUENTE: LOS AUTORES.

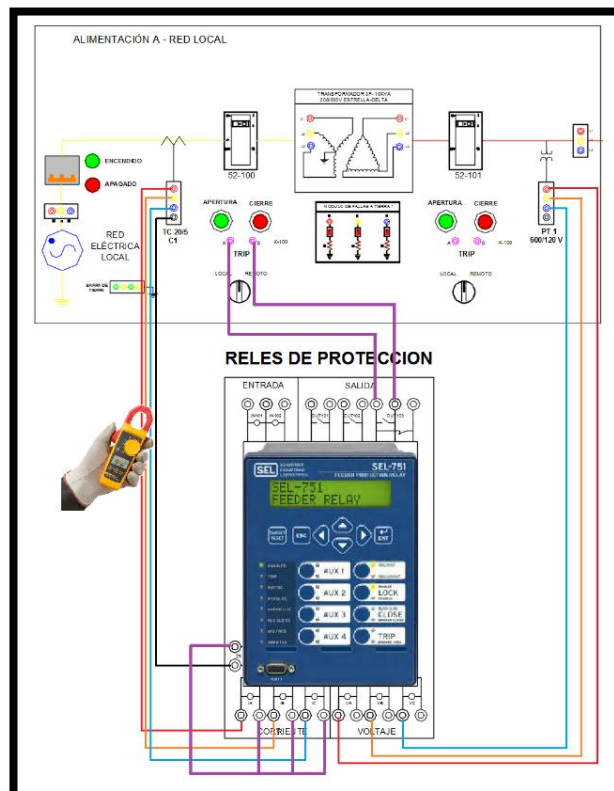


FIGURA 75: MEDICIÓN DE CORRIENTE DESDE LA CONEXIÓN DEL TC-1. FUENTE: LOS AUTORES.

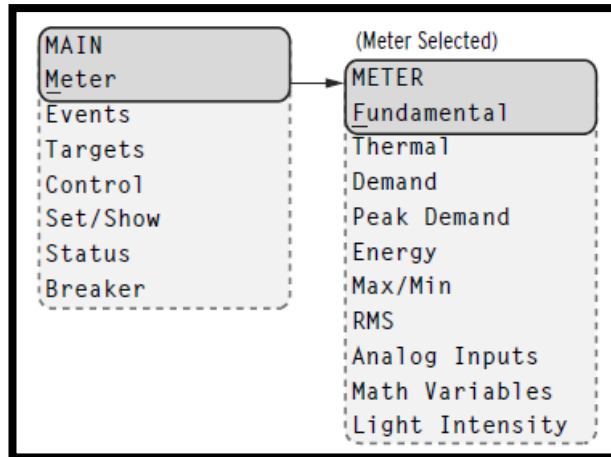


FIGURA 76: MENÚ “MAIN” Y SUBMENÚ “METER”. FUENTE: [4]

Ahora se procede a realizar una tabla comparativa donde pondremos nuestros valores obtenidos.

TABLA 15: REGISTRO DE VALORES DE CORRIENTES. FUENTE: LOS AUTORES.

	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN EL LADO DE 208V	MEDICIÓN DE CORRIENTE DESDE LA CONEXIÓN DEL TC-1	LECTURA DE CORRIENTE DEL RELÉ SEL – 751
L1	4 Amp	1.8 Amp	1.9 Amp
L2	3.7 Amp	1.7 Amp	1.8 Amp
L3	3.6 Amp	1.6 Amp	1.7 Amp

A continuación se realiza un promedio de la división entre la medición de corriente en el lado de 208V y la corriente medida desde la conexión del TC-1. Dando un valor de 2.216230. Dicho valor será la RTC del TC-1 y podemos obtener el valor de I_p ya que I_s siempre será 5 amp.

$$RTC = \frac{I_p}{I_s}$$

$$I_p = RTC * I_s$$

$$I_p = 2.216230 * 5 \text{ Amp}$$

$$I_p = 11.08115 \text{ Amp}$$

Como nuestro TC es de 20/5, entonces la I_p será 20 amp y la I_s es de 11.80115 Amp. Pero como tenemos nuestra corriente nominal hasta 4 amp. entonces calculamos de la siguiente manera.

$$RTC = \frac{Ip}{Is}$$

$$RTC = \frac{20}{11.08115}$$

$$RTC = 1.804866$$

$$Ip = RTC * Is$$

$$Ip = 1.804866 * 4 \text{ Amp}$$

$$Ip = 7.219464$$

Si la relación de los TC's es de 20/5, entonces la RTC será:

$$RTC = \frac{7.219464}{20}$$

$$RTC = 1.804866$$

Este valor se debe parametrizar en el relé SEL-751 en el menú "SET / SHOW", "GROUP" y por último a "CONFIG SETTINGS" y se cambia la RTC a 2 y que por defecto se encuentra en 1.

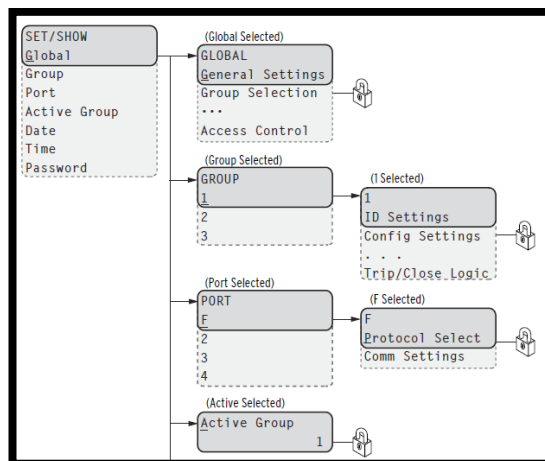


FIGURA 77: MENÚ "SET/SHOW". FUENTE: [4].

Con ésta parametrización se procede a ajustar los valores para la protección instantánea y sobrecorriente.

Primero se debe conocer la corriente nominal de cada línea con la que trabaja el transformador de 10KVA al vacío.

TABLA 16: VALORES NOMINALES DE CORRIENTES DEL TRAF0 DE 10KVA. FUENTE: LOS AUTORES.

	CORRIENTE NOMINAL DE LAS TRES LINEAS EN EL LADO DE 208V DEL TRAF0 DE 10KVA
L1	11.6 Amp.
L2	10.8 Amp.
L3	9.6 Amp.

4.4.7.2. SOBRECORRIENTE (51)

Para parametrizar la protección se necesita primero la sobrecorriente que se va a ajustar. Para esto se conecta otro transformador en la bahía de 600VAC, se cierra el interruptor 103 como se muestra en la figura 78 y se toman valores de corriente que se detallan en la tabla 17.

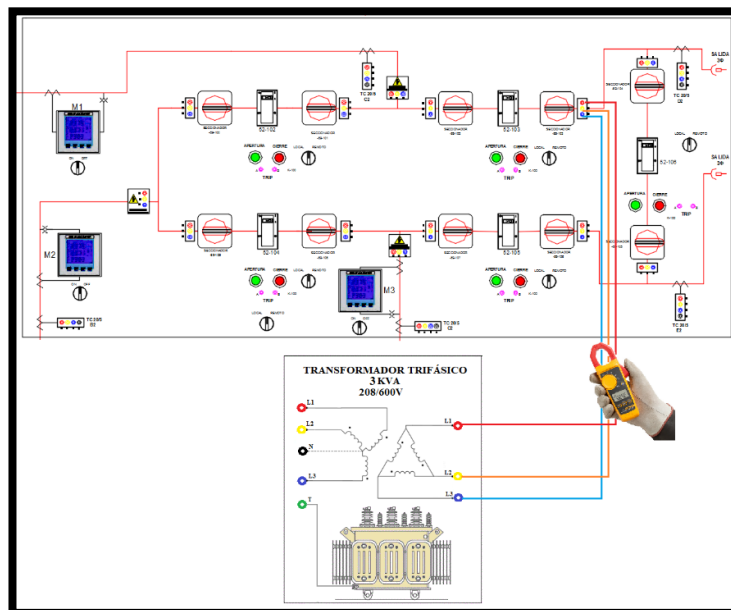


FIGURA 78: MEDICIÓN DE CORRIENTE DEL TRAF0 DE 3KVA. FUENTE: LOS AUTORES.

TABLA 17: VALORES NOMINALES DE CORRIENTES DE LOS TRANSFORMADORES DE 10KVA Y 3KVA. FUENTE: LOS AUTORES.

	CORRIENTE NOMINAL DE LAS TRES LINEAS EN EL LADO DE 208V DEL TRAF0 DE 10KVA	CORRIENTE NOMINAL DE LAS TRES LINEAS EN EL LADO DE 600V DEL TRAF0 DE 3KVA
L1	12.9 Amp.	1.3 Amp.
L2	11.9 Amp.	1.1 Amp.
L3	10.6 Amp.	1 Amp.

Como se puede observar al momento de conectar el trafo de 3KVA, muestra un incremento en la corriente de 11.6 Amp a 12.9 Amp en la línea uno.

4.4.7.3. Modelamiento de curvas de sobrecorriente [4].

Para poder dibujar la curva de la protección de sobrecorriente y poder estimar los tiempos de disparo de esta protección es necesario escoger la curva vamos a emplear. En este caso se utilizará la ecuación de la curva C2 para los tiempos de operación.

$$\text{Curva C2 (muy inversa IEC)} = td = \frac{13.5}{M - 1} * TD$$

ECUACIÓN 12: TIEMPO DE DISPARO CON CURVA C2. FUENTE: [4].

El valor de TD (time DIAL) para las curvas IEC, puede tener un rango entre 0.05 mín. y 1 máx. El valor de M es el múltiplo del valor ajustado en el relé y se lo puede definir como el cociente entre la corriente que va a leer el relé cuando se produce el incremento o sobrecorriente, y la corriente ajustada en los parámetros de configuración del relé.

$$\text{Múltiplo del ajuste} = M = \frac{I \text{ de sobrecorriente}}{I \text{ de ajuste del relé}}$$

ECUACIÓN 13: MÚLTIPLO DEL AJUSTE. FUENTE: [4]

4.4.7.4. Prueba de sobrecorriente.

Los parámetros de ajuste del relé son los siguientes:

- Tipo de curva: C2
- CTR: 2
- Time Dial: 0.05
- 51P: 6 A

$$I_{\text{nominal del trafo de 10KVA leído por el relé}} = \frac{11.6}{2}$$

$$I_{\text{nominal del trafo de 10KVA leído por el relé}} = 5.8$$

$$I_{\text{pickup}} = 6$$

$$I_{\text{nominal del trafo de 10KVA y 3KVA leído por el relé}} = \frac{12.9}{2}$$

$$I_{\text{nominal del trafo de 10KVA y 3KVA leído por el relé}} = 6.45$$

$$\text{Múltiplo del ajuste} = M = \frac{I \text{ de sobrecorriente}}{I \text{ de ajuste del relé}} = \frac{6.45}{6}$$

$$\text{Múltiplo del ajuste} = M = 1.075$$

$$\text{Curva C2 (muy inversa IEC)} = td = \frac{13.5}{1.075 - 1} * 0.05$$

$$\text{urva C2 (muy inversa IEC)} = td = 9 \text{ seg.}$$

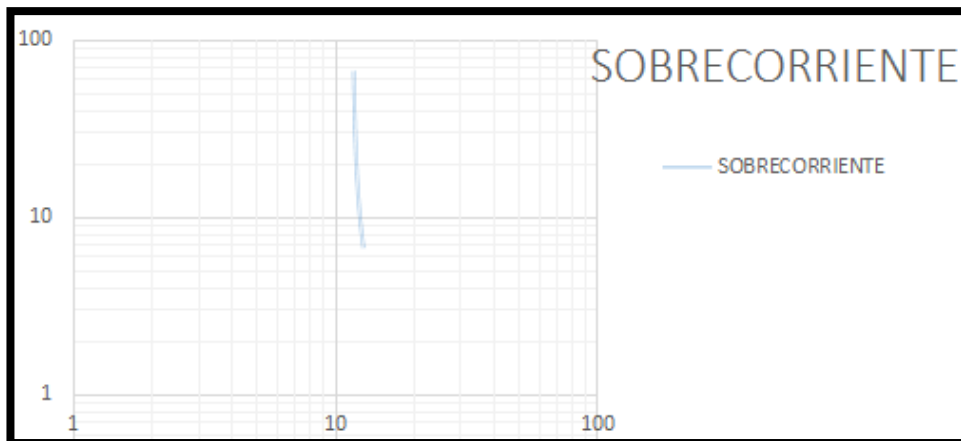


FIGURA 79: CURVA TIPO C2 ELABORADA POR MEDIO DEL SOFTWARE EXCEL, AJUSTES DE 6 AMP COMO CORRIENTE DE PICKUP Y TD=0.05. FUENTE: LOS AUTORES.

TABLA 18: TABULACIÓN DE DATOS POR MEDIO DE UNA HOJA DE CÁLCULO EN EXCEL PARA MODELAMIENTO DE CURVA C2 CON 6 AMPERIOS COMO CORRIENTE DE AJUSTE Y 0.05 DE TD. FUENTE: LOS AUTORES.

