



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERIAS

CARRERA DE INGENIERIA ELÉCTRICA

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO

ELÉCTRICO

TEMA:

DISEÑO DE MÓDULO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS SITUADO EN EL BLOQUE B DE LA UPS-GUAYAQUIL Y MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA OCHO PRÁCTICAS ACADÉMICAS APLICADAS AL CAMPO OPERACIONAL DE RELÉS DE TECNOLOGÍA DIGITAL PARA PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE PODER DE SUBESTACIONES DE GRANDES CONSUMIDORES ELÉCTRICOS.

AUTORES:

RONALD ROBERT ENDERICA YCAZA

DARLING GEOUSSEPPY ARAGUNDY HIDALGO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. ERVIN SOLANO

GUAYAQUIL, SEPTIEMBRE 2014

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Ronald Robert Enderica Ycaza Portador de la cédula de ciudadanía N° 0930087796 estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que la responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente.

Guayaquil, Septiembre de 2014

Ronald Robert Enderica Ycaza

Autor

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Darling Geousseppy Aragundy Hidalgo Portador de la cédula de ciudadanía N° 0924706997 estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que la responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente.

Guayaquil, Septiembre de 2014

Darling Geousseppy Aragundy Hidalgo

Autor

CERTIFICACIÓN

Que la Tesis ha sido desarrollada en su totalidad por los señores: Ronald Robert Enderica Ycaza, Darling Geousseppy Aragundy Hidalgo bajo mi dirección, por lo que autorizo su presentación.

Guayaquil, Septiembre de 2014

Ing. Ervin Solano Villegas

Director de Tesis

DEDICATORIA

Con inmenso amor y alegría dedico este trabajo,

A mi papá Jaime y mi mamá Margarita por su inmenso esfuerzo, sacrificio e innumerables horas de trabajo velando por mi bienestar.

A Kelly y Kevin mis queridos hermanos quienes siempre fueron un pilar donde me apoyé en momentos difíciles, a quienes aliento para que se sigan superando y confíen en que sus sueños si se pueden alcanzar.

A mis abuelitas Rosita y Margarita quienes con sus valiosos consejos de vida contribuyeron en el objetivo que hoy estoy alcanzando.

A mis tíos, tías, primos y mi familia entera que siempre estuvieron cerca para animarme a continuar creyendo en que la meta era cercana y con esfuerzo se lograría.

A mi tutor quien con mucha paciencia supo guiarme en la elaboración del trabajo de tesis, además de los muchos consejos que me brindó. A mis profesores que durante mis años de estudio me compartieron sinceramente sus conocimientos.

A mi compañero de tesis y su familia con quien trabajé hombro a hombro para que este proyecto sea una realidad.

A mis compañeros quienes fueron los confidentes en las interminables aventuras de los años universitarios, con quienes compartimos las angustias de un examen, la alegría del gol anotado en un partido de futbol y la victoria de un objetivo alcanzado.

A mis amigos que desde un salón de clases, un laboratorio de la universidad, el puesto de trabajo, una llamada telefónica o a la mitad de la calle, estuvieron siempre pendientes de mis avances y me alentaron a continuar.

Ronald R. Enderica Ycaza

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a Dios, y toda mi familia en general, principalmente a las personas que estuvieron junto a mí en este largo proceso de lucha constante, especialmente a una personita que ha sabido entender y donar una gran parte del tiempo que le correspondía a él durante sus primeros 6 años de crecimiento en la vida para que lo pueda invertir en este gran logro, mi hijo Sebastián.

Geousseppy Aragundy H.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios,

Por las bendiciones que derramó sobre mí, permitiéndome culminar mis estudios universitarios con éxito, por enviarme a su Espíritu Santo para que me acompañe y ayude siempre, quien se manifestó de muchas formas a lo largo de la etapa estudiantil, por ejemplo como un tutor que confió en mí sin que yo fuese el estudiante más destacado y quien se convirtió en el mejor que pude tener, como una amiga quien tuvo el acierto de aconsejarme con las palabras justas en el momento y la hora exacta, como las personas que aparecieron en mi vida en momentos de incertidumbre y gestaron situaciones tan imposibles que ni el más destacado de los hombres pudo haberlo planeado.

Por brindarme una familia abnegada que han dado su vida por mí, quienes sin importar la hora o el día siempre estuvieron predispuestos a ayudarme.

Ronald R. Enderica Ycaza

Mis Agradecimientos sinceros a Dios, mis padres, mis hermanos, Katherine y Sebastián, mi familia en general, por haberme acompañado y ayudado en este primer logro que es el inicio y la semilla de muchos éxitos por cosechar en mi vida.

Geousseppy Aragundy H.

ÍNDICE

CAPITULO I.....	18
1. EL PROBLEMA.....	19
1.1. Planteamiento del problema.....	19
1.2. Tema.....	20
1.3. Delimitación del problema.....	20
1.3.1. Temporal.....	20
1.1.1. Espacial.....	20
1.1.1. Académica.....	20
1.4. Objetivos.....	20
1.1.2. Objetivo general:.....	20
1.1.3. Objetivos Específicos.....	21
1.5. Hipótesis.....	21
1.6. Variables e Indicadores.....	22
1.6.1. Variable dependiente (causa).....	22
1.6.2. Variable independiente (efecto).....	22
1.7. Indicadores.....	22
1.8. Población y muestra.....	22
1.9. Metodología.....	22
1.9.1. Método científico.....	23
1.9.2. Método Documental Bibliográfico.....	23
1.9.3. Método Experimental y Simulaciones.....	23
1.9.4. Método Analítico Sintético.....	23
CAPITULO II.....	24
2. MARCO TEÓRICO.....	25
2.1. Resumen.....	25
2.2. Teoría de protecciones.....	26
2.2.1. Funciones de los sistemas de protección.....	26
2.2.1.1. Función de medición.....	26
2.2.1.2. Función lógica.....	26
2.2.1.3. Función de acción.....	26
2.2.2. Esquemas de protección.....	26
2.2.2.1. Definición.....	26

2.2.2.2.	Ventajas.....	26
2.2.3.	Características funcionales del esquema de protección:	27
2.2.3.1.	Confiabilidad.....	27
2.2.3.2.	Selectividad.....	27
2.2.3.3.	Rapidez	27
2.2.3.4.	Simplicidad	28
2.3.	Riesgos para la salud asociados a fallas eléctricas.....	28
2.4.	Protección de transformadores de poder.....	29
2.4.1.	Consideraciones de los esquemas de protección.....	29
2.4.1.1.	Función del esquema de protección.....	29
2.4.1.2.	Importancia de proteger al transformador de poder	29
2.4.1.3.	Consideraciones técnico-económicas.....	29
2.4.1.4.	Complejidad del esquema de protección.....	29
2.4.1.5.	La protección de transformadores debe garantizar	30
2.5.	Fallas en los transformadores de poder.....	30
2.5.1.	Definición	30
2.5.2.	Naturaleza de la falla.....	30
2.5.3.	Ubicación de las fallas	30
2.5.4.	Consecuencias ante eventos de falla	30
2.5.5.	Tipo de fallas.....	31
2.5.6.	Fallas internas y externas que afectan a los transformadores de poder.....	31
2.6.	Protección del transformador de poder contra perturbaciones del sistema.....	31
2.6.1.	Tipos de perturbaciones	31
2.6.1.1.	Cortocircuito	32
2.6.1.2.	Sobrecarga.....	32
2.6.1.3.	Retorno de corriente.....	32
2.6.1.4.	Subtensión.....	32
2.6.1.5.	Sobretensión.....	32
2.6.2.	Protección contra perturbaciones de sobretensión	33
2.6.3.	Protección de Buchholz	33
2.6.4.	Protección de sobrecarga	35
2.6.5.	Protección diferencial	36
2.6.6.	Protección de sobrecorriente.....	36
2.6.7.	Sobrecorriente de tierra.....	38

2.6.8.	Protección de sobreexcitación.....	38
2.7.	Vulnerabilidad en los SEP	39
2.7.1.	Fallo en equipos de protección.....	39
2.7.2.	Zona de protección.....	40
2.8.	Subestaciones eléctricas.....	42
2.8.1.	Tipos de subestaciones.....	42
2.9.	Transformadores de corriente	43
2.10.	Transformadores de potencial.....	45
2.11.	Relé de protección.....	48
2.11.1.	Definición	48
2.11.2.	Funcionamiento.....	48
2.11.3.	Evolución a través de la historia	48
2.11.4.	Protecciones internas de los relés de protección.....	50
2.11.4.1.	Función de protección sobrecorriente (50-51).....	50
2.11.4.2.	Función de protección diferencial de transformador (87T)	50
2.11.4.3.	Función de protección de temperatura o térmico (49)	51
2.11.4.4.	Función de protección de sobre excitación (24)	51
2.12.	Transformador de potencia	51
2.13.	Interruptor automático.....	52
2.14.	Cuchillas seccionadoras	53
2.15.	Pararrayos	53
2.16.	Baterías de Alimentación.....	53
2.17.	Grandes consumidores eléctricos.....	54
2.17.1.	Calificación como gran consumidor	54
2.17.2.	Requisitos para calificar como gran consumidor	54
2.17.3.	Listado de grandes consumidores	55
2.18.	Esquema de protecciones sugerido para transformador de poder	56
2.19.	Estudio de Cortocircuito	57
	CAPITULO III	75
3.	Diseño.....	76
3.1.	Consideraciones generales	76
3.1.1.	Consideraciones del plano físico.....	76
3.1.2.	Consideraciones del plano de control.	77
3.1.3.	Consideraciones de las perspectiva del diseño.....	77

3.1.4.	Consideraciones del listado de materiales.....	77
3.1.5.	Consideraciones del presupuesto.	78
3.2.	PlanosGenerales.....	79
3.3.	Planos Físicos.....	85
3.4.	Planos de Control.....	99
3.5.	Perspectivas del Diseño	114
3.6.	Listado de Materiales	123
3.7.	Presupuesto	130
CAPITULO IV	133
4.	Manual de Prácticas	134
4.1.	Consideraciones generales	134
4.1.1.	Del escenario.....	134
4.2.	Práctica No. 1.....	135
4.3.	Práctica No. 2.....	180
4.4.	Práctica No. 3.....	211
4.5.	Práctica No. 4.....	252
4.6.	Práctica No. 5.....	289
4.7.	Práctica No. 6.....	316
4.8.	Práctica No. 7.....	339
4.9.	Práctica No. 8.....	370
BIBLIOGRAFÍA	391
ANEXO A: SIMULACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL	392
ANEXO B: DIAGRAMAS UNIFILARES	403
ANEXO C: SIMULACIÓN DE PRÁCTICAS	412
ANEXO D: OFERTAS	420
ANEXO E:	429
ANEXO E-1: GETTING STARTED	430
ANEXO E-2: PROGRAMABLE LOGIC	450

ÍNDICE IMAGEN

Imagen 1: Relé Buchholz	35
Imagen 2. Zonas de protección	41
Imagen 3. Traslape de zonas de protección	41
Imagen 4: Representación de un Transformador de Corriente (TC) en un diagrama unifilar	44
Imagen 5: Representación de un Transformador de Potencial (TP) en un diagrama unifilar	46
Imagen 6: Registro de Grandes Consumidores	55
Imagen 7: Diagrama de protecciones para transformadores de poder	56
Imagen 8: Diagrama unifilar del proyecto	57
Imagen 9: Diagrama de impedancias equivalentes de secuencia positiva del diagrama unifilar del proyecto en estudio	60
Imagen 10: Diagrama de impedancias equivalentes para el análisis de falla trifásica en la barra 2	61
Imagen 11: Diagrama de impedancias equivalentes para el análisis de falla trifásica en la barra 2	61
Imagen 12: Diagrama de impedancias equivalentes para el análisis de falla trifásica en la barra 1	62
Imagen 13: Red de secuencias para las fallas línea a tierra	64
Imagen 14: Redes de secuencias positiva, negativa y cero para el sistema de potencia en análisis	65
Imagen 15: Red de secuencia para análisis de falla línea a tierra en barra 3	67
Imagen 16: Red de secuencia para análisis de falla línea a tierra en barra 2	68
Imagen 17: Red de secuencia para análisis de falla línea a tierra en barra 1	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Fallas internas y externas que inciden sobre los transformadores de potencia	31
Tabla 2: Datos del diagrama unifilar propuesto	58
Tabla 3: Corrientes de falla monofásica (LG) y trifásica (LLL) para máxima y mínima generación	74

TEMA: DISEÑO DE MÓDULO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS SITUADO EN EL BLOQUE B DE LA UPS-GUAYAQUIL Y MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA OCHO PRÁCTICAS ACADÉMICAS APLICADAS AL CAMPO OPERACIONAL DE RELÉS DE TECNOLOGÍA DIGITAL PARA PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE PODER DE SUBESTACIONES DE GRANDES CONSUMIDORES ELÉCTRICOS.

Autores: Ronald Robert Enderica Ycaza, renderica@est.ups.edu.ec
Darling Geousseppy Aragundy Hidalgo, garagundy@est.ups.edu.ec
Director de Tesis: Ing. Ervin Solano Villegas, esolano@ups.edu.ec

Palabra Clave: Protección eléctrica, Práctica de laboratorio de protecciones eléctricas, Relé para protección de transformador, Módulo de pruebas de protecciones eléctricas.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se realizó para el laboratorio de protecciones eléctricas de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil entre el año 2013 – 2014.

En la universidad se dicta la materia de Protecciones Eléctricas y actualmente en la parte práctica solamente se tiene a disposición de los estudiantes un software de simulación y análisis de fallas como es el ETAP, sin embargo no es suficiente para que los estudiantes logren comprender y asimilar adecuadamente sus conocimientos.

Es por esto que se decide realizar el diseño de un módulo de pruebas didáctico donde se tenga un relé de protección para que los estudiantes puedan ingresar los parámetros requeridos por el dispositivo de protección y con la ayuda de una maleta de inyección de corriente (omicron) se puedan probar diversos escenarios de fallas y cómo responden los dispositivos de protección a ellas. El módulo de pruebas está diseñado para probar un esquema de protección típico en subestaciones.

Para que el tablero sea aprovechado de buena forma se entrega un manual con ocho prácticas que son elaboradas para dar solución a un escenario planteado. El escenario planteado no implica que el relé o el módulo de pruebas solo se puedan emplear para este caso de estudio.

TEMA: DISEÑO DE MÓDULO DE PRUEBAS PARA EL LABORATORIO DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS SITUADO EN EL BLOQUE B DE LA UPS-GUAYAQUIL Y MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA OCHO PRÁCTICAS ACADÉMICAS APLICADAS AL CAMPO OPERACIONAL DE RELÉS DE TECNOLOGÍA DIGITAL PARA PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE PODER DE SUBESTACIONES DE GRANDES CONSUMIDORES ELÉCTRICOS.

Autores: Ronald Robert Enderica Ycaza, renderica@est.ups.edu.ec

Darling Geousseppy Aragundy Hidalgo, garagundy@est.ups.edu.ec

Director de Tesis: Ing. Ervin Solano Villegas, esolano@ups.edu.ec

Keyword: Electrical protections, Electrical protection's laboratory practices, Transformer relay protection, Electrical protection module.

ABSTRACT

The present thesis work was developed for the Salesiana Polytechnical University's Electrical protections Laboratory of Salesiana Polytechnical University, headquarter Guayaquil in 2013-2014.

The university teaches Electrical Protections, but currently is only available a simulation software (ETAP) for practices. However, this software is not enough for the students to achieve understanding and incorporate their knowledge.

For this reason we decide to design a didactic test module that has a protection relay that allow students to introduce the parameters required by the device; and with the help of a current injection suitcase (omicron) we could identify and test different circumstances and how the relay respond to them. The module purpose is to test a typical substation's protection.

To take advantage of the board, it has a manual with eight practices that can be develop to solve any situation. It doesn't mean that the test module only can be used for this specific case.

INTRODUCCIÓN

La Universidad Politécnica Salesiana es una institución de educación superior que cuenta con varias sedes a nivel nacional y entre ellas una en la ciudad de Guayaquil. Entre las carreras ofertadas en la ciudad de Guayaquil se encuentra la de Ingeniería Eléctrica la misma que acoge a muchos jóvenes que ven reflejado en esta rama profesional su más fervoroso anhelo de profesionalización.

La carrera de Ingeniería Eléctrica cuenta con un pensum académico muy completo, el cual determina los contenidos que deben ser impartidos a los estudiantes en los salones de clase. Entre las materias que se dictan se encuentra la asignatura Protecciones Eléctricas correspondiente al noveno ciclo.

El conocimiento que se imparte en la materia de Protecciones Eléctricas es uno de los pilares más fuertes que deben ser implantados en el futuro profesional. Para el ingeniero eléctrico es cotidiano tratar temas relacionados con protecciones eléctricas. Las protecciones eléctricas son un tema muy delicado por los grandes costos asociados y que además exige gran experticia para dar respuesta rápida cuando se lo requiera.

Es por esto que se vuelve de suma importancia el contar con un ambiente de experimentación lo más completo posible en la universidad que permita a los estudiantes afianzar sus conocimientos teórico-prácticos.

En consecuencia, se decide realizar un proyecto en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil en el cual se desarrolle el diseño de un módulo de pruebas que cuente con un relé de protección de tecnología digital y se realice la aplicación para proteger transformadores de poder, simulando un caso práctico de subestación y que en conjunto se entreguen ocho prácticas que permitan explotar el potencial del módulo de pruebas.

El presente trabajo de tesis es desarrollado en cinco capítulos, a continuación una breve reseña:

Capítulo I: Se plantea la problemática que llama la atención a los autores, para buscar una solución se plantea el objetivo general y los específicos, y las hipótesis a demostrarse.

Capítulo II: Se revisan los conceptos y la teoría que son necesarias para desarrollar y enunciar la solución al problema.

Capítulo III: Se presentan los diseños del circuito de control, físicos y vistas para el módulo de pruebas también se presenta el listado de materiales detallado y el presupuesto del proyecto.

Capítulo IV: Se presenta el manual con ocho prácticas aplicadas al relé Alston P642 y en base al escenario planteado por los autores.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA
ECUADOR

CAPITULO I

CAPITULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema.

La Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil cuenta con la carrera de Ingeniería Eléctrica donde se forman los futuros profesionales del Ecuador. En la malla curricular vigente para la carrera de Ingeniería Eléctrica se define que el alumno de noveno ciclo debe cursar la materia de Protecciones Eléctricas, ésta materia es de mucha importancia dentro de los pilares que se deben fijar en cada estudiante para que logre enfrentar con éxito los retos impuestos en el campo laboral. El contenido de la materia abarca un amplio campo académico que sin duda debe ser tratado tanto desde el ámbito teórico como práctico. Sin embargo a la fecha actual aún la institución de educación superior no cuenta con un ambiente para la experimentación de los contenidos teóricos revisados en las aulas de clases. Es importante mencionar que el recurso de experimentación utilizado hasta hoy es un ambiente virtual de simulación mediante el uso de software por computadora el cual ayuda pero no es suficiente si lo que se pretende es capacitar a los alumnos de forma efectiva.

Por lo tanto los autores plantean la solución a esta interrogante mediante la elaboración de una propuesta que entregará un diseño y presupuesto que permita realizar un análisis a las autoridades competentes sobre la viabilidad del proyecto y su futura implementación.

El aprovechamiento del presente trabajo no solo se restringe a fines de una materia en particular (Protecciones Eléctricas) sino que se expande para ser utilizado en futuros Seminarios Profesionales dictados por la UPS, incluyendo el caso de que la institución permita ofertar dicha herramienta a nivel industrial para pruebas de Laboratorio que **certifiquen el correcto funcionamiento de Relés con Tecnología Digital, es más por qué no pensar en tomar un eje de investigación**al respecto de las Protecciones Eléctricas de un sistema de potencia donde de primera mano se tenga a disposición el trabajo presentado y se profundice mucho más en ello.

Todo lo manifestado en líneas anteriores es posible, claro que demanda una inversión considerable, pero que debido a la situación actual de la UPS-GYE se lo considera

como el momento oportuno ya que se cuenta con un crecimiento franco de la población de estudiantes, de igual forma se está creciendo en infraestructura, también se exige subir un escalón en la profesionalización del cuerpo catedrático tal como lo manifiestan las políticas nacionales de mejoras en la educación superior y finalmente se destaca el pensar que puede ser el momento en que se defina la clase de laboratorios que se desea tener, la clase de profesionales que se desea formar y la clase de universidad que se desea brindar.

1.2. Tema.

Diseño de Módulo de Pruebas para el Laboratorio de Protecciones Eléctricas situado en el Bloque B de la UPS-Guayaquil y Manual de Procedimiento para Ocho Prácticas Académicas aplicadas al Campo Operacional de Relés de Tecnología Digital para Protección de Transformadores de Poder de Subestaciones de Grandes Consumidores Eléctricos.

1.3. Delimitación del problema.

1.3.1. Temporal.

El proyecto de tesis se lo plantea y ejecuta en el período 2013-2014.

1.1.1. Espacial.

El proyecto se lo desarrolla para la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, para la aplicación en el laboratorio de protecciones eléctricas de la carrera.

1.1.1. Académica.

La delimitación académica es la obtención del título de Ingeniero Eléctrico.

1.4. Objetivos.

1.1.2. Objetivo general:

Diseñar un módulo de pruebas para el laboratorio de protecciones eléctricas de la UPS-G y elaborar un manual de procedimientos para ocho prácticas académicas aplicadas al campo de protecciones de transformadores de poder.

1.1.3. Objetivos Específicos.

- Generar el marco teórico que fundamente el proyecto.
- Elaborar planos de control para el proyecto.
- Elaborar planos físicos de distribución interna de las áreas de trabajo.
- Elaborar vistas en perspectivas del proyecto de diseño.
- Elaborar el presupuesto logístico del proyecto.
- Elaborar manual de procedimientos para ocho prácticas académicas.

1.5. Hipótesis.

- La carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil contará con una propuesta sólida para presentarla ante las autoridades y solicitar el presupuesto para la implementación del módulo de pruebas.
- Los estudiantes que cursen el noveno ciclo de la carrera de Ingeniería Eléctrica, en la materia de Protecciones Eléctricas de la UPS sede Guayaquil contarán con un manual de procedimientos para realizar prácticas académicas de laboratorio aplicadas al campo de Transformadores de Poder de Grandes Consumidores utilizando relés de tecnología digital.

PROYECCIÓN FUTURA – POST IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE PRUEBAS –

- Complementará significativamente a los estudiantes el aprendizaje de la materia de Protecciones Eléctricas y sus materias afines en la UPS-G.
- Será el inicio de un nuevo eje investigativo que permitirá profundizar en este campo ocupacional de las Empresas tanto Públicas como Privadas.
- Desde la perspectiva del docente, éste contará con una herramienta poderosa para mejorar la transferencia del conocimiento hacia los estudiantes.
- Generará nuevas propuestas de Tesis que profundicen en la temática de las protecciones eléctricas.

1.6. Variables e Indicadores.

1.6.1. Variable dependiente (causa).

Desarrollar el diseño de un módulo de pruebas con relé de tecnología digital y manual de procedimiento con ocho prácticas aplicadas al campo de protección de transformadores de poder para la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil

1.6.2. Variable independiente (efecto).

Mejorar los procesos de aprendizaje para los alumnos que cursen la materia de Protecciones Eléctricas del noveno ciclo de la carrera de ingeniería eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

1.7. Indicadores.

Tener a disposición la estimación de gastos y un modelo sugerido del módulo para que se puedan a partir de ello mejorar la propuesta o implementarla.

En caso de construirse el módulo de pruebas:

Aprendizaje: Comparación de las calificaciones resultantes de las evaluaciones de períodos de estudio anteriores a la implementación del proyecto y luego de mismo.

1.8. Población y muestra.

La población y muestra para de este proyecto es la totalidad de estudiantes que cursen la materia de Protecciones Eléctricas en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, y existe al momento un promedio de 15 estudiantes, también interviene el docente que dicta la cátedra.

1.9. Metodología.

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron varios recursos metodológicos como son; método científico, método documental bibliográfico, método experimental y simulaciones, método analítico sintético.

A continuación se describen de forma general en qué consisten los métodos empleados en el desarrollo del trabajo de tesis:

1.9.1. Método científico.

Se lo emplea en conocer e investigar al transformador de poder y el ajuste de las protecciones adecuadas basadas en la correcta aplicación de los cálculos teóricos realizados.

1.9.2. Método Documental Bibliográfico.

Recurso empleado para obtener la información de catálogos, hojas técnicas, datos de placa del transformador a fin de elaborar un escenario que permita realizar la aplicación del tablero de pruebas.

1.9.3. Método Experimental y Simulaciones.

Recurso empleado para realizar las pruebas de inyección de corriente (maleta Omicron) y determinar de forma práctica los parámetros que se piden en cada una de las ocho prácticas planteadas, también se realizan simulaciones del funcionamiento del tablero de pruebas en el software Festo.

1.9.4. Método Analítico Sintético.

Recurso empleado en el desarrollo de las prácticas a fin de determinar luego de una revisión del escenario la manera adecuada para proteger al transformador de poder y los dispositivos que se encuentran adyacentes a él.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA
ECUADOR

CAPITULO II

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Resumen

El presente capítulo trata sobre definiciones breves de subestaciones eléctricas, sus principales componentes y, cómo se ven afectadas por condiciones críticas debido a perturbaciones originadas por incidencias atmosféricas así como también debido a la incidencia del hombre.

Las perturbaciones a las cuales se ven sometidas las subestaciones eléctricas así como las indeseables consecuencias que se llegan a producir conllevan a requerir la instalación de los conjuntos de sistemas de protecciones para los cuales se definen sus características, estructura, y componentes.

Sobre los componentes de los sistemas de protección se especifica principalmente al relé de protección de tecnología digital, dando un vistazo a sus predecesores y, la versatilidad de las múltiples funciones de protección programables en ellos.

Finalmente, se tratará sobre los Grandes Consumidores Eléctricos, su calificación, los requisitos mínimos a cumplir, y cómo sugerir desde la norma Internacional IEEE el esquema de Protección para los Transformadores de Poder de las Subestaciones del Gran Consumidor.