I	M	TD	t
11,716	1,01	0,05	67,5
11,832	1,02	0,05	33,75
11,948	1,03	0,05	22,5
12,064	1,04	0,05	16,875
12,18	1,05	0,05	13,5
12,296	1,06	0,05	11,25
12,412	1,07	0,05	9,64285714
12,528	1,08	0,05	8,4375
12,644	1,09	0,05	7,5
12,76	1,1	0,05	6,75

Para ingresar los valores calculados de I pickup, la curva C2 y el TD al relé SEL-751 debemos ir a la función “SET/SHOW” y escogemos la opción “GROUP 1”, por último buscamos el submenú “MAXIMUN PH TOC” y se ajusta los valores calculados arriba.

TABLA 19: PARÁMETROS DE AJUSTE DEL RELÉ SEL-751 PARA LA FUNCIÓN SOBRECORRIENTE. FUENTE: LOS AUTORES.

MAXIMUN PH TOC	
51PIP	6
51PIC	C2
51PITD	0.05

4.4.6.5. Instantáneo (50)

Para parametrizar la protección necesitamos primero la corriente de falla que se va a configurar. Para esto vamos a conectar dos transformadores en la bahía de 600VAC, y estos simularan una corriente excesiva en el tablero, para lo cual se configurará la función instantánea con ese valor de corriente. Para llevar a cabo ésta consigna cerramos el interruptor 103 como se muestra en la figura 80 y se toma valores de corriente que se detallan en la tabla 20.

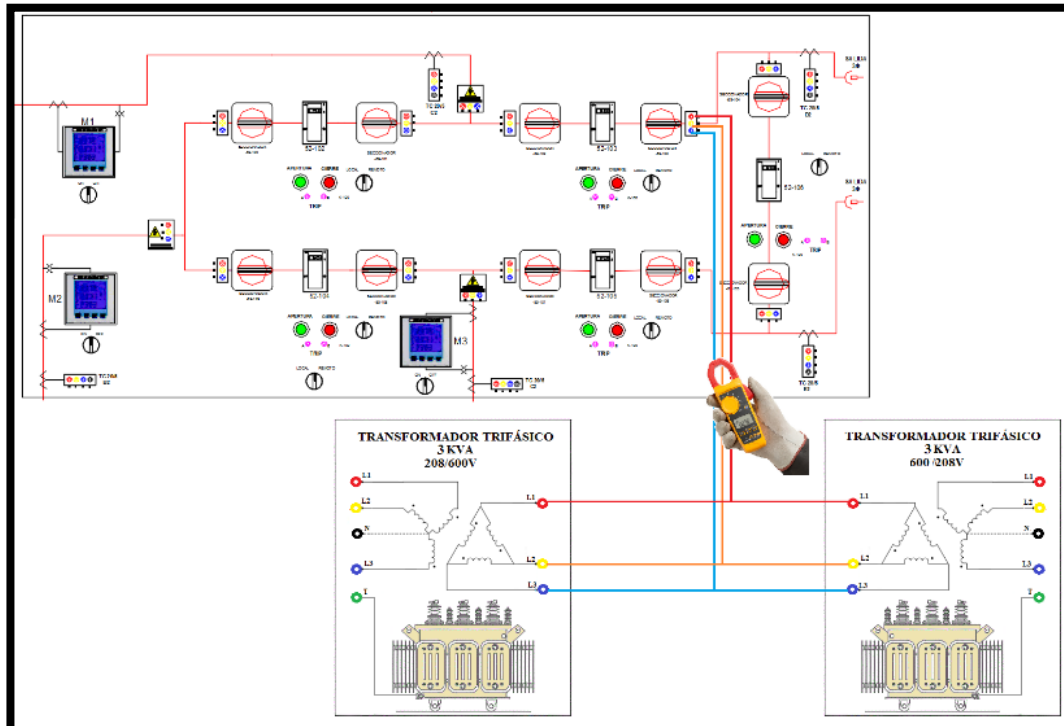


FIGURA 80: MEDICIÓN DE CORRIENTE DE LA UNIÓN DE DOS TRANSFORMADORES DE 3KVA. FUENTE: LOS AUTORES.

TABLA 20: VALORES NOMINALES DE CORRIENTES DE LOS TRANSFORMADORES DE 10KVA Y 3KVA.

FUENTE: LOS AUTORES.

	CORRIENTE NOMINAL DE LAS TRES LINEAS EN EL LADO DE 208V DEL TRAFOS DE 10KVA	CORRIENTE NOMINAL DE LAS TRES LINEAS EN EL LADO DE 600V DE LOS DOS TRAFOS DE 3KVA
L1	14.5 Amp.	2.6 Amp.
L2	13 Amp.	2.2 Amp.
L3	11.6 Amp.	2 Amp.

Como se puede observar al momento de conectar los dos transformadores de 3KVA, muestra un incremento en la corriente de 11.9 amp (al vacío) a 14.5 amp en la línea uno.

4.4.6.6. Prueba de función instantánea

Los parámetros de ajuste del relé son los siguientes:

- Corriente instantánea de fase: 7.25
- Tiempo: 0.05

$$I_{\text{nominal del trafo de 10KVA y las cargas de los trafos de 3KVA leído por el relé}} = \frac{14.5}{2}$$

$$I_{\text{nominal del trafo de 10KVA y las cargas de los trafos de 3KVA leído por el relé}} = 7.25$$

Para ingresar los valores calculados de corriente instantánea y el tiempo de retardo de la misma al relé SEL-751 se debe ir a la función “SET/SHOW” y se escoge la opción “GROUP 1”, por último se busca el submenú “MAX PH OVERCUR y se ajusta el valor máximo de corriente.

TABLA 21: PARÁMETROS DE AJUSTE DEL RELÉ SEL-751 PARA LA FUNCIÓN INSTANTÁNEA. FUENTE: LOS AUTORES.

MAX PH OVERCUR	
50P1P	7.25
50P1D	0.05

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

- Analizador de redes.
- Amperímetro.
- Calculadora.

4.4.8. Registro de resultados

➤ **Cuestionario**

¿Por qué utilizamos la función 50/51 en los Relés?

¿Qué función cumple una protección?

¿Cuál es la importancia de tener los valores calculados en el momento de la parametrización?

➤ **Conclusiones**

➤ **Recomendaciones**

Para garantizar la confiabilidad de un sistema debemos ser precisos al momento de escoger los valores que vamos a parametrizar en los relés, ya que esto asegura que no exista ninguna incoherencia en la coordinación de protecciones a realizar.

4.4.9. Cronograma / calendario

- De acuerdo a la planificación de cada docente.

4.5. Práctica 5: Protección diferencial en el transformador #2 y el generador 1 del bloque de generación mediante el relé sel-700G

4.5.1. Datos informativos

- Materia: SEP II
- Práctica: N° 5
- Número de estudiantes: 20
- Nombre del docente: Ing. Roy Santana
- Tiempo estimado: 2 Horas

4.5.2. Datos de la práctica

Tema: Protección diferencial en el transformador #2 y el generador 1 del bloque de generación mediante el relé Sel-700G.

4.5.3. Objetivo general

Ajustar los parámetros adecuados para la coordinación del relé SEL-700 con la protección diferencial en el sistema de protección del bloque de generación.

4.5.4. Objetivos específicos

- Verificar el disparo de acuerdo al ajuste diferencial en el relé.
- Analizar para qué sirve la función diferencial.
- Comparar los resultados obtenidos cuando se presenta una falla de línea a línea tanto externa como interna en el transformador.

4.5.5. Marco teórico

4.5.5.1. Ajuste de las protecciones diferenciales.

Se puede decir que la protección diferencial también llamada 87 sirve para prevenir fallas internas en los equipos y funciona calculando la diferencia de las corrientes que entran y salen de la zona protegida.

Tal como se muestra en la figura 81, el ajuste de la protección diferencial se define en tres rangos de valores que son:

- La zona 1 que corresponde a una mínima corriente diferencial que es constante. Esta zona queda definida con el valor de I_B .
- La zona 2 que corresponde a una característica con pendiente que debe considerar las diferencias de relación de transformación, tanto de los transformadores de corriente como del equipo protegido, como es el caso de los transformadores de potencia. Esta zona queda definida con la pendiente k_1 .
- La zona 3 que debe permitir evitar cualquier error consecuencia de una posible saturación de los transformadores de corriente. Este aspecto puede ser crítico si existe la posibilidad de un flujo remanente en los transformadores de corriente. Esta zona queda definida con la pendiente k_2 .

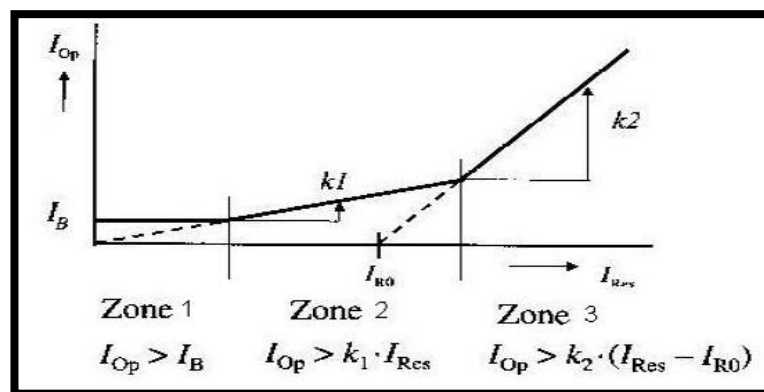


FIGURA 81: CARACTERÍSTICA DE AJUSTE DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL. FUENTE: [1].

4.5.5.2. Tipos de protecciones diferenciales

Los relés diferenciales solo operan cuando la diferencia fasorial de dos o más cantidades eléctricas exceden una cantidad específica. El relé diferencial más que un relé es una conexión; por ello, cualquier tipo de relé se puede conectar en forma diferencial [1].

Las formas diferenciales más usadas se conocen como de corriente circulante y voltajes opuestos.

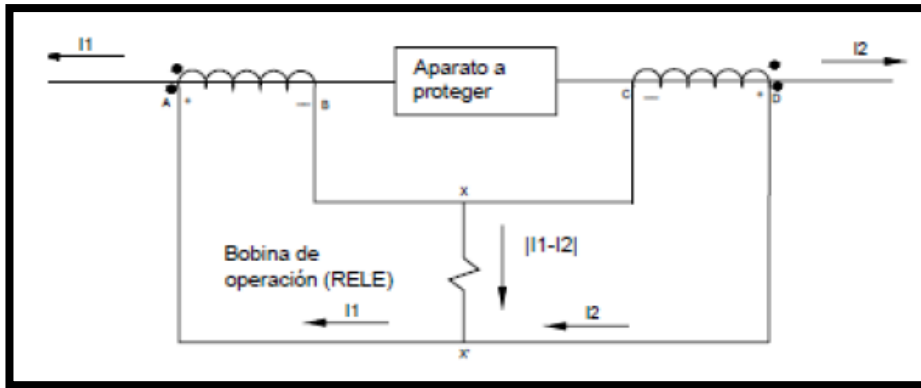


FIGURA 82: ESQUEMA DEL RELÉ DIFERENCIAL TIPO CORRIENTE CIRCULANTE. FUENTE: [1].

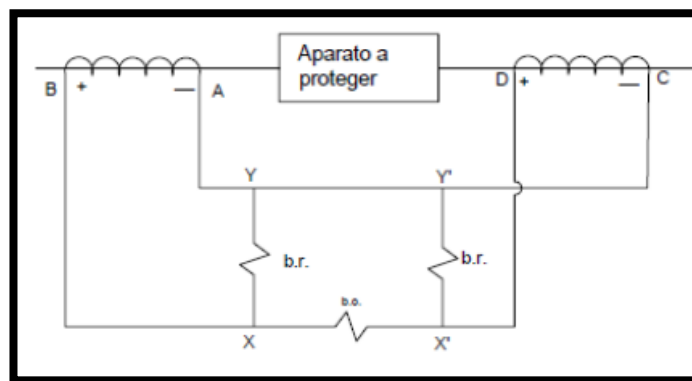


FIGURA 83: ESQUEMA DEL RELÉ DIFERENCIAL TIPO CORRIENTE CIRCULANTE. FUENTE: [1].

4.5.5.3. Protección diferencial en el relé SEL-700G.

El relé SEL-700G tiene integrado en sus parámetros de configuración la función de protección diferencial tanto del generador como del transformador. El relé es un dispositivo inteligente de protección contra cortocircuitos internos del transformador o del generador y se conecta a los circuitos secundarios de los transformadores de corriente (TC's), y el principio de funcionamiento es comparar la magnitud y ángulo de fase de las corrientes que entran y salen del transformador de potencia por medios de sus TC's [1].

En condición normal de operación siempre habrá igualdad de magnitudes de corrientes, en donde las corrientes que llegan al ajuste de operación del 87 se anulan dando cero corriente en su bobina de operación, es decir no habrá diferencia de corriente que hagan operar a la protección diferencial.