2.2. Teoría de protecciones

2.2.1. Funciones de los sistemas de protección

2.2.1.1. Función de medición

La función de medición es la encargada de la detección de corrientes y tensiones, para ello utiliza dos equipos importantes como son el transformador de corriente y el transformador de potencial. A través de esta función se logra tener una réplica reducida de las condiciones del sistema eléctrico durante las fallas o en operación normal.(Duarte & Cediel, 2006, pág. 3)

2.2.1.2. Función lógica

La función lógica permite analizar si los valores medidos son o no perjudiciales para el sistema. En los sistemas de protección el dispositivo encargado de realizar esta función es el relé de protección quien tiene en su estructura más básica: captar la información proveniente de la medición, procesarla y si es crítica enviar una orden de acción al interruptor.(Duarte & Cediel, 2006, pág. 3)

2.2.1.3. Función de acción

La función de acción es la encargada de desconectar la parte fallada del sistema eléctrico en el menor tiempo posible minimizando los daños a los equipos y el riesgo a las personas. Los encargados de realizar esta acción son los interruptores quienes desconectan los circuitos cortando las corrientes de falla o de operación normal cuando se lo requiera.(Duarte & Cediel, 2006, pág. 3)

2.2.2. Esquemas de protección

2.2.2.1. Definición

Un esquema de protección es el ordenamiento lógico de diversos dispositivos de protección como lo son: TC, TP, relés de protección, interruptores, los mismos que proveen seguridad a uno o varios elementos del sistema de potencia para que en situaciones de falla se los proteja de daños catastróficos. Comúnmente a los esquemas de protección también se los llama sistemas de protección.

2.2.2.2. Ventajas

El contar con un esquema de protección provee una mayor confiabilidad en el servicio eléctrico, si la actuación ante las condiciones anormales es rápida se minimiza el daño en el transformador y equipos del sistema, se evitan costos por reparación, se reducen las perturbaciones en el sistema que pudieran obligar a la

salida de operación de elementos libre de falla, si el despeje de la porción afectada es correcta se reduce en gran medida la suspensión del servicio solo al área afectada. Algunas de las consideraciones en las cuales se sustenta la importancia de contar con un esquema de protección se detallan:

- a) Dar continuidad en el servicio aislando solo los equipos fallados.
- b) Limitar los daños en los equipos fallados.
- c) Minimizar la posibilidad de incendio.
- d) Minimizar riesgos al personal.

2.2.3. Características funcionales del esquema de protección:

En un sistema de protección eléctrica todos los equipos que lo componen deben satisfacer las siguientes características funcionales(Gers, 1993, pág. 18):

- Confiabilidad
- Selectividad
- Rapidez
- Simplicidad

2.2.3.1. Confiabilidad

Una protección confiable es aquella que responde siempre correctamente, es decir, que la protección debe responder con seguridad y efectividad ante cualquier situación que se produzca.(Gers, 1993)

2.2.3.2. Selectividad

Los relés deben ser coordinados de tal forma que puedan tener la capacidad de determinar la zona sobre la que tienen que actuar ante una falla, para poder mantener la continuidad del servicio despejando solo la zona afectada sin generar perturbación en el resto del sistema.(Gers, 1993)

2.2.3.3. Rapidez

El tiempo de respuesta de los relés de protección ante una situación de falla debe ser el mínimo posible, ya que mientras menos tiempo estén expuestos los equipos, serán menores los daños y alteraciones, en consecuencia se disminuye costos y tiempo de restablecimiento de las condiciones normales de operación, reparaciones o reposiciones.(Gers, 1993)

2.2.3.4. Simplicidad

Los sistemas de protección deben ser lo más simples y directos posible, ajustándose estrictamente al cumplimiento de la protección requerida. Debe considerarse que el incorporar dispositivos de protección adicionales tiene como posible consecuencia el incremento de puntos de fallas así como también el mantenimiento que debe ser programado para cada elemento adicional que forme parte del esquema de protección. (Blackburn & Domin, 2006)

2.3. Riesgos para la salud asociados a fallas eléctricas

Las fallas eléctricas generan un alto riesgo de accidentes para los operadores, y éstas pueden darse por:

- Riesgo por arco eléctrico
- Riesgo por explosión
- Riesgo por choque eléctrico

Los accidentes eléctricos pueden ocasionar diversos tipos de traumas afectando sistemas vitales como el respiratorio, el nervioso y el muscular, y órganos vitales como el corazón.

Las lesiones que pueden ocasionarse por los accidentes eléctricos son:

- El paso de la corriente a través del cuerpo puede generar cortaduras o rotura de miembros.
- Los daños en los nervios causados por el choque eléctrico o por las quemaduras pueden causar pérdida de la motricidad o parálisis.
- Las quemaduras por el arco eléctrico o por la corriente generan dolores intensos que pueden ser de una duración extremadamente larga.
- Las partículas, el metal fundido y las quemaduras en los ojos pueden ocasionar ceguera.
- La explosión puede ocasionar pérdida parcial o total de la audición.
- La circulación de corriente a través de los órganos puede ocasionar su disfunción.

Además de las lesiones, se llega a causar la muerte por los siguientes factores:

- El choque eléctrico puede ocasionar daños físicos mortales.

- Cuando se tienen quemaduras de un porcentaje alto en la piel, se requieren cantidades grandes de líquidos para la cicatrización. Esto genera un esfuerzo en el sistema renal que puede ocasionar la falla del riñón.
- Los órganos internos afectados pueden dejar de funcionar ocasionando la muerte principalmente si se trata de órganos vitales.
- Si la víctima inhala gases muy calientes y materiales fundidos generados por el arco eléctrico, los pulmones se verán afectados y no funcionarán correctamente.
- El corazón puede dejar de funcionar por fibrilación o por parálisis debido a la corriente eléctrica.

2.4. Protección de transformadores de poder

2.4.1. Consideraciones de los esquemas de protección

2.4.1.1. Función del esquema de protección

La función de los sistemas de protección de una subestación eléctrica es proteger la integridad física del operador y prevenir daños en la misma debido a fallas por cortocircuitos, sobrecargas, sobretensiones, descargas atmosféricas.

2.4.1.2. Importancia de proteger al transformador de poder

El transformador de poder en una subestación eléctrica es el equipo más importante.

2.4.1.3. Consideraciones técnico-económicas

Debido a la importancia que tienen los transformadores se requiere realizar un análisis técnico-económico para determinar un esquema de protección que sea técnicamente factible equilibrando la combinación de los factores de sensibilidad, selectividad y rapidez contra la economía.

2.4.1.4. Complejidad del esquema de protección

Los esquemas de protección para transformadores de poder van desde los más sencillos donde solo se tienen fusibles hasta los más complejos donde se emplean relés de protección digitales multifunción, esto está en función de la capacidad del transformador a proteger, esto es: a mayor capacidad del transformador de poder mayor es la complejidad que debe tener el esquema de protecciones. También se debe indicar que a mayor capacidad del transformador su costo también crecerá. Con esto podemos deducir que para los transformadores de poder de gran capacidad se les asocia esquemas complejos donde inclusive se utilizan redundancias.

2.4.1.5. La protección de transformadores debe garantizar

Según Std C37.91-2000, al realizarse la protección de transformadores de poder se debe garantizar que se proteja de manera efectiva:

- Al entorno eléctrico en caso de presentarse falla en el transformador de poder.
- Al transformador contra las fallas o perturbaciones que se presenten en la red eléctrica donde se encuentra conectado.
- Al transformador en la medida de lo posible contra eventuales fallas o mal funcionamiento al interior del mismo transformador.
- Al transformador contra las condiciones adversas del medio ambiente que puedan causar un mal funcionamiento.

2.5. Fallas en los transformadores de poder

2.5.1. Definición

Se considera como una falla a cualquier evento externo o interno que provoque una operación inadecuada o incorrecta del transformador de poder.

2.5.2. Naturaleza de la falla

La naturaleza de la falla puede ser eléctrica o mecánica.

2.5.3. Ubicación de las fallas

Las fallas en los transformadores de poder pueden provenir de las bobinas, puntos de interconexión, cambiadores de derivaciones con y sin carga, bushings, pérdida del aislamiento en el núcleo, fugas del líquido aislante, entre otras.

2.5.4. Consecuencias ante eventos de falla

Según Std C37.91-2000, dada una falla en un transformador de poder las consecuencias son eventos negativos, a continuación se detallan algunos de ellos:

- a) Altos costos de reparación por daños.
- b) Costos por pérdidas de la producción.
- c) Efectos adversos en el balance del sistema.
- d) Producen daños en los equipos adyacentes.

2.5.5. Tipo de fallas

Del universo de fallas que tienen incidencia en los sistemas de potencia aquellas que se originan en el interior del mismo transformador se les denomina falla interna y las que son parte del sistema eléctrico se les denomina falla externa.

2.5.6. Fallas internas y externas que afectan a los transformadores de poder

De acuerdo a (Armendáriz & Néqiz, 2009), de la diversidad de fallas internas y externas que se agrupan en estas dos categorías, las que principalmente afectan a los transformadores de poder se detallan en la tabla 1 que se muestra a continuación:

Tabla 1: Fallas internas y externas que inciden sobre los transformadores de potencia

Fallas internas	Fallas externas
Cortocircuitos entre devanados	Fallas entre fases en el sistema de potencia
Cortocircuitos entre espiras	Fallas a tierra en el sistema de potencia
Fallas a tierra	Sobrecarga
Falla del intercambiador de taps	Sobreexcitación (Sobreflujo)
Fugas de aceite en el tanque del transformador	

Fuente: (Armendáriz & Néqiz, 2009)

2.6. Protección del transformador de poder contra perturbaciones del sistema

2.6.1. Tipos de perturbaciones

De todas las perturbaciones o fuentes de fallas en el servicio normal de diferentes elementos que componen un sistema eléctrico de alta tensión, a continuación se mencionan las más frecuentes:

- Defecto en aislamiento
- Descargas atmosféricas
- Incidencia de animales
- Caída de árboles, ramas u otros objetos sobre líneas
- Destrucción mecánica de máquina rotativa

- Sobrecarga en una línea
- Factores humanos
- Puestas a tierra intempestivas

Estas perturbaciones y muchas otras se pueden agrupar desde el punto de vista del sistema eléctrico en cinco grupos de falla:

2.6.1.1. Cortocircuito

Es la unión directa entre dos o más conductores de diferente potencial, se caracterizan por un aumento instantáneo de la intensidad de corriente limitado únicamente por la impedancia de cortocircuito produciendo esfuerzos electrodinámicos y térmicos.

2.6.1.2. Sobrecarga

Es un incremento paulatino de la intensidad de corriente por sobre los valores admisibles perturbando al sistema luego de que permanece por un tiempo prolongado.

2.6.1.3. Retorno de corriente

Esta falla se produce cuando ocurre un cambio de sentido en el flujo de potencia. Esto se puede observar en circuitos de corriente alterna cuando un generador trabaja en paralelo con una red cuya tensión es superior a la fuerza electromotriz del mismo, comenzando entonces a funcionar este como un motor síncrono.

2.6.1.4. Subtensión

Se presenta cuando la tensión es inferior al valor nominal de la misma. Cuando se tiene carga conectada a la red esto produce una sobrecarga debido a que para mantener la potencia demandada por la carga se incrementa la intensidad de corriente

2.6.1.5. Sobretenión

Es aquella que se puede originar por una descarga atmosférica, produciendo una elevada tensión en referencia a la normal. (Armendáriz & Néqiz, 2009)

2.6.2. Protección contra perturbaciones de sobretensión

Incidencia de la perturbación

Comúnmente las fallas con mayor incidencia que se presentan en los transformadores de poder son las sobretensiones.

Origen de la perturbación

Las sobretensiones se originan como consecuencia de las descargas atmosféricas, maniobras en el sistema eléctrico, entre otros fenómenos.

Impacto en el sistema

Cuando en el sistema existe una sobretensión se presentan picos transitorios de sobretensión y variación de la frecuencia.

Picos de sobretensión transitorios

Las perturbaciones debidas a los picos de sobretensión transitorios que se presentan en los sistemas eléctricos son debido a fallas, seccionamiento al abrir un circuito en alta tensión, descargas atmosféricas y fallas entre espiras (falla interna). Para minimizar el daño en los equipos debido al transitorio se emplea una barra de metal que canalice a tierra las altas tensiones.

Variaciones de frecuencia

Las perturbaciones debidas a la variación en la frecuencia producen que los aislamientos se vean sometidos a tensiones elevadas, además existe un incremento en el flujo magnético de operación normal, causando que las pérdidas del hierro se eleven y que consecuentemente se aumente la corriente de magnetización. Otra de las consecuencias es tener una saturación del núcleo al exceder el pequeño flujo que normalmente encierra, esto conlleva a un incremento acelerado de la temperatura del núcleo pudiendo existir pérdida de su aislamiento y daño al devanado en caso de que la condición persista.

El uso de pararrayos es una práctica habitual para mitigar los efectos de las sobretensiones, se los instala a la entrada y salida del transformador de poder, en especial si existe riesgo por exposición a descargas atmosféricas.

2.6.3. Protección de Buchholz

Introducción

En los transformadores de poder existe una protección que normalmente los fabricantes la incluyen siempre que el transformador cuente con tanque conservador, esta protección es el relé Buchholz.(Armendáriz & Néqiz, 2009)

Detección de anomalías

El relé Buchholz está en la capacidad de detectar fallas de aislamiento al interior de la cuba del transformador que originen la formación de gas o concentraciones de aceite que se desplacen desde la cuba hasta el tanque conservador. El relé detecta además las pérdidas por fuga del aceite dieléctrico. Detecta fallas internas como: cortocircuitos, arcos eléctricos y bajo nivel de aceite.(Armendáriz & Néqiz, 2009)

Las fallas de aislamiento al interior del transformador pueden ser en los devanados: fallas entre fases, fallas a tierra, fallas entre espiras.