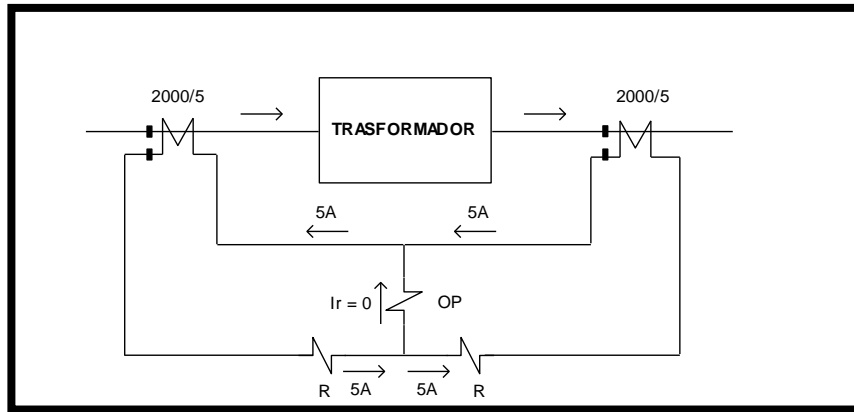


FIGURA 84: ESQUEMA DEL RELÉ DIFERENCIAL. FUENTE: AUTORES.

Sucede el mismo caso cuando existen fallas externas a la zona de protección, sin embargo ante una falla dentro de la zona de protección provocará una corriente diferencial que hará operar el 87.

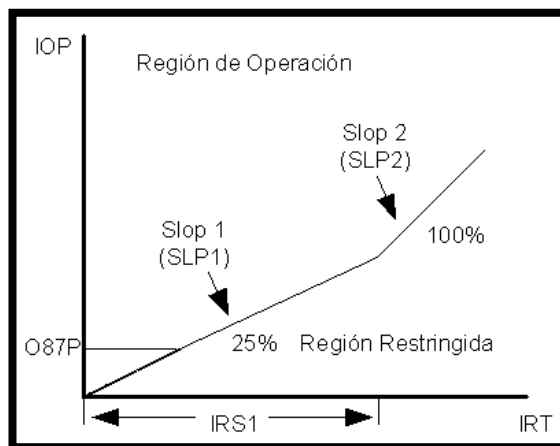


FIGURA 85: MODO DE OPERACIÓN DEL RELÉ DIFERENCIAL. FUENTE: AUTORES.

En la figura 86 se muestra la característica de operación de una protección diferencial digital la cual tiene una corriente de operación IOP, una corriente de Restricción IRT y un ajuste de operación O87P o un nivel mínimo requerido para la operación IOP y dos pendientes de operación llamadas SLP1 con su límite de operación IRS1, que es una curva inicial empezando en el origen y con intersección O87P, una segunda curva si se llegara a utilizar SLP2 que deberá ser más grande que SLP1 O IGUAL y toda su área superior es una región de operación del relevador y el área interna de la figura es una región donde el relé no opera.

4.5.6. Marco procedimental

4.5.6.1. Conexión desde la alimentación b – generador 1

Conectar el variac al módulo didáctico, específicamente a la alimentación B y aplicar un voltaje de 208 V como máximo, este es el valor nominal de tensión en las bobinas del transformador.

Realizar la respectiva conexión del transformador de 10KVA y de la red local externa con el módulo didáctico de generación tal como se muestra en la figura #86. Cabe recordar que la tierra del transformador deberá estar conectada con la tierra del sistema y que los bornes de los transformadores de corriente (TC's) que no van a ser utilizados en la práctica, tendrán que estar cortocircuitados. Adicional a eso empezaremos a conectar el circuito de TRIP con el relé SEL-700G y procedemos a cerrar los interruptores 109 y 107.

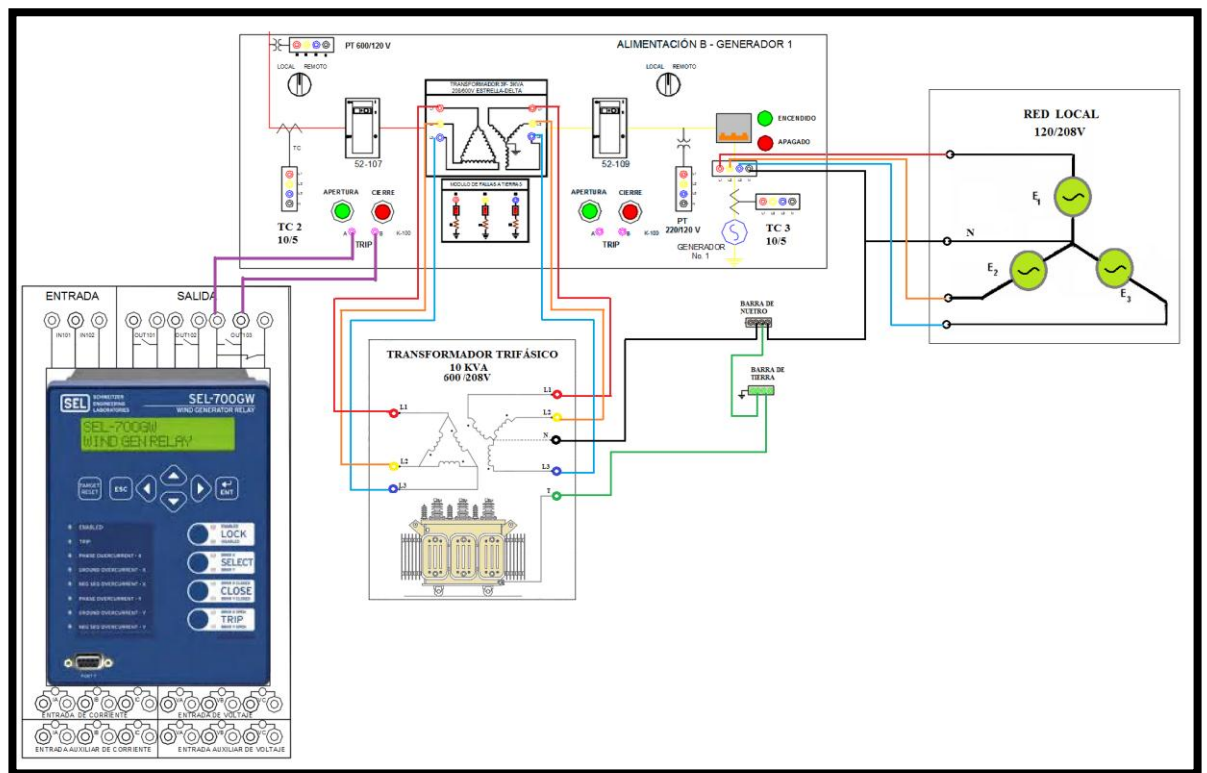


FIGURA 86: CONEXIÓN CON LA RED LOCAL CON EL BLOQUE DE GENERACIÓN B Y EL TRANSFORMADOR DE 10KVA. FUENTE: LOS AUTORES.

A continuación procedemos a conectar los transformadores de corriente (C3 y C2) al relé SEL-700G como se muestra en la imagen #87.

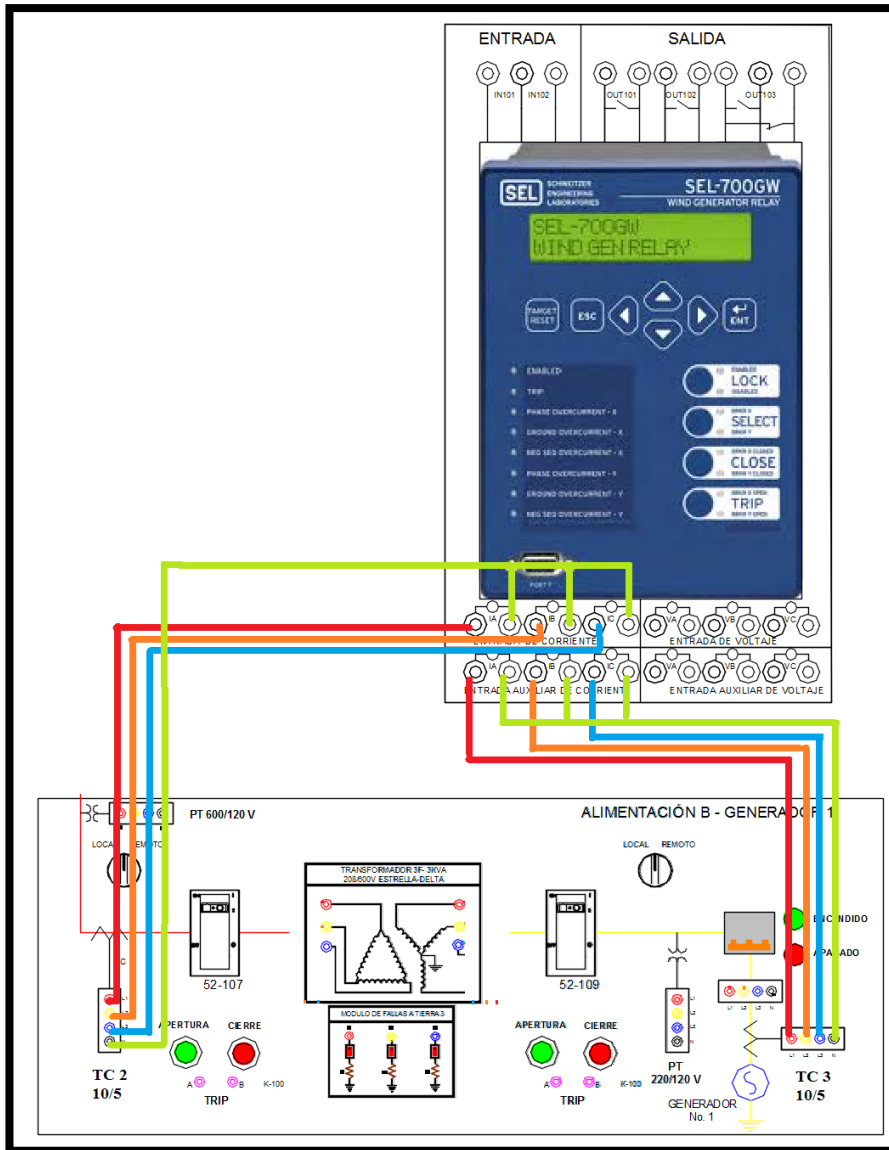


FIGURA 87: DIAGRAMA DE CONEXIONADO ENTRE LOS TC'S Y EL RELÉ DIFERENCIAL SEL-700G. FUENTE: LOS AUTORES.

4.5.6.2. Energizar el transformador de 3KVA.

El transformador de 3 KVA será la carga de prueba para el transformador de 10 KVA. Verificar que los interruptores 109 y 107 se encuentren cerrados cuando se conecte el transformador al módulo didáctico de generación. Presionar “CIERRE” en el pulsador del interruptor 109, 107. Ésta maniobra energizará a los transformadores de 3KVA y 10KVA con el módulo de generación.

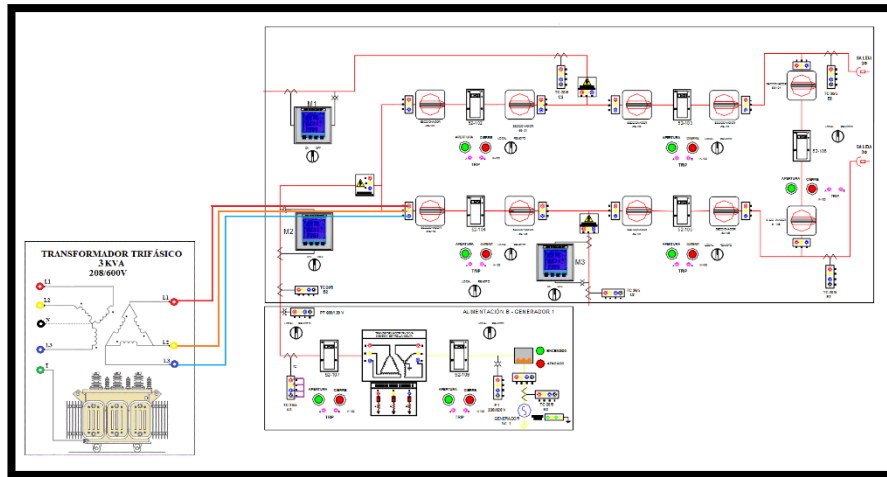


FIGURA 88: CONEXIÓN ENTRE EL TRANSFORMADOR DE 3kVA Y EL MÓDULO DE GENERACIÓN. FUENTE: LOS AUTORES.

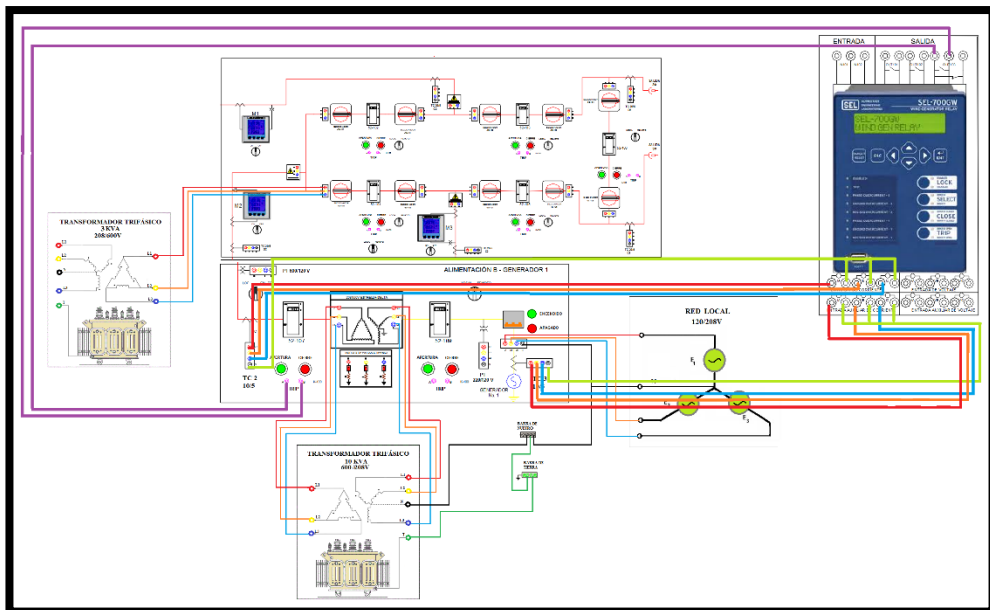


FIGURA 89: CONEXIONADO FINAL DE LA PRÁCTICA DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL EN EL MÓDULO DE GENERACIÓN. FUENTE: LOS AUTORES.

4.5.6.3. Condiciones de funcionamiento

- Verificar que el variac no esté regulado a valores mayores de 208 V.
- Verificar que la fuente no entregue más de 27 Amperios.
- Verificar que el valor del voltaje a la salida del sistema no sea inferior al 98.5% del voltaje nominal de la fuente.

4.5.7. Cálculos matemáticos

4.5.7.1. Relación de transformación de corriente (RTC) de los TC-2 y 3

Para poder calcular la relación de transformación de corriente (RTC) de los TC's, se debe primero tomar datos de corriente que circula en el lado de 208V del transformador de 10KVA.

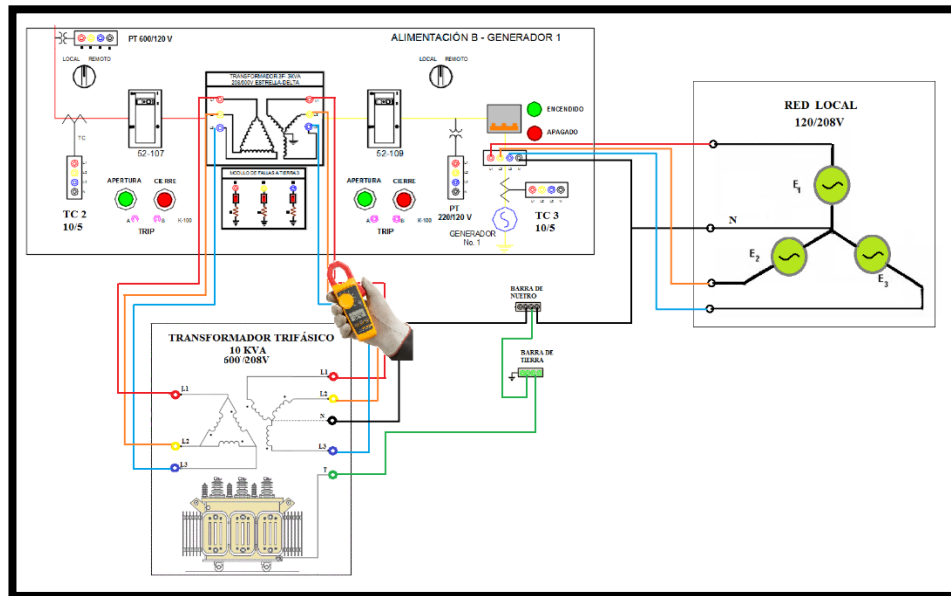


FIGURA 90: MEDICIÓN DE CORRIENTE EN EL LADO DE 208V. FUENTE: LOS AUTORES.

Para saber la relación de transformación del TC's se debe desconectarlos por un momento del relé SEL-700G y se procede a cortocircuitar los mismos para obtener los valores de corrientes como se ilustra en la siguiente figura 90, después de tomar esas medidas se procede a regresar la conexión con el relé.

En ésta prueba se concluye que la relación es de 10/5, la corriente que pasa en la línea es de 2.8 Amp (al cortocircuitar el TC) pero el amperímetro señala 1.3 Amp que equivale a la mitad.

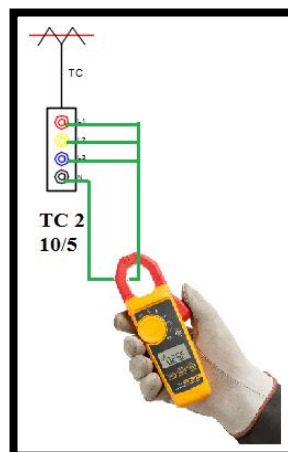


FIGURA 91: MÉTODO PARA MEDIR DE CORRIENTE DEL TC. FUENTE: LOS AUTORES.

La medición de los valores de corriente en las líneas desde el SEL-700G se puede observar aplastando el botón “ENT”, enseguida muestra el menú principal y se elige la función “METER”. Por último se escoge la función “FUNDAMENTAL”. Esto se puede ver en la figura 92.

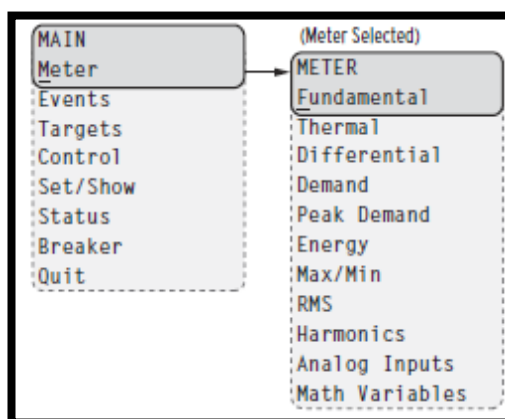


FIGURA 92: MENÚ “MAIN” Y SUBMENÚ “METER”. FUENTE: [1].

Ahora se procede a realizar una tabla comparativa donde se colocaran los valores obtenidos.

TABLA 22: REGISTRO DE VALORES DE CORRIENTES. FUENTE: LOS AUTORES.

	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN EL LADO DE 208V DEL TRAFIO DE 10KVA	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN EL LADO DE 600V DEL TRAFIO DE 10KVA EN EL BLOQUE DE GENERACIÓN	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN LAS LINEAS DEL TC-3	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN LAS LINEAS DEL TC-2	MEDICIÓN DE CORRIENTE DESDE EL RELE SEL-700G VISTO DESDE TC-3	MEDICIÓN DE CORRIENTE DESDE EL RELE SEL-700G VISTO DESDE TC-2
L1	16 Amp	1.2 Amp	1.3 Amp	1.4 Amp	278 < 24° Amp	80 < 0° Amp
L2	14 Amp	1.1 Amp	1.1 Amp	1.3 Amp	234 < 150° Amp	68 < 117° Amp
L3	13 Amp	1.2 Amp	1.2 Amp	1 Amp	232 < 95° Amp	80 < 126° Amp

El valor de la relación de transformación que se calcularon arriba se configuran en el relé SEL-700 en el menú “SET / SHOW”, “GROUP” y por último a “CONFIG SETTINGS” y se cambia la RTC a 2, que por defecto se encuentra en 1.

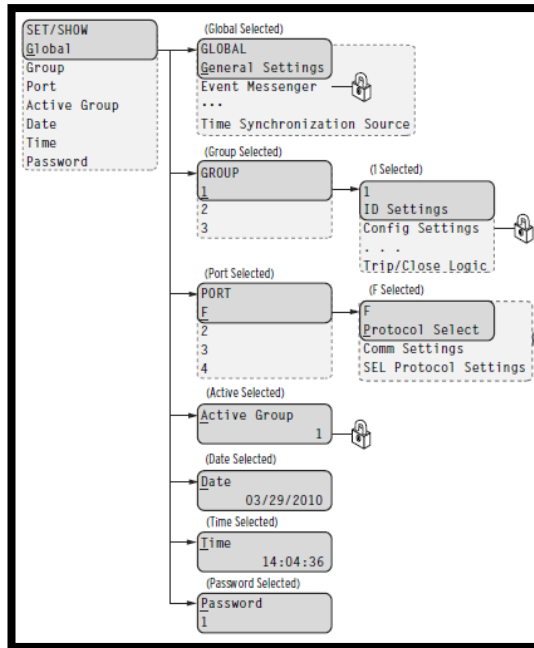


FIGURA 93: MENÚ “SET/SHOW”. FUENTE: [1].

Para parametrizar la protección se necesita primero la corriente de falla que vamos a configurar. Para esto vamos a generar fallas de línea a línea en varios puntos del circuito. El objetivo es simular una corriente excesiva en el tablero para poder setear la función diferencial con el valor de corriente hallado. Para llevar a cabo ésta consigna debemos escoger dos líneas al azar y las conectamos a cualquier módulo de fallas, estos módulos de falla constan de tres resistencias que se encuentran conectadas a tierra como lo muestra la figura 94.

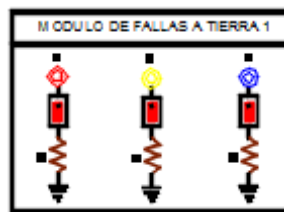


FIGURA 94: MÓDULO DE FALLAS A TIERRA O FALLAS DE LÍNEA A LÍNEA. FUENTE: AUTORES.

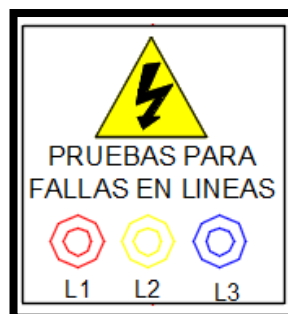


FIGURA 95: BORNERAS DE PRUEBA PARA REALIZAR FALLAS A TIERRA O FALLAS DE LÍNEA A LÍNEA. FUENTE: AUTORES.

Cabe recordar que la protección diferencial solo protege al transformador de fallas internas y las externas las desprecia.

A continuación se va a realizar la conexión entre el módulo de fallas y las borneras de prueba para simular una falla de línea a tierra tanto interna como externa. Una vez realizada la misma se procede a encender los switch ojos de cangrejo para generar la falla de línea a línea y luego se toman los datos de corriente de la falla de línea a línea que se genera. Podemos observar que la corriente de falla es de 40Amp aproximadamente.

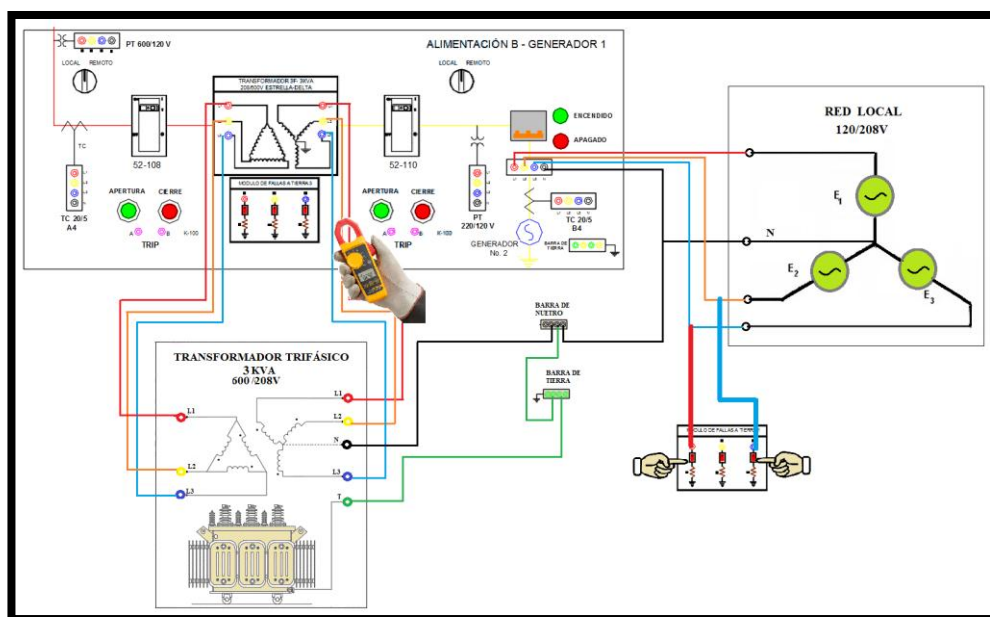


FIGURA 96: FALLA DE LÍNEA A LÍNEA EXTERNA GENERADA DESDE LA FUENTE. FUENTE: AUTORES.

En la figura 96 y 97 se aprecian las fallas externas, las cuales no intervendrán en el despeje de la falla a través del relé y los interruptores que protegen al transformador.