Principio de funcionamiento

El relé Buchholz basa su funcionamiento en la detección de gas y/o desplazamiento de aceite.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Detección de gases

La descomposición química del medio aislante así como la combustión de materiales sólidos al interior de la cuba producen gases que suben a través del aceite hasta el tanque conservador.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Desplazamiento del aceite

Cuando la presencia de gases es significativa se produce un desplazamiento de aceite desde la cuba del transformador hasta el tanque conservador.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Ubicación del relé

El relé Buchholz se encuentra ubicado en la tubería que une la cuba y el tanque conservador.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

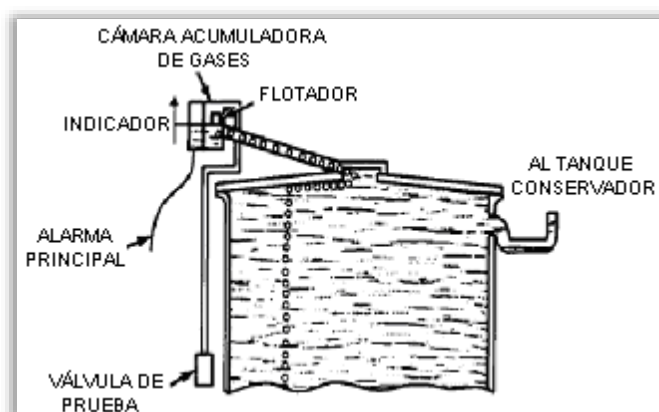
Mecanismo de operación

Cuenta con dos flotadores uno encima del otro, El flotador de la parte superior es el encargado de detectar la presencia de gas, mientras que el flotador que se encuentra más abajo detecta la disminución en el nivel de aceite.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Análisis de gases

El relé Buchholz cuenta con la llamada cámara de acumulación de gases, donde se puede realizar un análisis del gas y determinar el tipo de aislamiento que se deterioró.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Imagen 1: Relé Buchholz



Fuente: (Armendáriz & Néqiz, 2009)

2.6.4. Protección de sobrecarga

Objetivo de la protección

La protección de sobrecarga tiene como objetivo precautelar que el transformador de poder evite el sobrecalentamiento como consecuencia de la conexión de grandes cargas.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Consecuencias de una sobrecarga

El suceso de una sobrecarga conlleva al incremento gradual de la temperatura de varias partes del transformador. Cuando los transformadores sobrepasan la máxima temperatura admisible por diseño, ocurre un deterioro en los aislamientos, pudiendo provocar que ante una leve sobretensión se presente una falla que termine con el tiempo de vida del transformador.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Método para mitigar una sobrecarga

La sobrecarga se origina debido al exceso de carga exigido al transformador de poder, debido a esto es necesario utilizar un método que permita limitar la carga que se pretende conectar al transformador. (Armendáriz & Néqiz, 2009).

Un método que se puede aplicar se basa en monitorear directamente la temperatura para detectar condiciones de sobrecarga. Algunos de los dispositivos de medición de temperatura suelen proveerse de manera estándar con los transformadores y otros son opcionales.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Dispositivos para medición de temperatura

Existen dispositivos que se utilizan normalmente como alarmas, aunque también se los emplean para ordenar el disparar un interruptor. Entre los más destacados tenemos: Indicador de temperatura del aceite, relé térmico, termómetros para medir puntos calientes, etc.

2.6.5. Protección diferencial

Descripción

La protección diferencial permite despejar todas las fallas internas debido a cortocircuitos, también despeja fallas por arcos eléctricos en los bushings del transformador.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Funcionamiento

El funcionamiento de la protección diferencial se basa en la comparación de corrientes de entrada con corrientes de salida del objeto a proteger.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

El relé actúa (depende de que sobrepase o no ciertos valores ajustados) cuando una corriente consecuencia de la diferencia entre la entrada y salida circula a través de él. A la corriente resultado de la diferencia de la entrada con la salida se le denomina diferencial. Cuando la protección actúa aísla la zona fallada.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Consideraciones y recomendaciones

La operación de la protección debe comandar la operación de los interruptores en ambos extremos del elemento protegido, aislando la zona fallada.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Para la protección diferencial la corriente de magnetización (Inrush) es observada como una falla, para superar este problema se utilizan funciones que restringen las armónicas y permiten discriminar ante una verdadera falla.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Dependiendo de las conexiones del transformador de poder existe un desfase de las corrientes de alta tensión y baja tensión, para superar este desfase que provocaría circulación de corriente diferencial se compensa el desfase con el arreglo de la conexión en los transformadores de corriente.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Operación de la protección diferencial

Según (Armendáriz & Néqiz, 2009):

- El relé diferencial no debe operar para fallas externas
- El relé diferencial debe operar para fallas internas críticas

2.6.6. Protección de sobrecorriente

La protección de sobrecorriente es considerada la más sencilla y menos costosa cuando se trata de proteger a una subestación eléctrica. La operación depende únicamente de la magnitud de corriente.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Sobrecorriente instantánea de fase

La protección de sobrecorriente instantánea de fase proporciona a los transformadores de poder protección contra cortocircuitos y contra sobrecargas.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Uso de la protección

Cuando la protección se la emplea en el lado primario del transformador de poder típicamente se coordina con los dispositivos de protección del lado secundario.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Sobrecorriente temporizada de fase

Uso de la protección

Se emplea para la protección principal o de respaldo en transformadores de potencia pequeños, para identificar fallas entre fases internas y externas.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Generalidades del relé de sobrecorriente instantáneo y temporizado

Objetivo de la protección

- Permitir el ajuste de una sobrecorriente por encima del rango de sobrecarga permisible.
- Brindar ajustes instantáneos para excesivas corrientes de fallas externas.
- Permitir el ajuste con otros dispositivos de protección.

Ventajas de ubicación en el lado primario del transformador de poder

El relé de sobrecorriente instalado en el lado primario del transformador brinda:

- Protección ante fallas en los devanados del transformador de poder.
- Protección de respaldo contra fallas en el secundario del transformador.

Ventajas de ubicación en el lado secundario del transformador de poder

El relé de sobrecorriente instalado en el lado secundario del transformador brinda:

- Protección principal ante fallas en el lado secundario del transformador de poder (aguas abajo).

Desventajas de ubicación en el secundario del transformador de poder

El relé de sobrecorriente instalado en el lado secundario del transformador presenta la siguiente desventaja:

- No proporciona protección ante fallas en los devanados del transformador de poder.

2.6.7. Sobrecorriente de tierra

Uso de la protección

A los transformadores de poder también le afectan fallas de línea a tierra, para lograr una protección hacia este tipo de fallas se instala un transformador de corriente en el neutro aterrizado del transformador en el lado secundario. En caso de falla línea a tierra el devanado secundario quedará aislado por acción del interruptor.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

2.6.8. Protección de sobreexcitación

Se presenta una sobreexcitación cuando la cantidad de flujo que circula por el núcleo del transformador excede a un valor nominal, provocando una posible saturación conllevando a una situación de peligro. A la sobreexcitación también se le denomina sobreflujo.(Armendáriz & Néqiz, 2009).

Causas de la sobreexcitación

Según (Armendáriz & Néqiz, 2009), se considera como las principales causas para la presencia de sobreexcitación:

- Sobretensiones
- Reducción de la frecuencia

Consecuencias

Incremento significativo en la temperatura del núcleo debido a la saturación

Generación de un flujo disperso que maximiza a las corrientes de Eddy y en consecuencia incrementa la temperatura del transformador.

El incremento de la temperatura en el núcleo y otras partes estructurales del transformador provoca que los devanados pierdan su aislamiento o acorten el tiempo de vida útil del transformador.(Armendáriz & Néqiz, 2009)

Funcionamiento

Según (Armendáriz & Néqiz, 2009), la función de protección de sobreflujo se basa en la siguiente relación:

$$B = \frac{V}{4.44naf}$$

Donde, n = número de vueltas
 a = área de la sección transversal del núcleo de hierro

De la expresión anterior, reemplazando adecuadamente para la protección de sobreflujo se tiene la ecuación:

$$\frac{B_S}{B_N} = \left(\frac{V}{V_N}\right) \left(\frac{f_N}{f}\right)$$

Donde, V_N = tensión nominal
 f_N = frecuencia nominal

Valores recomendados de ajuste

El grado de sobreflujo queda definido por la relación entre el flujo de saturación (B_S) y el flujo nominal (B_N). El valor permitido de la relación B_S / B_N es 1.1, por lo tanto un valor recomendado para ajustar la protección está entre 1.2 y 1.4.(Armendáriz & Néqiz, 2009)

Característica de operación

Una forma establecida para que la protección de sobreflujo opere se basa en utilizar una característica de tiempo definido o llamada también IDMT.

Arranque de la protección

El arranque de la protección se da cuando se sobrepasa el umbral establecido de V/f .

Modos de operación

La función de sobreflujo brinda la posibilidad de actuar tanto en alarma como disparo, utilizando las etapas de tiempo retardo como las de tiempo definido.(Armendáriz & Néqiz, 2009)

2.7. Vulnerabilidad en los SEP

2.7.1. Fallo en equipos de protección

2.7.1.1. Introducción

La estructura de un sistema de protección eléctrica debe ser tal que impida que el fallo de cualquiera de los elementos de protección no deje vulnerable al SEP y que genere consecuencias indeseables.

2.7.1.2. Consideraciones técnico-económicas

Desde un punto de vista técnico es aconsejable utilizar equipos de protección de respaldo ante el posible fallo de equipos de protección principal. Pero a su vez, si se los analiza desde un punto de vista económico es inviable la utilización de equipos

de respaldo cuando en base a la experiencia se conozca que la probabilidad de fallo es mínima, pero cuando exista una alta probabilidad de fallo se vuelve imprescindible contar con un sistema de respaldo.

2.7.1.3. Estrategias para suplir la falla en un equipo de protección

Ante el caso de que los dispositivos de protección no actúen correctamente debido a una falla o mala calibración de los mismos, el ingeniero de protecciones debe garantizar que una segunda opción esté lista a suplir al dispositivo con falla; a partir de esta necesidad se definen dos niveles de protección:

- Protección primaria
- Protección de respaldo

2.7.2. Zona de protección

2.7.2.1. Definición

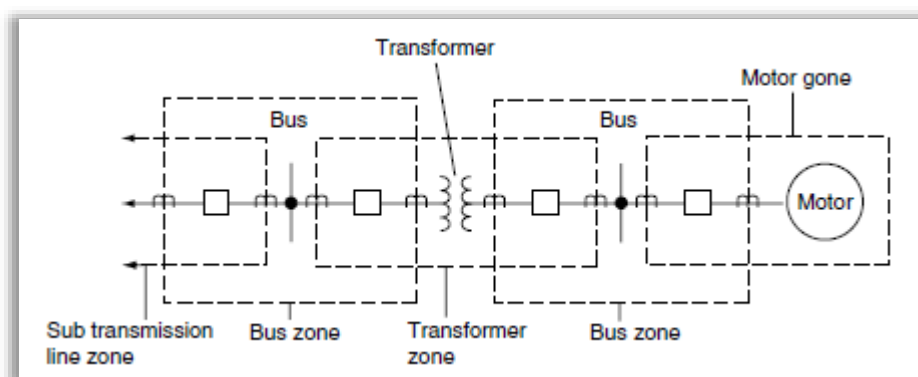
La zona de protección se define como el área en torno a un elemento importante del sistema eléctrico de potencia donde por medio de un dispositivo de protección se garantiza la detección de anomalías y se ejecutan acciones para evitar daños y garantizar la continuidad del servicio eléctrico (Imagen 2).

2.7.2.2. Fallas en la zona de protección

Cuando se presenta una falla dentro de alguna de las zonas de protección inmediatamente actúan los dispositivos de protección que sean parte de la zona fallada, de la siguiente manera:

- Detectar al elemento con falla mediante el sistema de protección.
- Iniciar el disparo de la mínima cantidad de interruptores necesarios para despejar la falla.
- Operar lo suficientemente rápido para mantener la estabilidad del sistema.

Imagen 2. Zonas de protección

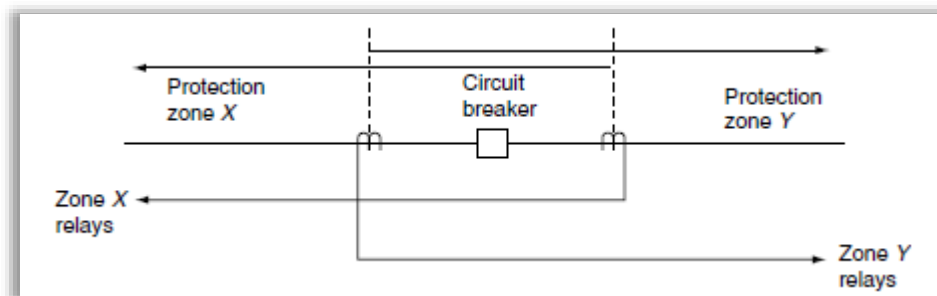


Fuente: (Blackburn & Domin, 2006)

2.7.2.3. Traslape

Para evitar que existan zonas muertas o no cubiertas se realiza el traslape entre zonas adyacentes. El traslape entre dos zonas se establece alrededor del interruptor común a ambas que sirve de separación entre los dos elementos contiguos correspondientes (Imagen 3).