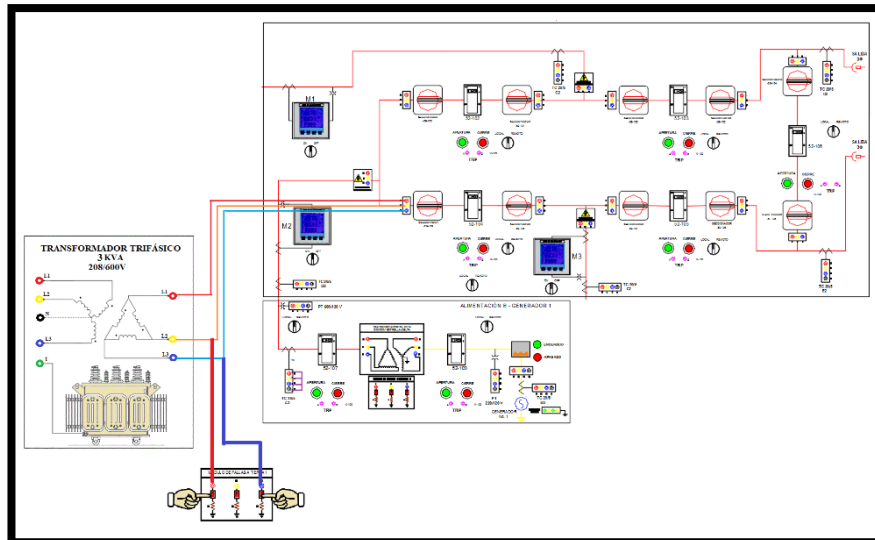


FIGURA 97: FALLA DE LÍNEA A LÍNEA EXTERNA GENERADA DESDE LA CARGA. FUENTE: AUTORES.

Por otra parte, las fallas anteriormente mencionadas como internas tienen la función de proteger el transformador en caso de una avería en las bobinas internas del mismo.

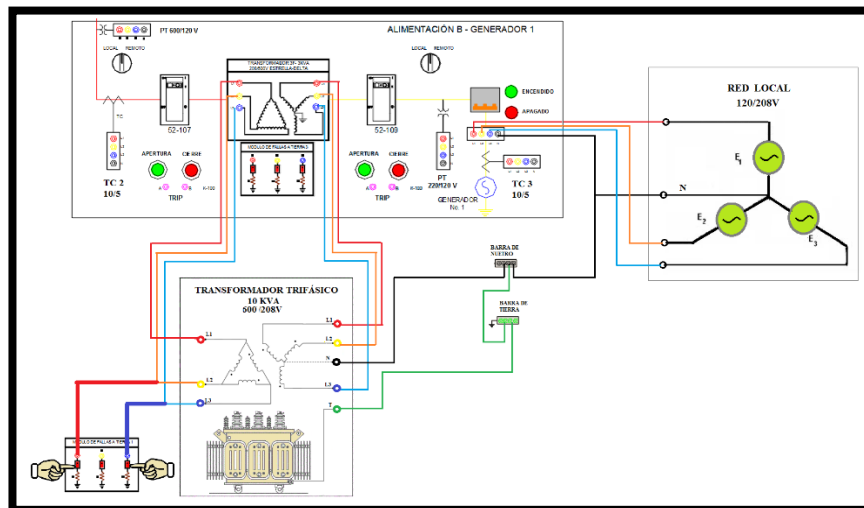


FIGURA 98: FALLA DE LÍNEA A LÍNEA INTERNA GENERADA DESDE EL DEVANADO DE ALTA DEL TRANSFORMADOR. FUENTE: AUTORES.

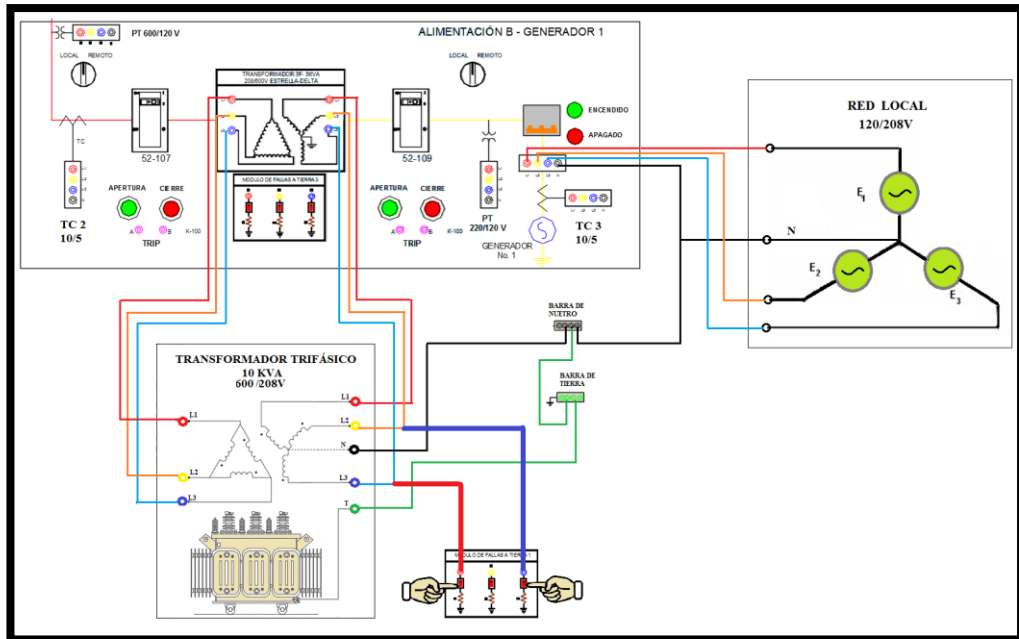


FIGURA 99: FALLA DE LÍNEA A LÍNEA INTERNA GENERADA DESDE EL DEVANADO DE BAJA DEL TRANSFORMADOR. FUENTE: AUTORES.

4.5.7.2. Prueba de función diferencial

Los parámetros de ajuste del relé son los siguientes:

TABLA 23: CONFIGURACIONES DE GRUPO. FUENTE: LOS AUTORES.

CONFIGURACIÓN	
PHROT	ABC
LADO X – CONEXIÓN DELTA	
X_CUR_IN	NEUT
CTRX	100
INOM	5
DELTAY_X	WYE
PTRX	1264.54
VNOM_X	400KV

LADO Y – CONEXIÓN ESTRELLA	
CTCONY	WYE
CTRY	200
PTRS	1.83
CTRN	20
PTRN	1

TABLA 24: CONFIGURACIONES PARA EL DIFERENCIAL. FUENTE: LOS AUTORES.

CONFIGURACIÓN GENERADOR DIFERENCIAL	
E87	TRANS
MVA	238MVA
ICOM	Y
CTCY	7
VWDGX	280KV
VWDGY	138KV
TAPX	4.91
TAPY	4.98
O87P	0.30
U87P	6
SLP1	25%
SLP2	70%
IRS1	6
PCT2	15
PCT4	15
PCT5	35
TH5P	OFF
HRSTR	Y
HBLK	Y

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

- Analizador de redes.
- Amperímetro.
- Calculadora.
- Cables con plugs incorporados.

4.5.9. Registro de resultados

➤ Cuestionario

¿Por qué utilizamos la función 87 en los Relés?

¿Qué función cumple una protección 87 en transformadores y generadores?

¿Cuál es la importancia de tener los valores calculados en el momento de la parametrización?

¿La protección 87 puede leer las fallas externas e internas del transformador?

➤ Conclusiones

Es importante conocer las corrientes de falla para poder configurar la protección diferencial.

Es imprescindible saber que en condiciones normales habrá igualdad de magnitudes de corrientes que llegan al relé diferencial, éstas se anulan o se eliminan dando una corriente de cero amperios, es decir no existirá diferencia de corriente que active la protección.

Cualquier falla fuera de la zona de protección no habrá diferencia de corriente que haga operar a la protección diferencial.

La corriente de operación y la corriente de restricción son los datos más importantes para setear los parámetros en el relé SEL-700G

Al simular condiciones de falla podemos apreciar la operación del relé y su corriente diferencial. En consecuencia podemos verificar la prueba de la característica diferencial de la pendiente del relé.

➤ **Recomendaciones**

Para garantizar la confiabilidad de un sistema hay que ser precisos al momento de escoger los valores que se van a parametrizar en los relés, ya que esto asegura que no exista ninguna incoherencia en la coordinación de protecciones a realizar.

Cortocircuitar los TC para evitar caídas de tensión en el sistema.

4.5.10. Cronograma / calendario

- De acuerdo a la planificación de cada docente.

4.6. Práctica 6: Protección en las líneas de bahía de 600v del módulo de generación con carga mediante el relé sel-751

4.6.1. Datos informativos

- Materia: SEP II
- Práctica: N° 7
- Número de estudiantes: 20
- Nombre del docente: Ing. Roy Santana
- Tiempo estimado: 2 Horas

4.6.2. Datos de la práctica

Tema: Protección en las líneas de bahía de 600V del módulo de generación con carga mediante relé SEL-751.

4.6.3. Objetivo general

Ajustar los parámetros adecuados para la coordinación del relé SEL-751 con la protección instantánea en el sistema de protección en las líneas de bahía de 600V del módulo de generación.

4.6.4. Objetivos específicos

- Verificar tiempos de disparo de acuerdo al ajuste del relé.
- Analizar para qué sirve la función instantánea.
- Comparar los resultados obtenidos cuando se presenta una falla de línea a línea tanto externa como interna.

4.6.5. Marco teórico

4.6.5.1. Protección diferencial por barras

La función de la protección diferencial por barras opera con el principio de corrientes de kirchoff, los módulos conectados a ella son trifásicos, ésta protección necesita ver una corriente equivalente a las corrientes de las tres fases de un módulo de TC's para así hacer la suma y operar. Cuando vea una corriente de falla se activará la función el interruptor que realice la desconexión del equipo al que se realiza la prueba.

4.6.5.2 Transformadores de medición

Se denominan transformadores de instrumentación o transformadores de medida a los equipos que se emplean para alimentar con señales de bajo voltaje y baja corriente instrumentos para medida y protección. Estos equipos se utilizan para reducir o transformar los altos voltajes o altas corrientes del sistema eléctrico a valores que pueden ser medidos con seguridad y que son admisibles para los instrumentos de medida y protección los cuales por lo general operan con baja tensión ($V \leq 1000$ Voltios) y baja corriente ($I < 100$ Amperios).

Existen dos tipos de transformadores para medición.

- Transformadores de voltaje o potencial (TP's).- Son los encargados de reducir el voltaje a la salida para que un equipo inteligente pueda capturar sus datos y se los puede conectar o instalar en paralelo del circuito primario.
- Transformadores de corriente o intensidad (TC's).- Están destinados a reducir la corriente del devanado primario en el lado secundario para lograr que un equipo inteligente pueda capturar sus datos, también se pueden conectar o instalar en serie del circuito primario.

4.6.5.3 Transformadores de corriente

Para que los TC's puedan cumplir con su función se debe primero considerar el valor de la corriente circulante en el primario, la relación de la corriente entre el devanado primario y la corriente del devanado secundario debe ser constante al tener variaciones de carga. Para esto, en el diseño se debe tener en cuenta aspectos de construcción robustos y más compactos para que no exista pérdida de flujo magnético.

La relación entre la corriente primaria y la corriente secundaria se la conoce como la relación de transformación del transformador de corriente (RTC).

$$RTC = \frac{I_p}{I_s}$$

ECUACIÓN 14: RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE FUENTE: [1],

Como todos sabemos, la parte teórica no siempre es igual a la práctica. Sobre todo en los TC's, ésta relación no es exactamente igual porque los flujos magnéticos de ambos devanados (primario y secundario), no son exactamente.

Si por alguna razón se abriera el devanado secundario, la variación del flujo con el tiempo induce un valor de tensión alto que puede ser peligroso. Por esta razón, **“el instrumento conectado en el secundario de un TC, no se debe desconectar sin antes poner en cortocircuito el secundario y poner a tierra este devanado”**.

$$\eta\% = \frac{RTC \times I_s - I_p}{I_p} \times 100$$

ECUACIÓN 1515: ERROR DE RELACIÓN EN FORMA PORCENTUAL. FUENTE: [1].

El error de relación de un transformador de corriente, se expresa normalmente por medio de un factor de corrección de la relación, que se define como:

$$FCR = \frac{\textit{Relación de transformación real}}{\textit{Relación de transformación nominal}}$$

ECUACIÓN 16: FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA RELACIÓN. FUENTE: [1].

4.6.5.4 La función de la protección por relevadores

La función de la protección por relevadores es originar el retiro rápido del servicio de cualquier elemento de un sistema de potencia, cuando este sufre un cortocircuito o cuando empieza a funcionar en cualquier forma anormal que pueda originar daño e interfiera de otra manera con el funcionamiento eficaz del resto del sistema.

El equipo de protección está ayudado, en esta tarea, por interruptores que son capaces de desconectar el elemento defectuoso cuando el equipo de protección se los manda. Estos interruptores están localizados de tal manera que cada generador, transformador, barra colectora, línea de transmisión, etc. pueda desconectarse por completo del resto del sistema. Estos interruptores deben tener la capacidad suficiente para que puedan

conducir momentáneamente la corriente máxima de cortocircuito que puede fluir a través de ellos e interrumpir, entonces ésta corriente; deben soportar también el cierre de un cortocircuito semejante e interrumpirlo de acuerdo con ciertas normas prescritas. Los fusibles se emplean donde los relevadores de protección y los interruptores no son justificables económicamente.

4.6.5.5 Características funcionales de un sistema de protección

Tanto un sistema de protección en su conjunto como cada una de las protecciones que lo componen, deben satisfacer las siguientes características funcionales:

4.6.5.6 Sensibilidad

La protección debe saber distinguir inequívocamente las situaciones de falla de aquellas que no lo son.

4.6.5.7 Selectividad

La selectividad es la capacidad que debe tener la protección, una vez detectada la existencia de falla, discernir si la misma se ha producido dentro o fuera de su área de vigilancia y, en consecuencia, dar orden de disparar los interruptores automáticos que controla, cuando así sea necesario para despejar la falla.

4.6.5.8 Rapidez

Tras haber sido detectada, una falla debe ser despejada lo más rápidamente posible. Cuanto menos tiempo se tarde en aislar la falla, menos se extenderán sus efectos y menores daños y alteraciones se producirán al reducirse el tiempo de permanencia bajo condiciones anómalas en los diferentes elementos. Todo ello redundará en una disminución de los costes y tiempos de restablecimiento de las condiciones normales de operación, así como de reparación o reposición de equipos dañados, y, por tanto, en un menor tiempo de indisponibilidad de las instalaciones afectadas por la falla, lo que posibilita un mayor y mejor aprovechamiento de los recursos ofrecidos por el SEP.

4.6.5.9 Protecciones instantáneas

Son aquellas que actúan tan rápido como es posible debido a que la falla se ha producido dentro del área que vigilan directamente. En la actualidad, a nivel orientativo, el tiempo usual de despeje de una falla en AT mediante una protección

instantánea puede situarse en el entorno de dos o tres ciclos. Si el tiempo de despeje es menor la protección se denomina de alta velocidad.

4.6.5.10 Protecciones de tiempo diferido o con retraso en tiempo

Son aquellas en las que de manera intencionada se introduce un tiempo de espera que retrasa su operación, es decir, que retrasa el inicio de la maniobra de apertura de interruptores una vez que ha sido tomada la decisión de operar. Este retraso facilita, por ejemplo, la coordinación entre protecciones con el objetivo de que actúen solamente aquellas que permiten aislar la falla desconectando la mínima parte posible del SEP.

4.6.6. Marco procedimental

4.6.6.1 Conexión desde la red local

Conectar el variac al módulo didáctico, específicamente a la red local y aplicar un voltaje de 208 V como máximo, este es el valor nominal de tensión en las bobinas del transformador.

Realizar la respectiva conexión del transformador de 10KVA y de la red local externa con el módulo didáctico de generación tal como se muestra en la figura #119. Cabe recordar que la tierra del transformador deberá estar conectada con la tierra del sistema y que los bornes de los transformadores de corriente (TC's) que no van a ser utilizados en la práctica, tendrán que estar cortocircuitados. Adicional a eso se empieza a conectar el circuito de TRIP con el relé SEL-751 y se procede a cerrar los interruptores 100 y 101.

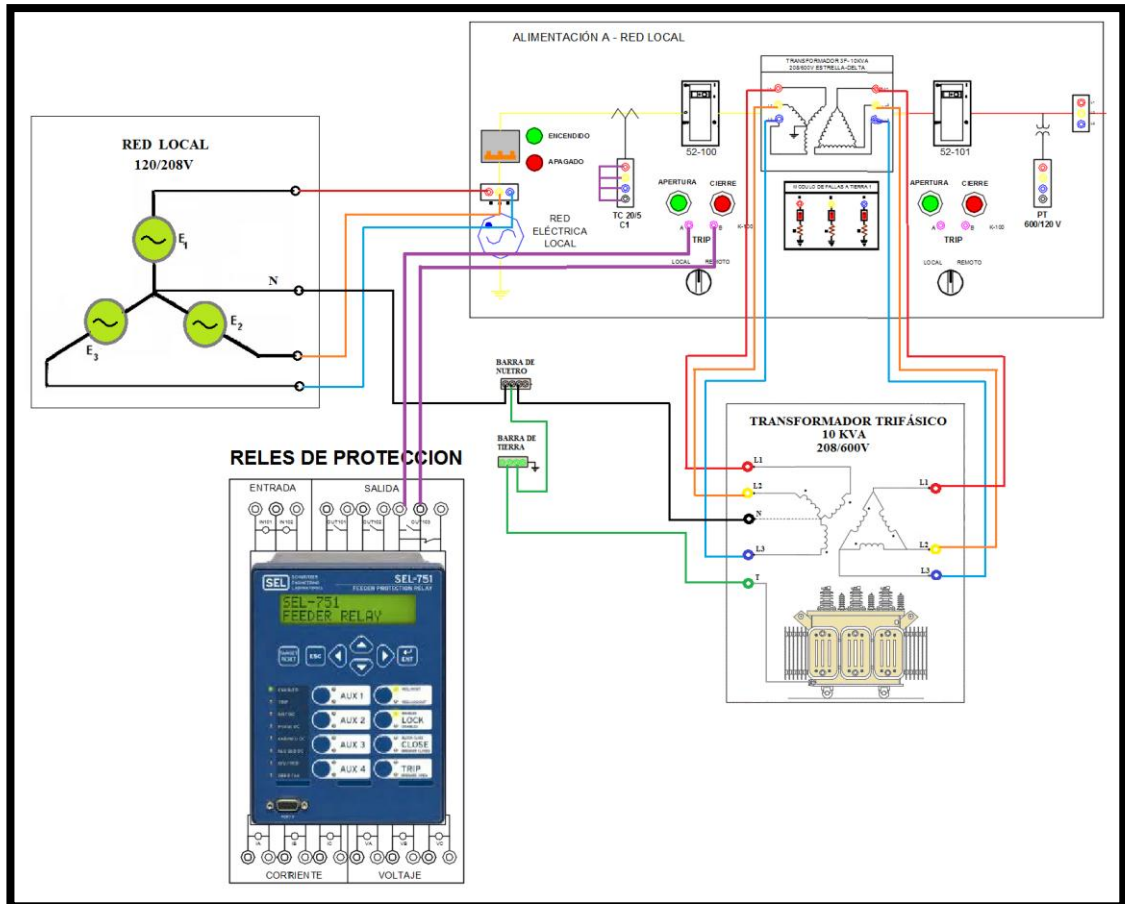


FIGURA 100: CONEXIÓN CON LA RED LOCAL CON EL MÓDULO DE GENERACIÓN Y EL TRANSFORMADOR DE 10KVA. FUENTE: LOS AUTORES.

A continuación se procede a conectar los transformadores de corriente (C6, C7, C10) al relé SEL-751 como se muestra en la imagen #120.

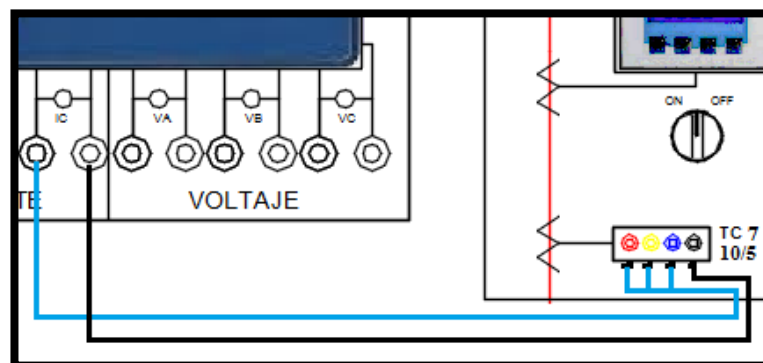


FIGURA 101: DIAGRAMA DE CONEXIONADO DEL TC-7. FUENTE: LOS AUTORES.

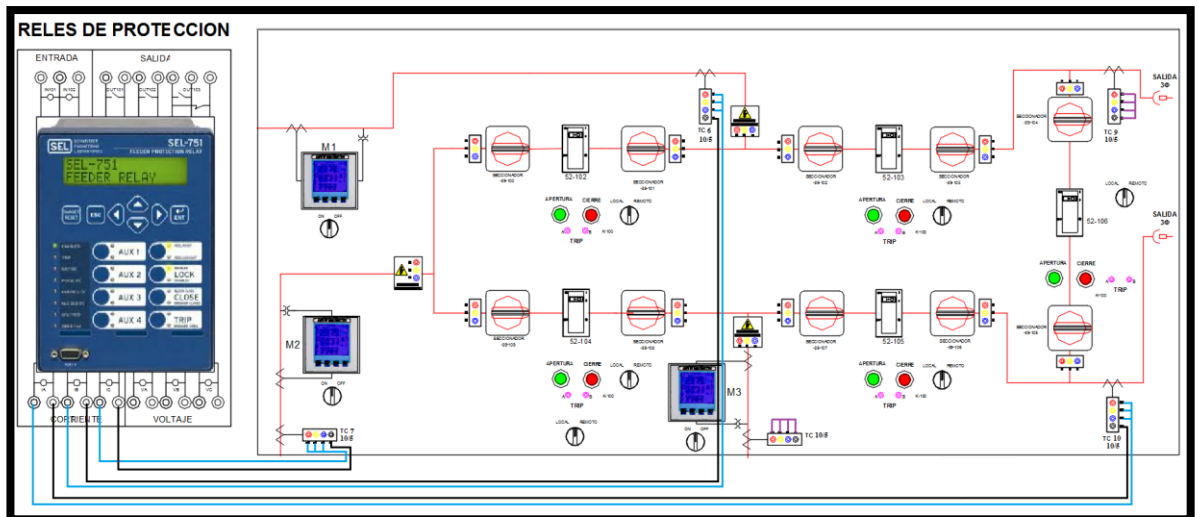


FIGURA 102: CONEXIÓN DEL RELÉ SEL – 751 CON LOS TC-6, TC-7, TC-10. FUENTE: LOS AUTORES.

4.6.6.2 Energizar los dos transformadores de 3KVA.

Verificar que los seccionadores 100 y 101 se encuentren cerrados y verificar que el interruptor 102 también se encuentre cerrado. Además verificar que los interruptores 107, 104 y 105 se encuentren cerrados, así también como los seccionadores 109, 108, 107 y 106 cuando se conecten los dos transformadores al módulo didáctico de generación. Presionar “CIERRE” en el pulsador del interruptor 100, 101, 102, 104 y 105. Ésta maniobra energizará a los transformadores de 3KVA conectados en paralelo.

De ésta manera realizaremos la conexión de la carga (transformadores de 3KVA - 600/240V) con nuestro módulo de generación.

Nota: Para realizar la conexión de salida de nuestro módulo didáctico con uno de los transformadores de 3KVA necesitamos que el módulo de generación se conecte con el módulo de distribución mediante un cable concéntrico.

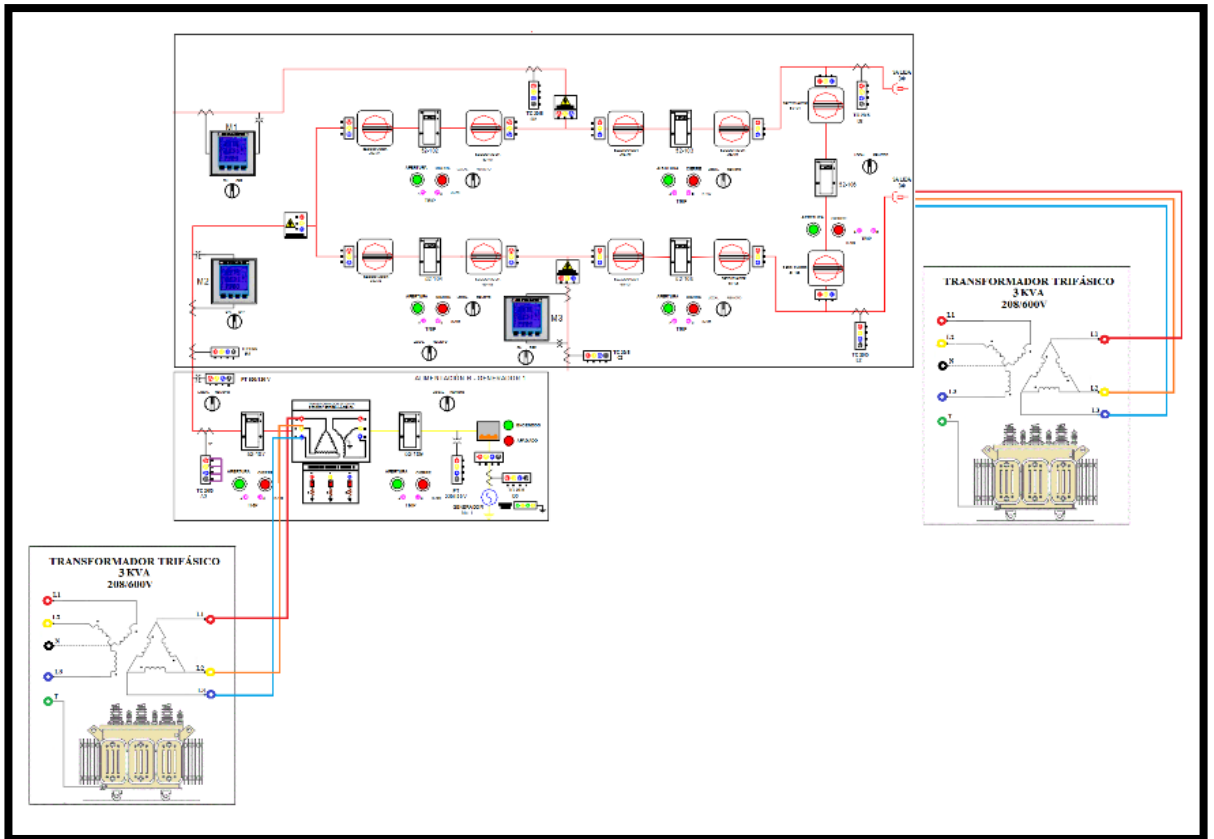


FIGURA 103: CONEXIÓN ENTRE LOS TRANSFORMADORES DE 3KVA CON EL MÓDULO DE GENERACIÓN.
FUENTE: LOS AUTORES.