Imagen 3. Traslape de zonas de protección



Fuente(Duarte & Cediél, 2006)

2.7.2.4. Protección primaria

Definición

La protección primaria es aquella que debe actuar o despejar la falla en primera instancia, aislando la mínima cantidad de elementos del sistema, buscando perturbar lo menos posible a la red, limitando el daño al equipo fallado y finalmente minimizando el riesgo a los equipos adyacentes.(Blackburn & Domin, 2006).

Cuando se producen o se originan fallas dentro de la zona de protección primaria debe actuar únicamente el interruptor perteneciente a esta zona.

2.7.2.5. Protección de respaldo

Definición

La protección de respaldo es aquella que tiene la responsabilidad de operar en segunda instancia para los casos en que las protecciones principales correspondientes fallen ante una situación anómala. El sistema se debe diseñar tal que las causas de falla de protección principal no afecten la normal operación de las protecciones de respaldo.(Blackburn & Domin, 2006).

El objetivo de las protecciones de respaldo es abrir todas las fuentes de alimentación de una falla no despejada del sistema.

Es necesario señalar que una misma protección puede desempeñar funciones de protección primaria para un determinado elemento y, al mismo tiempo funciones de protección de respaldo para otro elemento. Así mismo cuando las protecciones primarias se encuentran fuera de servicio debido a tareas de reparación o mantenimiento las protecciones de respaldo correspondientes se convierten en protección primaria frente a las fallas que puedan producirse. (Blackburn & Domin, 2006).(Martín, 1987)

2.8. Subestaciones eléctricas

Es el conjunto de elementos que forman parte del sistema de potencia, teniendo como objetivos: lograr evacuar la energía producida en los centros de generación y proveer a las empresas de distribución del suministro eléctrico, esto lo realiza transformando tensiones y derivando circuitos de potencia.(Martín, 1987)

2.8.1. Tipos de subestaciones

Según (Martín, 1987), las subestaciones eléctricas se pueden agrupar según el tipo de función que desarrollan, en tres grupos:

- Subestaciones variadoras de tensión.
- Subestaciones de maniobra o seccionadoras de circuito.
- Subestaciones mixtas (mezcla de las anteriores).

Según la potencia y tensión que maneja la subestación, se pueden agrupar en:

- Subestaciones de transmisión: Tensión desde 230 KV.
- Subestaciones de subtransmisión: Entre 230 y 115 KV.
- Subestaciones de distribución primaria: Entre 115 y 23 KV.
- Subestaciones de distribución secundaria: Menores de 23 KV.

A las subestaciones se las conoce como elevadoras, cuando mediante un transformador de poder se incrementa el nivel de tensión y se las denomina subestaciones reductoras cuando el nivel de tensión disminuye.

2.9. Transformadores de corriente

2.9.1. Definición

Se conoce como transformador de corriente o intensidad al equipo cuya función principal consiste en modificar magnitudes de corriente, pasando de valores elevados a otros más bajos. También son empleados para proveer aislamiento eléctrico entre los equipos de medición y/o protección y los circuitos de alta tensión. A los transformadores de corriente se los denomina también por la abreviación TC.(Duarte & Cediel, 2006).

2.9.2. Uso del TC

Las magnitudes de corriente pequeñas que se obtienen del secundario del transformador de corriente son empleadas en alimentar: instrumentos de medición y/o protección, como es el caso de amperímetros, vatímetros, relés de protección, etc. (Duarte & Cediel, 2006).

2.9.3. Funcionamiento

Los transformadores se conectan en su lado primario en serie con el conductor por el que circula la corriente que quiere ser medida, la corriente del lado primario es transformada al secundario utilizando la relación de transformación.

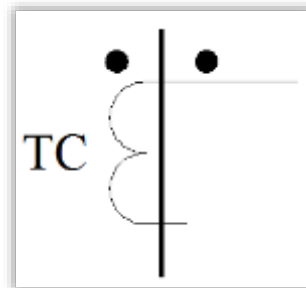
2.9.4. Relación de transformación del TC

La relación de transformación del TC se define según la siguiente ecuación:(Duarte & Cediel, 2006)

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_S}{I_P} = K_n(1)$$

Ecuación 1: Ecuación que representa la relación de transformación del transformador de corriente, (Duarte & Cediél, 2006)

Imagen 4: Representación de un Transformador de Corriente (TC) en un diagrama unifilar



Fuente: Los autores

En la figura 1 se muestra la representación de un transformador de corriente en un diagrama unifilar, se puede apreciar los puntos de polaridad del lado primario y del lado secundario.

2.9.5. Clasificación de los transformadores de corriente

Según (Concha), los tipos de transformadores de corriente son:

- **Tipo primario devanado:** Consta de dos devanados primarios y secundarios totalmente aislados y montados permanentemente sobre el circuito magnético.
- **Tipo barra:** Es similar al tipo primario devanado, excepto en que el primario es un solo conductor recto de tipo barra.
- **Tipo toroide (ventana):** Tiene un devanado secundario totalmente aislado y montado permanentemente sobre el circuito magnético y una ventana a través de la cual puede hacerse pasar un conductor que proporciona el devanado primario.
- **Tipo para bornes:** Es un tipo especial toroide proyectado para colocarse en los bornes aislados de los aparatos, actuando el conductor del borne como devanado primario.

Otra clasificación de los transformadores de corriente se realiza de acuerdo con el aislamiento principal usado, como: tipo seco, rellenos de compuestos, moldeados o en baño de líquido.

Corrientes primarias y secundarias de los transformadores de corriente

Según (Concha), las corrientes primaria y secundaria de un transformador de corriente deben estar normalizadas de acuerdo con cualquiera de las normas nacionales o internacionales en uso sean estas IEC o ANSI.

- **Corriente primaria.** El valor debe ser calculado. Para esta magnitud se selecciona el valor normalizado inmediato superior de la corriente calculada para la instalación. Para estaciones de potencia, los valores normalizados son: 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1.200, 1.500, 2.000 y 4.000 amperes.
- **Corriente secundaria.** Valores normalizados de 5 A ó 1 A, dependiendo su elección de las características del proyecto.

2.9.6. Posibles fuentes de error en la medición

2.9.6.1. Errores debido a la conexión

Para que la información proveniente de los equipos de medición llegue correctamente al relé de protección es necesario que se respeten las conexiones de acuerdo con los sentidos de polaridad marcados en los terminales del transformador de medida.

2.9.6.2. Errores debido a la clase de precisión

La información que entregan los equipos de medición es afectada por un determinado error debido a la clase de precisión, esto es, mientras menor sea el valor de la clase de precisión del transformador de medición, menor será el error insertado y mayor será la exactitud.

2.10. Transformadores de potencial

2.10.1. Definición

El transformador de potencial es un equipo que tiene como función principal modificar magnitudes de tensión, reduciendo valores muy elevados a valores más bajos. También son empleados para proveer aislamiento eléctrico entre los equipos de medición y protección y los circuitos de alta tensión. A los transformadores de potencial se los denomina también por la abreviación TP.(Duarte & Cediél, 2006)

2.10.2. Uso del TP

Las magnitudes de tensión pequeñas que se obtienen del secundario del transformador de potencial son empleadas en alimentar: instrumentos de medición y/o protección, como es el caso de voltímetros, frecuencímetros, relés de protección, etc. (Duarte & Cediel, 2006)

2.10.3. Funcionamiento

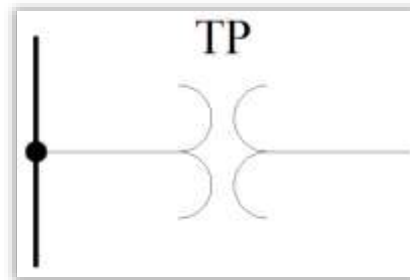
Los transformadores de potencial tienen el mismo principio de funcionamiento que los transformadores de poder. El devanado primario se conecta en paralelo con el circuito de alta tensión y el secundario también en paralelo con la bobina de tensión del dispositivo de medición o protección. (Duarte & Cediel, 2006)

2.10.4. Relación de transformación del TP

$$\frac{V_1}{V_2} = A \quad (2)$$

Ecuación 2: Ecuación que representa la relación de transformación del transformador de potencial, (Duarte & Cediel, 2006)

Imagen 5: Representación de un Transformador de Potencial (TP) en un diagrama unifilar



Fuente: Los autores

2.10.5. Tensión secundaria normalizada

Típicamente la tensión secundaria de los transformadores de potencial está normalizada en 120V, aunque esto puede variar según las características de los equipos de medición y control.

2.10.6. Clasificación de los transformadores de potencial

Los transformadores de potencial pueden clasificarse en base a la cantidad de fases en:

- **Monofásicos:** Formado por dos devanados arrollados sobre un mismo núcleo de hierro de tipo cerrado.
- **Trifásicos:** Habitualmente se encuentran núcleos de tres columnas, sobre cada columna se disponen los devanados primarios y secundarios de cada fase.

También se puede clasificar a los transformadores de potencial según el tipo de núcleo en:

- **Acorazados:** Formado por dos columnas a través de las cuales se logra cerrar el circuito magnético. Presenta como ventaja el reducir el flujo de dispersión. Se lo emplea en transformadores monofásicos.
- **Columnas:** Puede formarse por tres columnas que cierran el circuito magnético sobre las cuales se reparten los devanados primarios y secundarios.

2.10.7. Criterios para seleccionar un TP

A la hora de seleccionar un transformador de potencial es importante tener en consideración las siguientes especificaciones:

- Potencia de que se va a requerir del transformador: en función de la carga conectada, indicada en VA (voltios-amperios).
- Ambiente donde se instalará: el uso es en interiores o en exteriores.
- Clase de Precisión.
- Número de devanados: generalmente se emplea un primario y un secundario, aunque también se puede definir más de un devanado secundario.
- Características del dieléctrico
- Relación de Transformación
- Tolerancia

2.10.8. Posibles fuentes de error en la medición

Al igual que en los transformadores de corriente se pueden tener errores debido a las conexiones de los devanados y por la clase de precisión.

2.11. Relé de protección

2.11.1. Definición

Según (Gers, 1993), el relé de protección es un dispositivo que garantiza la continuidad del servicio y limita daños en los equipos y al personal ante las condiciones anormales que se pudieran presentar, como es el caso de los efectos destructivos de una falla, debido a esto son considerados de gran importancia en los sistemas eléctricos de potencia.

2.11.2. Funcionamiento

Los relés de protección reciben las señales de campo (provenientes principalmente de los TC y TP) y con ellas realiza varias funciones como lo son: protección, control, medición y monitoreo constante de las condiciones del sistema eléctrico. A través de las funciones que realiza logra detectar condiciones de operación normal o condiciones intolerables dentro del área de protección designada. Si las condiciones detectadas son inadmisibles ordena la rápida desconexión del equipo que ha fallado.

2.11.3. Evolución a través de la historia

La implementación de nuevas tecnologías ha permitido la migración de los relés sobre todo en los años recientes. En los inicios se contaba con los de tipo electromecánico, luego aparecieron los de estado sólido hasta llegar a los relés digitales en la actualidad.

2.11.3.1. Relé electromecánico:

Es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

2.11.3.2. Relé de estado sólido:

Es un dispositivo electrónico, cuya principal característica es su alta frecuencia de operación; y que las cantidades medidas son manipuladas en forma análoga y convertida subsecuentemente en forma binaria.

2.11.3.3. Relé digital:

Inicios

Los relés digitales forman parte de la quinta generación de relevadores los cuales nacieron en los años noventa a partir del uso de los microprocesadores.

Ventajas

El uso de los circuitos microprocesados en los relés implica que se pueden agrupar en ellos varias funciones de protección en un solo dispositivo, reduciendo significativamente las dimensiones, también se tienen ventajas en la velocidad de operación.

Funcionamiento

Es un dispositivo que convierte en datos numéricos o discretos las señales analógicas que son tomadas del sistema de potencia a través de los transductores (TP's y TC's). Las cantidades medidas son analizadas por los microprocesadores que forman el relé, en el microprocesador se realizan operaciones matemáticas y/o lógicas cuyos resultados son procesados para tomar decisiones de disparo.

Clasificación de los relés de protecciones:

Según (Gers, 1993), los relés de protección se pueden clasificar de diversas formas:

Clasificación de los relés de protección			
<u>Función</u>	<u>Entradas</u>	<u>Principio de operación</u>	<u>Características de actuación</u>
• Protección	• Corriente	• Balance de corriente	• Distancia
• Monitoreo	• Voltaje	• Monitoreo	• Sobrecorriente
• Recierre	• Potencia	• Recierre	• Direccional
• Regulación	• Presión	• Auxiliar	• Tiempo inverso
• Auxiliar	• Frecuencia	• Sincronización	• Bajo Voltaje
• Sincronización	• Flujo		• Piloto
	• Temperatura		
	• Vibración		

2.11.4. Protecciones internas de los relés de protección.

Los Relés de Protección eléctrica tienen la capacidad de poder configurar varios tipos de protecciones de acuerdo a cada tipo de falla, sea esta interna o externa al transformador.

2.11.4.1. Función de protección sobrecorriente (50-51)

La protección 50-51 es aquella que actúa ante sobrecorrientes ya sea de forma instantánea o temporizada, cuyas características son:

- Difíciles de coordinar, poco selectivos.
- Se utilizan como protección de respaldo en transformadores de potencia.
- Necesidad de cambios de ajuste al cambiar la configuración del sistema o la corriente de carga.

Esta protección se la utiliza para fallas externas al transformador que generen sobrecorriente en los devanados del mismo.

2.11.4.2. Función de protección diferencial de transformador (87T)

Es un relé que opera cuando el vector diferencia entre dos o más cantidades eléctricas similares, excede un valor predeterminado y compara las corrientes de entrada y de salida del elemento protegido, cuyas características son:

- Opera abriendo los interruptores en ambos extremos del elemento protegido.
- Sirve para proteger contra fallas internas en el transformador.

Aspectos influyentes en la operación incorrecta del relé diferencial:

- Niveles de tensión diferentes.
- Desfasamiento de 30 grados entre las señales de entrada y salida.
- Corriente inicial de magnetización.
- La protección diferencial siempre se activa cuando detecta fallas dentro del sistema que está protegiendo.

Esta Protección se la utiliza para proteger contra fallas internas en el transformador, muchas veces trabaja de respaldo a las protecciones mecánicas que tenga el equipo.

2.11.4.3. Función de protección de temperatura o térmico (49)

Estos dispositivos son termómetros acondicionados con micros interruptores para mandar señales de alarma de disparo para la desconexión de carga o para arrancar ventiladores.

Los valores de Temperatura que son considerados en esta protección están en función del valor de corriente que circule por los devanados del equipo a proteger

2.11.4.4. Función de protección de sobre excitación (24)

Esta Protección actúa cuando se presentan Sobre Tensiones en un sistema eléctrico, donde el caso más común es una salida de carga intempestiva, las cuales exigen al transformador un flujo magnético excesivo dando como consecuencia el acorte del tiempo de vida útil del transformador.

El relé funciona cuando la relación V/Hz (Tensión/Frecuencia) excede un valor pre ajustado. La función de protección puede tener una característica de disparo temporizada o instantánea.

2.12. Transformador de potencia

2.12.1. Introducción

Los transformadores de poder son uno de los elementos que mayor relevancia tienen en los sistemas eléctricos de potencia. Se los encuentra en las diversas subestaciones que se encuentran a lo largo de la gran red eléctrica y de los circuitos industriales. Debido a gran su importancia es necesario contar con un sistema que provee protección ante fallas internas y externas.(Martín, 1987).

2.12.2. Definición

El transformador es una máquina eléctrica que no tiene partes móviles, es decir se le denomina estacionaria, tiene la función de transferir la energía eléctrica desde un circuito de corriente alterna a otro, bajo el principio de inducción electromagnética. Esta transferencia la realiza mediante el cambio de las magnitudes de tensión y corriente manteniendo su naturaleza. Específicamente se denomina transformador de potencia cuando la transferencia de energía se realiza desde un circuito de alta

tensión y débil intensidad a otro de baja tensión y gran intensidad, o viceversa.(Martín, 1987).

2.13. Interruptor automático

Según (Martín, 1987), el interruptor automático es el elemento que permite abrir o cerrar un circuito en tensión, interrumpiendo o estableciendo una circulación de corriente. Su operación se encuentra bajo el control del relé de protección, y la lógica de apertura es coordinada junto con otros interruptores a fin de lograr aislar el punto donde se encuentra la falla. El interruptor automático se encuentra formado por:

2.13.1. Circuito de control:

El circuito de control es el encargado de recibir las órdenes de la protección, para comandar la apertura o cierre de los contactos principales.

2.13.2. Contactos principales:

Los contactos principales son los que mediante el cambio en su estado, realizan la apertura y cierre del interruptor.(Martín, 1987).

2.13.3. Contactos auxiliares:

Los contactos auxiliares suministran la información sobre el estado del interruptor, son usados para retroalimentar a los relés y otros equipos indicando si los interruptores actuaron correctamente según las órdenes dadas por la protección.(Martín, 1987).

2.13.4. Cámara de extinción:

La cámara de extinción es la encargada de favorecer la extinción del arco producido por la separación de los contactos del interruptor que se encuentran dentro de ella. Actualmente se utilizan mayormente el aceite y el hexafluoruro de azufre (SF₆) como medios dieléctricos.

Los interruptores inmediatamente luego de que los relés envíen la orden de apertura, se produzca la separación de los contactos principales, pero esto no es suficiente para cortar el flujo de corriente en los circuitos ya que mientras se produce la separación de los contactos principales se genera un arco eléctrico el cual mantiene la

continuidad del servicio hasta que produzca un cruce de la corriente por cero, pero si en este instante los contactos no se encuentran lo suficientemente separados la tensión entre ellos reanuda el arco hasta que se produzca un cruce por cero y se tenga la separación ideal de los contactos. Se estima como normal que la apertura definitiva de los contactos se dé luego de al menos tres cruces por cero.(Martín, 1987).

2.14. Cuchillas seccionadoras

Según (Martín, 1987), las cuchillas seccionadoras son los interruptores de una subestación, diseñados para operar sin carga. Generalmente se la utiliza para que el operador pueda tener una confirmación visual de la maniobra de desconexión y se puedan prevenir cualquier clase de daños debido a falsas aperturas de los interruptores automáticos.

2.15. Pararrayos

El pararrayo es un instrumento cuya función principal es atraer los rayos atmosféricos en una determinada área de protección y descargarlos a tierra para evitar así que éstos caigan sobre los equipos ya sea de las subestaciones o de las líneas de transmisión provocando daños severos.

2.16. Baterías de Alimentación

Según (Martín, 1987), la batería de alimentación es el elemento que garantiza la continuidad del suministro de la energía necesaria para el funcionamiento de los equipos de protección. Los equipos de protección no deben alimentarse directamente desde la subestación, ya que en caso de producirse una falla que deje sin energía a la subestación quedaría inhabilitada las protecciones, las cuales están instaladas para que actúen precisamente ante situaciones de falla.

Por lo tanto los equipos de protección deben estar en la capacidad de operar con total autonomía sin depender de fuentes externas, para lograr esto se utiliza una fuente de corriente continua la cual se encuentra constantemente conectada a un cargador que es alimentado desde los circuitos auxiliares de corriente alterna de la subestación,

generalmente las baterías de corriente continua le proveen de autonomía durante un periodo de 10 a 12 horas a los equipos de protección.

2.17. Grandes consumidores eléctricos

Según (CONELEC - 001/06) ,un Gran Consumidor es una persona natural o jurídica sujeto de derechos y obligaciones, que debe cumplir los requisitos de potencia y demanda para los períodos que establezca el ente regulador, además éste se encuentra facultado como agente para realizar transacciones comerciales en el MEM.

El Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) es el ámbito donde se realizan transacciones y acuerdos mercantiles entre compradores y vendedores donde el producto es la electricidad, quienes se encuentran facultados para intervenir en el MEM reciben el nombre de agentes.

2.17.1. Calificación como gran consumidor

Según (CONELEC - 001/06), la calificación como Gran Consumidor debe realizarse ante el Consejo Nacional de Electricidad – CONELEC –, previa presentación de información relacionada con el sistema de medición, la demanda, el consumo y el saneamiento de las deudas pendientes, las cuales deberán estar debidamente certificadas por la empresa que le hubiere suministrado el servicio de energía eléctrica actualizado a la fecha en que se solicite la calificación.

2.17.2. Requisitos para calificar como gran consumidor

Según (CONELEC - 001/06) , los principales requisitos para ser considerado como gran consumidor son:

- Registrar un valor de demanda máxima mensual igual o mayor a 650 KW, durante los seis meses anteriores al de la solicitud para la calificación.
- Registrar un consumo de energía mínimo anual de 4500 MWh en los doce meses anteriores al de la solicitud.
- Debe utilizar la energía eléctrica exclusivamente para su consumo.
- No debe realizar reventa o comercializar la energía eléctrica.

- Las instalaciones pueden estar en diferentes sitios, pero dentro del área de concesión de una misma Distribuidora.
- En el caso de parques industriales que figuren como persona jurídica y cuyas instalaciones estén concentradas en un solo sitio pueden ser reconocidos como Gran Consumidor.
- Se debe contar con un sistema de medición comercial que puede pertenecer al consumidor o al proveedor del servicio eléctrico.
- Estar al día en los pagos.

2.17.3. Listado de grandes consumidores

De acuerdo al listado publicado el 15 de Noviembre de 2012, únicamente 12 de los Grandes Consumidores se encuentran con su calificación vigente:

Imagen 6: Registro de Grandes Consumidores

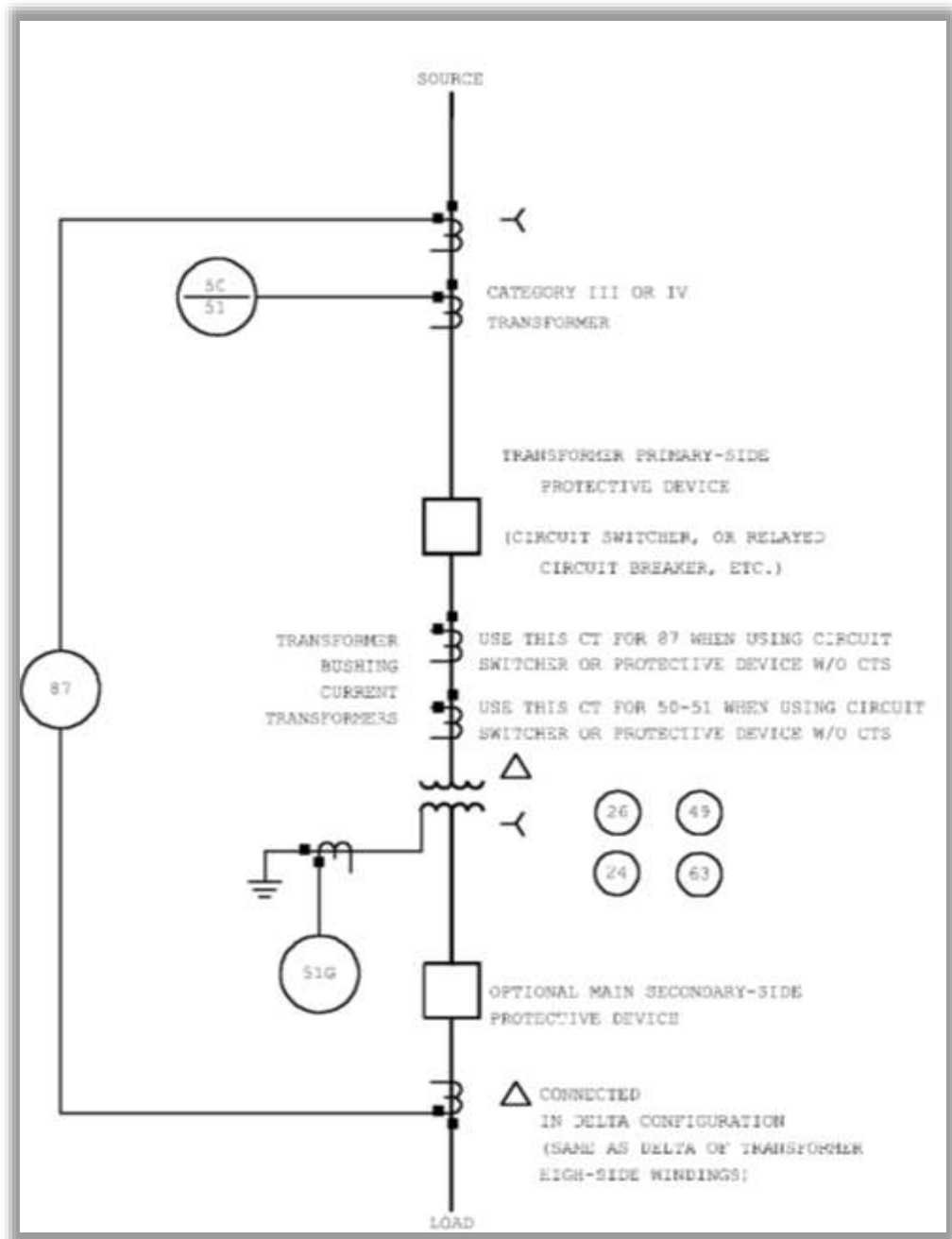
REGISTRO DE GRANDES CONSUMIDORES					
FECHA DE ACTUALIZACIÓN: 15 de noviembre de 2012					
K-002	Aglomerados Cotopaxi S.A.	AGLOMERADOS COTOPAXI	08-oct-99	05-mar-13	Cotopaxi
K-010	Negocios Internacionales Real S.A.	NIRSA	12-oct-00	Calificación sin vigencia desde el 12-oct-2010. VIGENCIA ACTUAL DE LA CALIFICACIÓN 24-mar-2011 hasta el 31-mar-2011.	CNEL Regional Santa Elena
K-020	Cristalería del Ecuador S.A.	CRIDESA	12-oct-01	Calificación sin vigencia desde el 04-marzo-2010. VIGENCIA ACTUAL DE LA CALIFICACIÓN 01-agosto-2012 hasta el 01-septiembre-2014.	Eléctrica de Guayaquil
K-026	Holcim Ecuador S.A., Planta San Rafael	HOLCIM CEMENTOS - San Rafael	27-ago-02	12-oct-13	Cotopaxi
K-035	Novopan del Ecuador S.A.	NOVOPAN	14-abr-03	14-abr-13	Quito
K-041	Productos Familia Sancela del Ecuador S.A.	PRODUCTOS FAMILIA SANCELA	08-ago-03	08-ago-13	Cotopaxi
K-051	Industrial Danec S.A.	DANEC	09-feb-04	12-abr-14	Quito
K-053	Sociedad Aceroala e Industrial San Carlos	SAN CARLOS	10-feb-04	16-jul-14	CNEL Regional Milagro
K-055	Tejidos Pintex S.A.	PINTEX	25-feb-04	Calificación sin vigencia desde el 25 de feb de 2010 VIGENCIA ACTUAL DE LA CALIFICACIÓN 14-dic-2010 hasta el 14-dic-2012	Quito
K-063	Ecuodos S.A.	EQUODOS	20-abr-04	20-abr-14	CNEL Regional Milagro
K-065	Plásticos del Litoral S.A.	PLASLIT	05-may-04	05-may-14	Eléctrica de Guayaquil
K-066	Novacero Aceropaxi	NOVACERO	25-may-04	25-may-13	Cotopaxi
K-072	Plastiguayas CIA. LTDA.	PLASTIGUAYAS CIA. LTDA.	14-dic-04	Calificación sin vigencia desde el 14 de diciembre de 2010 VIGENCIA ACTUAL DE LA CALIFICACIÓN 17-may-2011 hasta el 17-mayo-2013.	Eléctrica de Guayaquil
K-074	Sálca del Ecuador S.A.	SALCA	10-ene-05	07-may-14	CNEL Regional Santa Elena
K-096	Producargo S.A.	PRODUCARGO	23-nov-05	Calificación sin vigencia desde el 23 de nov de 2010 VIGENCIA ACTUAL DE LA CALIFICACIÓN 04-jun-2013 hasta el 04-junio-2015.	CNEL Regional Milagro
K-113	Gsis S.A.	GISIS S.A.	04-ene-07	Calificación sin vigencia desde el 04 de enero de 2010 VIGENCIA ACTUAL DE LA CALIFICACIÓN 23-feb-2011 hasta el 23-febr-2013.	Eléctrica de Guayaquil
K-126	SWISSGAS	SWISSGAS DEL ECUADOR S.A.			CNEL Guayas - Los Ríos
NÚMERO TOTAL DE GRANDES CONSUMIDORES QUE FUERON APROBADOS Y QUE A LA FECHA TIENEN SU CALIFICACIÓN VIGENTE					= 12