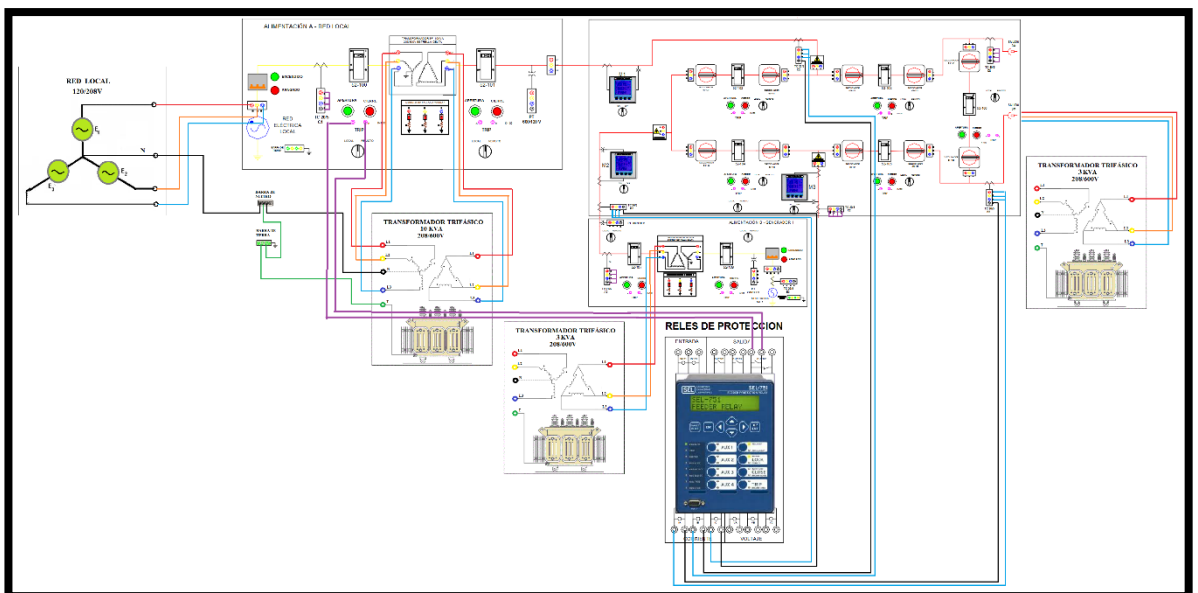


FIGURA 104: CONEXIONADO FINAL DE LA PRACTICA DE SOBRECORRIENTE EN LAS LINEAS DE BAHÍA DE 600V. FUENTE: LOS AUTORES.

4.6.6.3 Condiciones de funcionamiento

- Verificar que el variac no esté regulado a valores mayores de 208 V.
- Verificar que la fuente no entregue más de 27 Amperios.
- Verificar que el valor del voltaje a la salida del sistema no sea inferior al 98.5% del voltaje nominal de la fuente.

4.6.7 Cálculos matemáticos

4.6.7.1 Relación de transformación de corriente (RTC) de los TC-7, 6 y 10

Para poder calcular la relación de transformación de corriente (RTC) de los TC's, debemos primero tomar datos de corriente que circula en el lado de 208V del transformador de 10KVA.

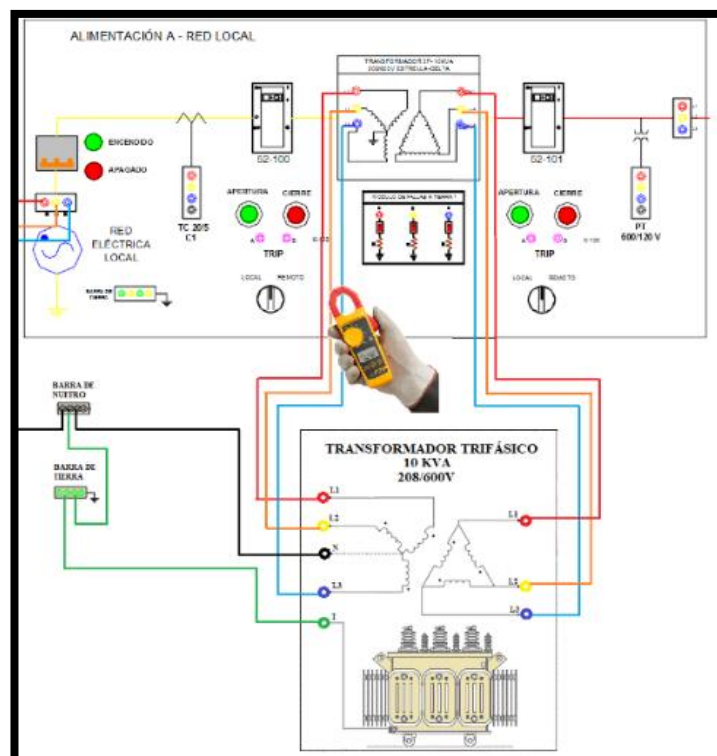


FIGURA 105: MEDICIÓN DE CORRIENTE EN EL LADO DE 208V. FUENTE: LOS AUTORES.

Para saber la relación de transformación del TC's se debe desconectar por un momento del relé SEL-751 y se procede a cortocircuitar los mismos para obtener los valores de corrientes como se ilustra en la siguiente figura#125. Y después de tomar esas medidas se procede a regresar la conexión con el relé.

En ésta prueba se concluye que la relación es de 10/5, la corriente que pasa en la línea 1 es de 2.8 Amp pero el amperímetro señala 1.4 Amp que equivale a la mitad.

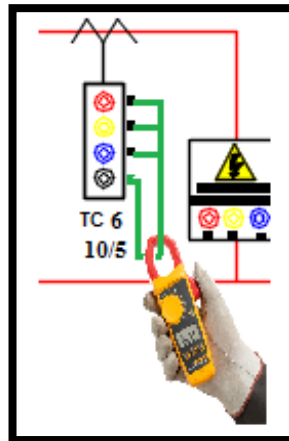


FIGURA 106: MEDICIÓN DE CORRIENTE EN EL LADO DE 208V. FUENTE: LOS AUTORES.

La medición de los valores de corriente en las líneas desde el SEL-751 se puede observar aplastando el botón “ENT”. Enseguida nos muestra el menú principal y escogemos la función “METER”. Por último se escoge la función “FUNDAMENTAL”. Esto lo se puede ver en la figura 126.

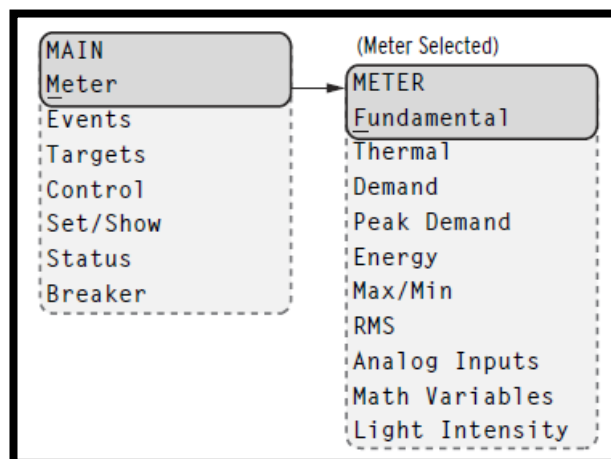


FIGURA 107: MENÚ “MAIN” Y SUBMENÚ “METER”. FUENTE: [1].

Ahora se procede a realizar una tabla comparativa donde se colocan los valores obtenidos.

TABLA 25: REGISTRO DE VALORES DE CORRIENTES. FUENTE: LOS AUTORES.

	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN EL LADO DE 208V DEL TRAF0 DE 10KVA	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN EL LADO DE 600V DEL TRAF0 DE 3KVA EN EL BLOQUE DE GENERACIÓN	MEDICIÓN DE CORRIENTE EN EL LADO DE 600V DEL TRAF0 DE 3KVA EN LA SALIDA TRIFASICA DEL MÓDULO	MEDICIÓN DE CORRIENTE DEL TC-6	MEDICIÓN DE CORRIENTE DEL TC-7	MEDICIÓN DE CORRIENTE DEL TC-10	MEDICIÓN DE CORRIENTE DESDE EL RELÉ SEL – 751
L1	19.2 Amp	1.5 Amp	1.3 Amp	1.4 Amp	0.75 Amp	0.65 Amp	0 Amp
L2	18.9 Amp	1.6 Amp	1.1 Amp	1.3 Amp	0.8 Amp	0.55 Amp	0 Amp
L3	16.6 Amp	0.9 Amp	1.2 Amp	1 Amp	0.45Amp	0.6 Amp	0 Amp

El valor de la relación de transformación que se calcula arriba se ajusta en el relé SEL-751 en el menú “SET / SHOW”, “GROUP” y por último a “CONFIG SETTINGS” y se cambia la RTC a 2 y que por defecto se encuentra en 1.

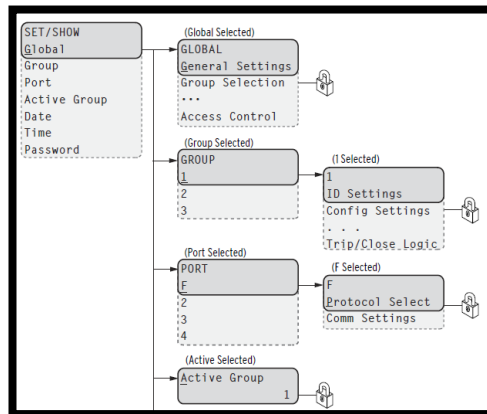


FIGURA 108: MENÚ “SET/SHOW”. FUENTE: [1].

Con ésta parametrización se configuran los valores para la protección instantánea. En ésta práctica no podemos utilizar la protección de sobrecorriente, las corrientes que salen de los tc’s son de cero amperios.

4.6.7.2 Instantáneo (50)

Para parametrizar la protección necesitamos primero la corriente de falla que vamos a configurar. Para esto se va a generar fallas de línea a línea en varios puntos del circuito. El objetivo es simular una corriente excesiva en el tablero para poder ajustar la función instantánea con el valor de corriente hallado. Para llevar a cabo ésta consigna se debe escoger dos líneas al azar y se las conecta a cualquier módulo de fallas, las cuales

constan de tres resistencias que se encuentran conectadas a tierra como lo muestra la figura #128.

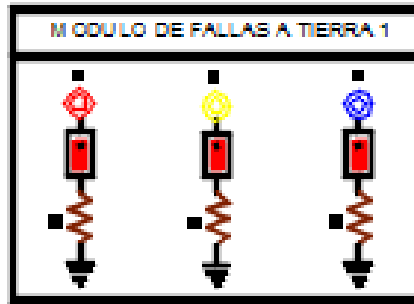


FIGURA 109: MÓDULO DE FALLAS A TIERRA O FALLAS DE LÍNEA A LÍNEA. FUENTE: AUTORES.

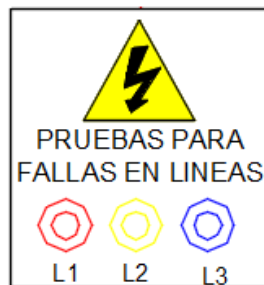


FIGURA 110: BORNERAS DE PRUEBA PARA REALIZAR FALLAS A TIERRA O FALLAS DE LÍNEA A LÍNEA. FUENTE: AUTORES.

A continuación se va a realizar la conexión entre el módulo de fallas y las borneras de prueba para simular una falla de línea a tierra. Una vez realizada la misma se procede a encender los switch ojos de cangrejo para generar la falla de línea a línea y luego se toman los datos de corriente de la falla de línea a línea que se genera. Podemos observar que la corriente de falla es de 40Amp aproximadamente.

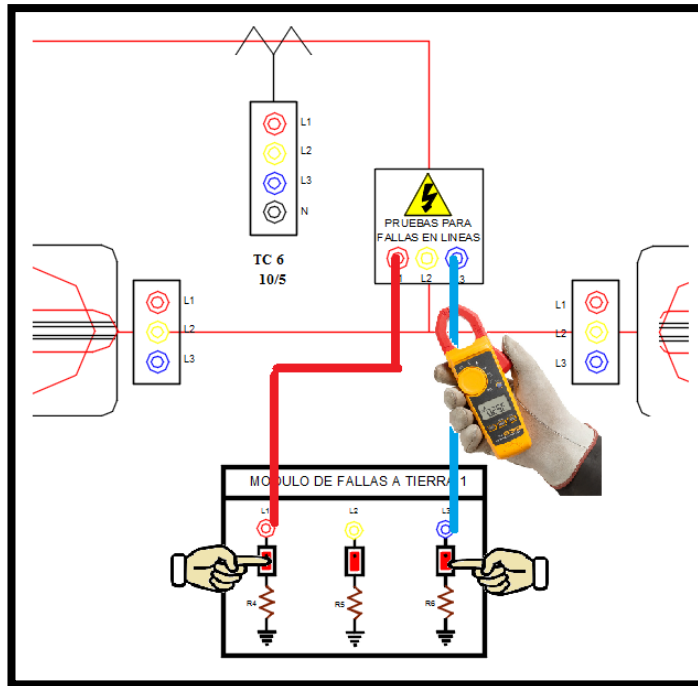


FIGURA 111: FALLA DE LÍNEA A LÍNEA QUE MEDIRÁ EL TC-6. FUENTE: AUTORES.