Fuente: (CONELEC, 2013)

2.18. Esquema de protecciones sugerido para transformador de poder

En la imagen 7 se muestra el diagrama de protecciones sugerido por la IEEE en el estándar (IEEE Std C37.91-2000), la recomendación sugiere emplear protecciones mecánicas y eléctricas.

Imagen 7: Diagrama de protecciones para transformadores de poder



Fuente: (IEEE Std C37.91-2000)

2.19. Estudio de Cortocircuito

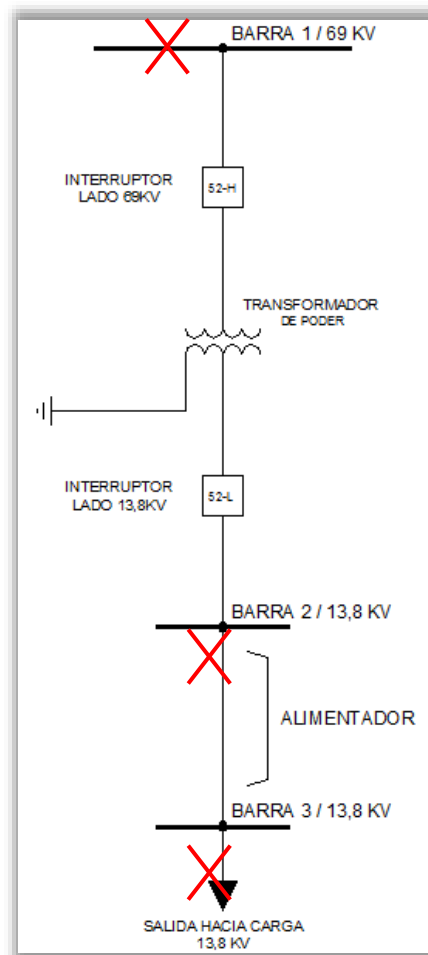
Objetivo del estudio:

- Determinar las corrientes de falla monofásica de línea a tierra y trifásica de línea-línea en las barras 1, 2 y 3 para condiciones de máxima y mínima generación.

La Imagen8 muestra el diagrama unifilar para el estudio de corrientes cortocircuito monofásico de línea a tierra y trifásico de línea-línea-línea en las barras 1, 2 y 3 para condiciones de máxima generación y mínima generación.

El desarrollo matemático se basó en las ecuaciones enunciadas por (Gers, 1993).

Imagen 8: Diagrama unifilar del proyecto



Fuente: Los autores

La tabla 2 muestra los datos de placa de los elementos más relevantes del sistema propuesto.

La potencia de cortocircuito es la energía que la red eléctrica puede entregar en el momento de una falla eléctrica. Los datos de potencia de cortocircuito son importantes ya que proveen la información necesaria a los sistemas de protecciones a fin de garantizar que ante estos escenarios críticos sus lógicas de operación actúen correctamente.

En la tabla 2 se enlistan los datos de potencias de cortocircuito que fueron tomados de un estudio realizado por la Empresa Eléctrica de Guayaquil en una de las barras donde entrega energía a un nivel de tensión de 69 KV.

Tabla 2: Datos del diagrama unifilar propuesto

Potencia de Cortocircuito en la Barra 1			
Máxima Generación		Mínima Generación	
Falla monofásica (LG)	Falla trifásica (LLL)	Falla monofásica (LG)	Falla trifásica (LLL)
386 MVA	631 MVA	373 MVA	582 MVA
Equipo:			
Transformador de Poder			
Frecuencia:	60Hz	Fases:	3
Capacidad:	11,2 MVA	Impedancia:	7,34 %
Grupo vectorial:	Dyn1	Tensiones:	A.T.: 69KV / M.T: 13,8KV
Equipo:			
Alimentador			
Calibre:	3x350MCM	Aislamiento:	XLPE, 133%

Impedancia (Ω/km):	0.1820	Longitud:	1 km
Impedancia Cero (Ω/km):	0.3752		

Fuente: Los autores

Determinar:

1. Corriente de cortocircuito trifásica línea-línea-línea en máxima generación
2. Corriente de cortocircuito trifásica línea-línea-línea mínima generación
3. Corriente de cortocircuito monofásica línea-tierra máxima generación
4. Corriente de cortocircuito monofásica línea-tierra máxima generación

CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO TRIFÁSICA (LLL)

Valores base:

$$KV_{BASE} = 69 \text{ KV}$$

$$S_{BASE} = 11,2 \text{ MVA}$$

Valores base calculados:

$$Z_{BASE} = \frac{(69 \text{ KV})^2}{11,2 \text{ MVA}} = 425,08 \Omega$$

$$I_{BASE} = \frac{11,2 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 69 \text{ KV}} = 93,71 \text{ A}$$

MÁXIMA GENERACIÓN

Potencia de cortocircuito en barra de generación:

$$S_{sc} = 631 \text{ MVA}$$

Calcular:

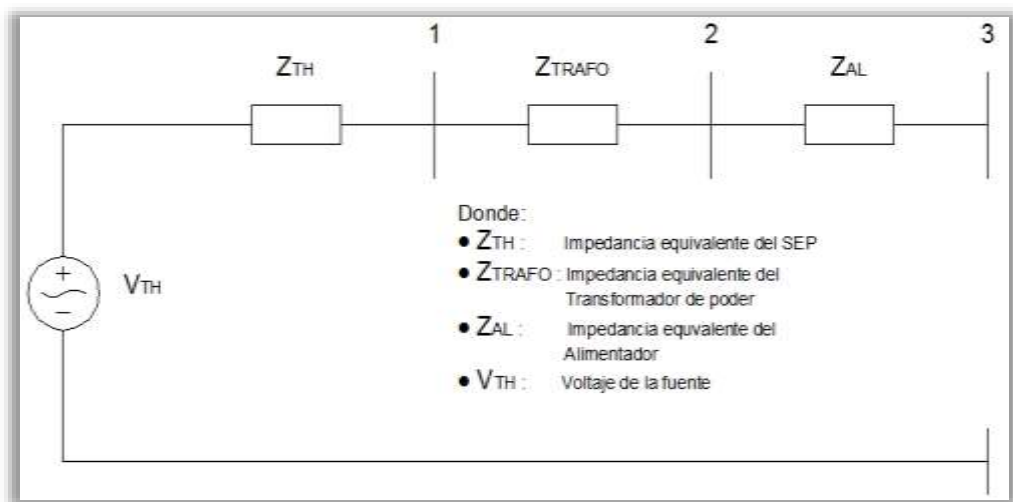
- Falla trifásica línea-Línea-Línea (LLL) en barra 1
- Falla trifásica línea-Línea-Línea (LLL) en barra 2

- Falla trifásica línea-Línea-Línea (LLL) en barra 3

Diagrama de impedancias equivalentes

La imagen 9 muestra el diagrama de impedancias de secuencia positiva equivalentes para el sistema de la imagen 8

Imagen 9: Diagrama de impedancias equivalentes de secuencia positiva del diagrama unifilar del proyecto en estudio



Fuente: Los autores

Valores de impedancias calculados:

Impedancia equivalente del SEP en la barra de generación:

$$Z_{TH} = \frac{(69 \text{ KV})^2}{631 \text{ MVA}} = 7,5451 \Omega$$

$$Z_{TH} = \frac{7,5451}{425,08} = 0,01771 \text{ p. u.}$$

$$V_{TH} = \frac{(69 \text{ KV} / \sqrt{3})}{(69 \text{ KV} / \sqrt{3})} = 1 \text{ p. u.}$$

Impedancia equivalente del transformador:

$$Z_{TRAFO} = 0,0734 \text{ p. u.}$$

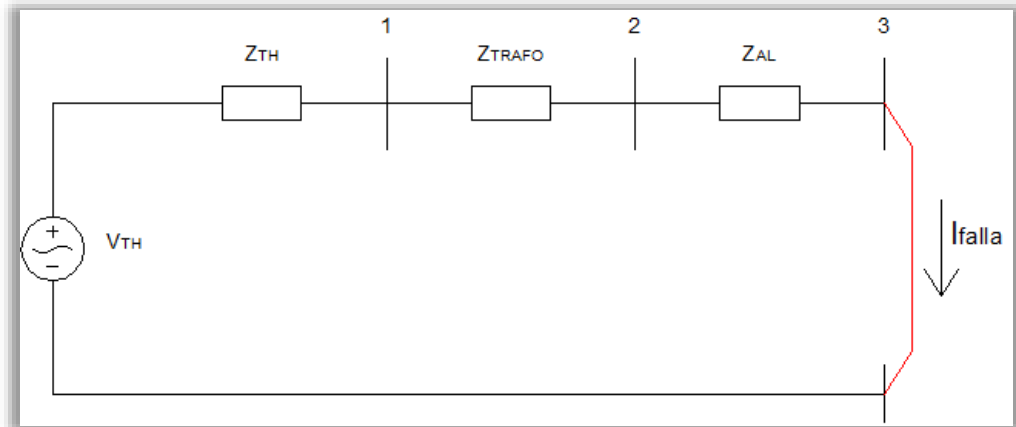
Impedancia equivalente del alimentador

$$Z_{AL} = 0,1820 \Omega$$

$$Z_{AL} = \frac{0,1820}{425,08} = 4,28 \times 10^{-4} \text{ p.u.}$$

Falla en barra 3:

Imagen 10: Diagrama de impedancias equivalentes para el análisis de falla trifásica en la barra 2



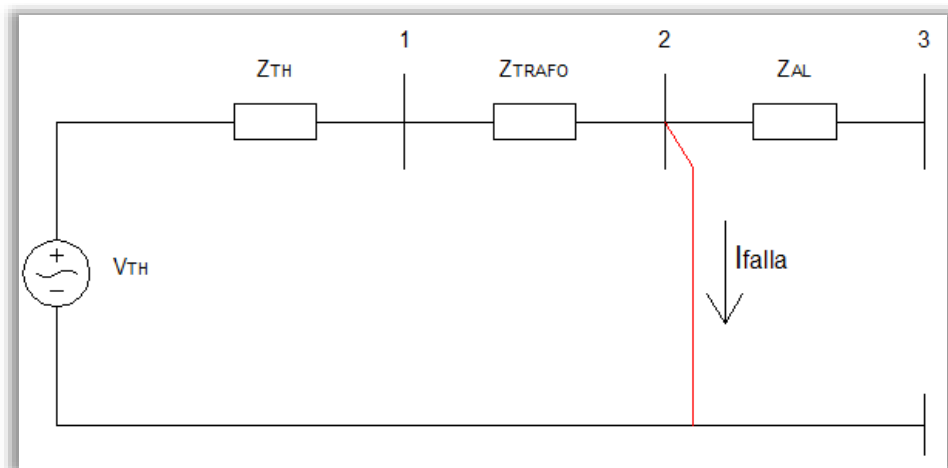
Fuente: Los autores

$$I_f = \frac{1}{0,0177 + 0,0734 + 4,28 \times 10^{-4}} = 10,92 \text{ p.u.}$$

$$I_f = (10,92)(93,7148) = 1.023,89 \text{ A}$$

Falla en barra 2:

Imagen 11: Diagrama de impedancias equivalentes para el análisis de falla trifásica en la barra 2