Se puede simular las fallas en cualquier parte de las líneas de bahía. Obteniendo como resultado la misma corriente de falla mencionada en el anterior verso. En ésta práctica solo vamos a usar los TC's 6, 7 y 10. Esto lo podemos verificar en las siguientes figuras.

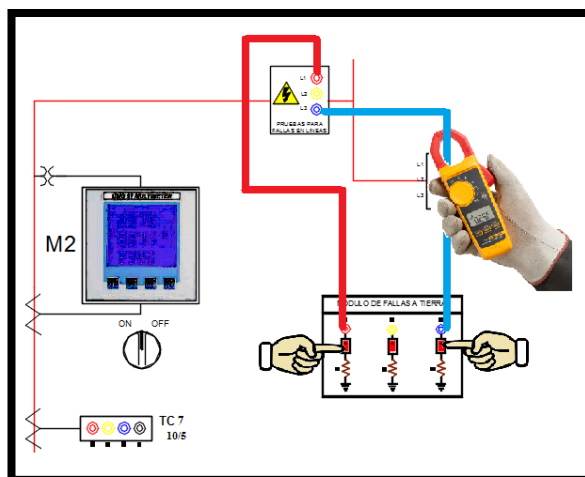


FIGURA 112: FALLA DE LÍNEA A LÍNEA QUE MEDIRÁ EL TC-7. FUENTE: LOS AUTORES.

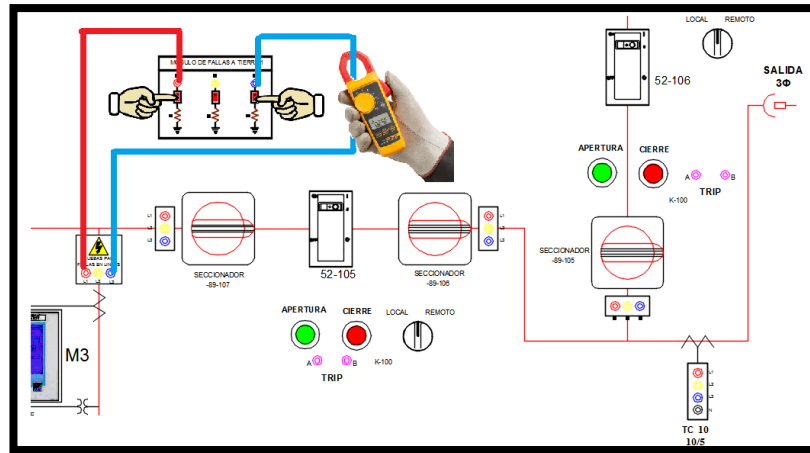


FIGURA 113: FALLA DE LÍNEA A LÍNEA QUE MEDIRÁ EL TC-10. FUENTE: LOS AUTORES.

TABLA 26: CORRIENTES QUE REGISTRAN LOS TC'S TANTO EN FALLA COMO EN OPERACIÓN NORMAL. FUENTE: LOS AUTORES.

	CORRIENTE NOMINAL DE QUE REGISTRAN LOS TC'S.	CORRIENTE DE FALLA L-L QUE REGISTRAN LOS TC'S.
L1	0 Amp.	1 Amp.
L2	0 Amp.	1.2 Amp.
L3	0 Amp.	1.1 Amp.

Como se puede observar en el momento de generar la falla de línea a línea como se describe en las figuras 131 y 132, la corriente que registra los TC's es aproximadamente 1 Amperio, en el momento de aparecer la falla la línea que no intercede en la falla tendrá una corriente diferente al resto y por lo tanto existirá una diferencia de corrientes en el juego de TC's que verán la falla como se describe en la siguiente figura.

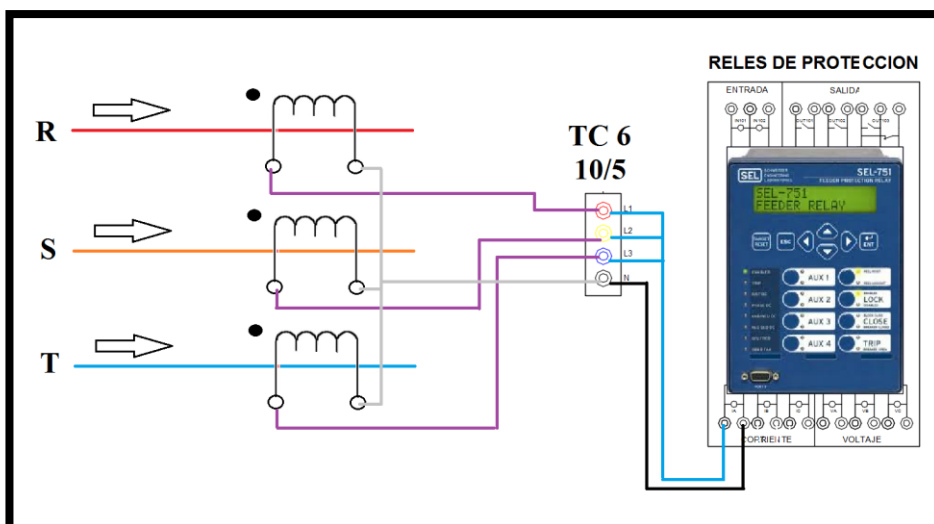


FIGURA 114: CONEXIÓN INTERNA DE LOS TC'S DE BAHÍA CON EL MÓDULO Y EL RELÉ SEL-751. FUENTE: LOS AUTORES.

4.6.7.3 Prueba de función instantánea

Los parámetros de ajuste del relé son los siguientes:

- Corriente instantánea de fase: 0.50 Amp
- Tiempo: 0.01 Sec

$$I_{de\ falla\ leído\ por\ el\ relé} = \frac{1}{2}$$

$$I_{de\ falla\ leído\ por\ el\ relé} = 0.50$$

Para ingresar los valores calculados de corriente instantánea y el tiempo de retardo de la misma al relé SEL-751 debemos ir a la función “SET/SHOW” y escogemos la opción “GROUP 1”, por último buscamos el submenú “MAX PH OVERCUR y seteamos el valor máximo de corriente.

TABLA 27: PARÁMETROS DE AJUSTE DEL RELÉ SEL-751 PARA LA FUNCIÓN INSTANTÁNEA. FUENTE: LOS AUTORES.

MAX PH OVERCUR	
50P1P	0.50
50P1D	0.01

4.6.8 Recursos utilizados (Equipos, accesorios y materiales consumibles)

- Analizador de redes.
- Amperímetro.
- Calculadora.

4.6.9 Registro de resultados

➤ **Cuestionario**

¿Por qué utilizamos la función 50/51 en los Relés?

¿Qué función cumple una protección?

¿Cuál es la importancia de tener los valores calculados en el momento de la parametrización?

➤ **Conclusiones**

Solo se utiliza la función instantánea en ésta práctica, al tener conectados los TC's en la configuración de diferencial, cualquier corriente normal que pasen por las tres líneas los TC's darán cero. Pero si al generarse una falla producirá un cambio en las corrientes, por lo tanto los TC's medirán otro valor diferente de cero y posteriormente actuará inmediatamente el relé y abrirá directamente la bahía que está protegiendo.

➤ **Recomendaciones**

Para garantizar la confiabilidad de un sistema debemos ser precisos al momento de escoger los valores que se van a parametrizar en los relés, esto asegura que no exista ninguna incoherencia en la coordinación de protecciones a realizar.

Cortocircuitar los TC para evitar caídas de tensión en el sistema.

4.6.10 Cronograma / calendario

- De acuerdo a la planificación de cada docente.

CONCLUSIONES

El módulo de protecciones de sistemas de generación permite efectuar el ajuste apropiado de los Relés de Protección SEL-751 y SEL-700G que van a preservar y garantizar la continuidad del sistema cuando sea expuesto a fallas eléctricas.

La configuración de red aplicada en el módulo de protecciones de sistemas de generación, permite realizar maniobras de mantenimiento, transferencia de alimentadores y maniobras de transferencia de carga a través de sus dos salidas sin interrumpir el suministro de energía.

El circuito de control que administra al módulo a través de las luces pilotos integradas en el tablero, permite visualizar el estado de operación de los elementos del sistema tales como; interruptores trifásicos, pulsadores, medidores de parámetros, modo de control (manual o remoto) y estado de los relés de protección.

El módulo de protecciones de sistemas de generación, garantiza confiabilidad de todo el sistema, está resguardado ante fallas eléctricas, certifica continuidad, permite suministrar energía de manera ininterrumpida a sus dos salidas, manteniendo la calidad de energía eléctrica entregada, teniendo en cuenta que su nivel de tensión se encuentra dentro del rango permisible.

El estudio de las protecciones eléctricas en sistemas de generación, es esencial para la formación de un Ingeniero Eléctrico de Potencia, debido a la situación actual del país donde se ha priorizado la construcción de nuevas hidroeléctricas y unidades de suministro de energía eléctrica. Por este motivo el módulo de protecciones de sistemas de generación será una provechosa herramienta para reforzar la cátedra en asignaturas a fines de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana.

RECOMENDACIONES

Luego de realizar la construcción y revisar el comportamiento del sistema bajo condiciones nominales y de falla, queda abierta la posibilidad para futuros estudios más detallados, como análisis matemáticos, diferentes tipos de protecciones o integración de relés de protección para configurar su coordinación.

Seguir los pasos descritos en el manual de prácticas para que permita realizar las maniobras de mantenimiento de forma correcta sin interrumpir el suministro de energía.

Ejecutar un mantenimiento anual de todos los equipos que componen el módulo de pruebas para preservar la vida útil de los elementos del sistema.

Proveer al laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia cables de pruebas acorde a las corrientes utilizadas en este tipo de modulo para garantizar la confiabilidad del sistema. Para mejorar las futuras prácticas y estudios se sugiere el cambio de transformadores trifásicos, las pérdidas en el núcleo son muy elevadas y esto perjudica el desarrollo de las pruebas y ensayos.

Realizar la interconexión con los módulos de transmisión y generación con el fin de realizar estudios más complejos y de selectividad en las protecciones del sistema eléctrico de potencia

Implementar de un Sistema SCADA así como también realizar la comunicación de relés y estado de los elementos del sistema, mediante mensajería goosse, todo esto es posible gracias a las borneras de salidas que se dejaron previstas al momento de ser construido.

Elaborar un estudio de modelado matemático del comportamiento del tablero didáctico y emplear el software ETAP para ratificar que los resultados obtenidos en laboratorio sean los esperados.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «www.rhona.com,» [En línea]. Available: <http://www.rhona.cl/seccion/52/tanque-muerto.html> . [Último acceso: 4 diciembre 2016].
- [2] «www.informacionelectricidad.blogspot.com,» [En línea]. Available: <http://informacionelectricidad.blogspot.com/2012/08/maniobra-mando-y-proteccion-en-media-y.html> . [Último acceso: 4 diciembre 2016].
- [3] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., «<https://selinc.com/es/>,» [En línea]. Available: https://cdn.selinc.com/assets/Literature/Product%20Literature/Flyers/751_PF00453_ES_Web.pdf?v=20160608-131344. [Último acceso: 4 diciembre 2016].
- [4] I. Schweitzer Engineering Laboratories, «"SEL-387E Current Differential and Voltage Protection Relay"». U.S.A. 2008-2016.
- [5] S. J. Chapman, Máquinas Eléctricas, Colombia: "British Aerospace Australia", traducido por Eduardo Rozo Castillo, Ingeniero Electricista y profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería, Tercera Edición.
- [6] G. Enríquez Harper, Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales, México, D.F.: Editorial Limusa S.A., 2011.
- [7] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., «"SEL-751 A Feeder Protection Relay, Instruction Manual",» U.S.A., Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2012.
- [8] C. J. Zapata, Protecciones Eléctricas, primera edición, 2011.
- [9] S. E. Laboratories, Generator Protection Relay; SEL-700G, USA, 2014.
- [10] W. Godoy, Relés de Sobrecorriente, 2011.
- [11] G. C. Caicedo, 2007.
- [12] F. R. Rosario, Protecciones de Redes Eléctricas, Rosario, 2015.
- [13] I. Margil, Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia, 2005.
- [14] L. Consultor, Criterios de ajuste y coordinación de los sistemas de protección del SEIN., 2005.
- [15] Carrillo, Tipos de protecciones diferenciales, 2005.
- [16] S. E. Laboratories, SEL-700G Instruction Manual, 2012.

ANEXOS

- Planos eléctricos