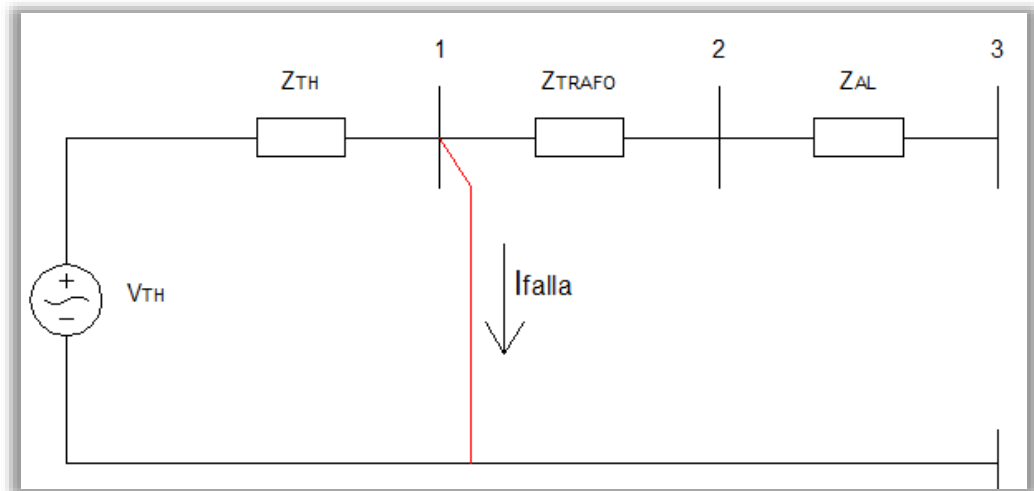
Fuente: los autores

$$I_f = \frac{1}{0,0177 + 0,0734} = 10,97 \text{ p.u.}$$

$$I_f = (10,97)(93,7148) = 1.028,70 \text{ A}$$

Falla en barra 1:

Imagen 12: Diagrama de impedancias equivalentes para el análisis de falla trifásica en la barra 1



Fuente: Los autores

$$I_f = \frac{1}{0,0177} = 56,4971 \text{ p. u.}$$

$$I_f = (56,4971)(93,7148) = 5.294,62 \text{ A}$$

CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO TRIFÁSICA (LLL)

MÍNIMA GENERACIÓN

Potencia de cortocircuito en barra de generación:

$$S_{sc} = 582 \text{ MVA}$$

Calcular:

- Falla trifásica línea-Línea-Línea (LLL) en barra 1
- Falla trifásica línea-Línea-Línea (LLL) en barra 2
- Falla trifásica línea-Línea-Línea (LLL) en barra 3

Diagrama de impedancias equivalentes

La imagen 9 muestra el diagrama de impedancias equivalentes para el sistema en estudio.

Valores de impedancias calculados:

Impedancia equivalente del SEP en la barra de generación:

$$Z_{TH} = \frac{(69 \text{ KV})^2}{582 \text{ MVA}} = 8,1804 \Omega$$

$$Z_{TH} = \frac{8,1804}{425,08} = 0,0192 \text{ p. u.}$$

$$V_{TH} = \frac{(69 \text{ KV} / \sqrt{3})}{(69 \text{ KV} / \sqrt{3})} = 1 \text{ p. u.}$$

Los valores de la Impedancia equivalente del transformador y del alimentador son los mismos que se calcularon para máxima generación.

Falla en barra 3:

La imagen 10 muestra el circuito equivalente para falla en barra 3

$$I_f = \frac{1}{0,0192 + 0,0734 + 4,28 \times 10^{-4}} = 10,74 \text{ p. u.}$$

$$I_f = (10,74)(93,7148) = 1.007,38 \text{ A}$$

Falla en barra 2:

La imagen 11 muestra el circuito equivalente para falla en barra 3

$$I_f = \frac{1}{0,0192 + 0,0734} = 10,79 \text{ p. u.}$$

$$I_f = (10,79)(93,7148) = 1.012,03 \text{ A}$$

Falla en barra 1:

La imagen 12 muestra el circuito equivalente para falla en barra 3

$$I_f = \frac{1}{0,0192} = 52,08 \text{ p. u.}$$

$$I_f = (52,08)(93,7148) = 4.880,97 \text{ A}$$

CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO MONOFÁSICA (LG)

MÁXIMA GENERACIÓN

Potencia de cortocircuito en barra de generación:

$$S_{sc} = 386 \text{ MVA}$$

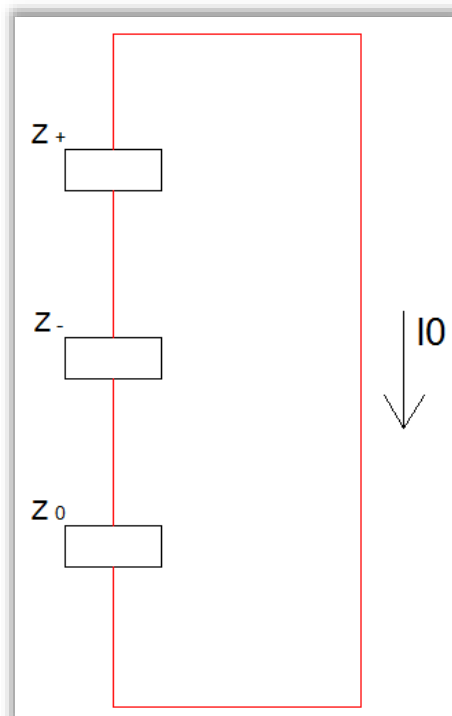
Calcular:

- Falla monofásica línea a tierra (LG) en barra 1
- Falla monofásica línea a tierra (LG) en barra 2
- Falla monofásica línea a tierra (LG) en barra 3

Red de secuencias

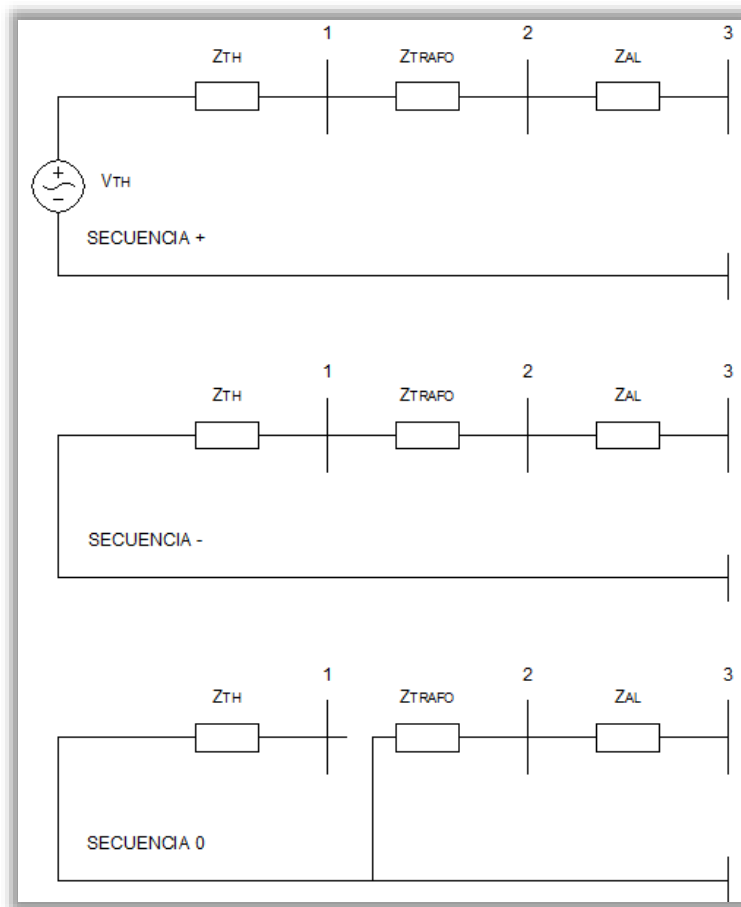
Plantear la red de secuencias positiva, negativa y cero en serie porque la falla es de línea a tierra. Ver la Imagen 13

Imagen 13: Red de secuencias para las fallas línea a tierra



Fuente: Los autores

Imagen 14: Redes de secuencias positiva, negativa y cero para el sistema de potencia en análisis



Fuente: Los autores

Aplicando el método de las componentes simétricas de la red de secuencias (ver imagen 13) se determina que la corriente de falla es:

$$I_{falla(LG)} = 3I_0$$

A partir del planteamiento de las redes de secuencia (ver imagen 14) calcular los valores de impedancias de cada elemento del sistema.

Valores de impedancias calculados:

- **Secuencia positiva y negativa:**

Impedancia equivalente del SEP en la barra de generación:

$$Z_{TH} = \frac{(69 \text{ KV})^2}{386 \text{ MVA}} = 12,33 \Omega$$

$$Z_{TH} = \frac{12,33}{425,08} = 0,0290 \text{ p. u.}$$

$$V_{TH} = \frac{(69 \text{ KV} / \sqrt{3})}{(69 \text{ KV} / \sqrt{3})} = 1 \text{ p. u.}$$

En la secuencia negativa no se incluye la fuente de tensión prefalla.

Impedancia equivalente del transformador:

$$Z_{TRAFO} = 0,0734 \text{ p. u.}$$

Impedancia equivalente del alimentador

$$Z_{AL} = 0,1820 \Omega$$

$$Z_{AL} = \frac{0,1820}{425,08} = 4,28 \times 10^{-4} \text{ p. u.}$$

- **Secuencia cero:**

Impedancia equivalente del SEP en la barra de generación:

$$Z_{TH} = \frac{(69 \text{ KV})^2}{386 \text{ MVA}} = 12,33 \Omega$$

$$Z_{TH} = \frac{12,33}{425,08} = 0,0290 \text{ p. u.}$$

Impedancia equivalente del transformador:

$$Z_{TRAFO} = 0,0734 \text{ p. u.}$$

Impedancia equivalente del alimentador

La impedancia en ohm/km del alimentador es 0,3752. Si el alimentador recorre una distancia de 1km, entonces la impedancia por fase es: 0,3752 ohm.

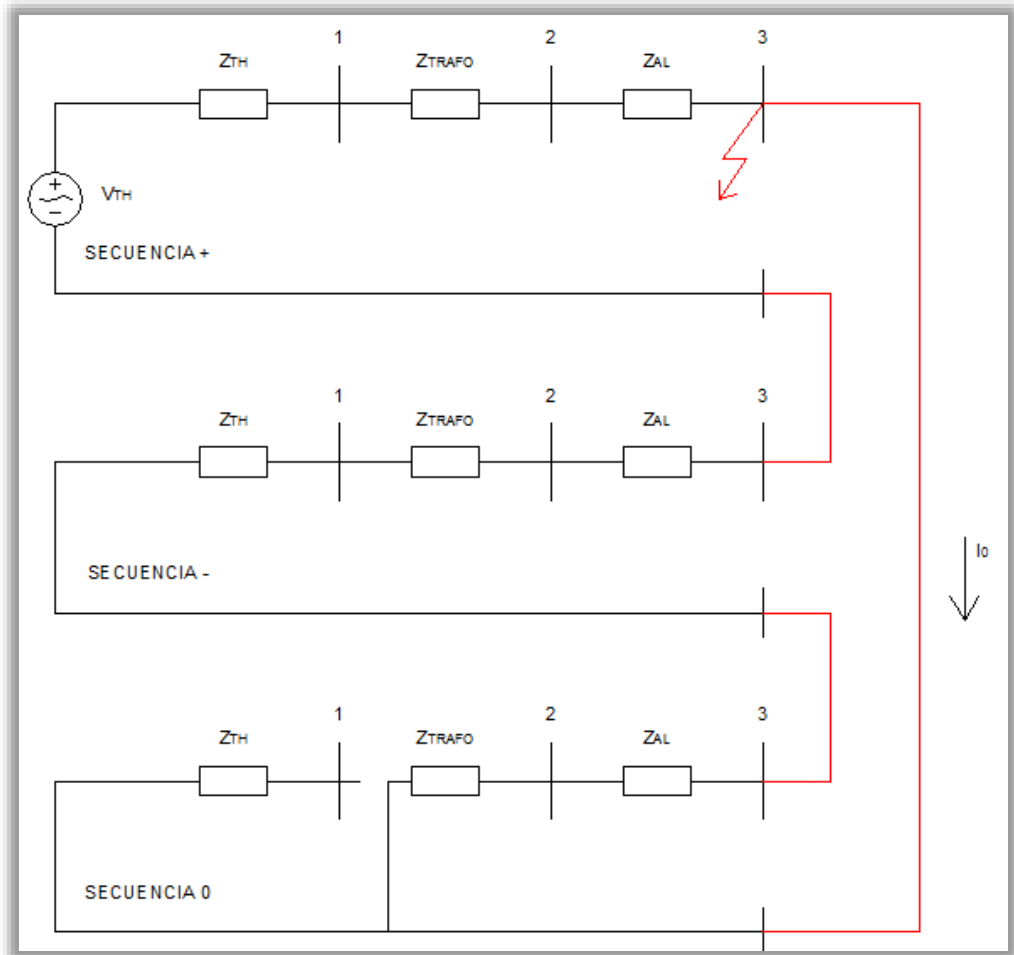
$$Z_{AL} = 0,3752 \Omega$$

$$Z_{AL} = \frac{0,3752}{425,08} = 8,82 \times 10^{-4} \text{ p. u.}$$

Falla en barra 3

El diagrama de secuencias queda como se muestra en la imagen 15 para el caso de análisis de falla en barra 3:

Imagen 15: Red de secuencia para análisis de falla línea a tierra en barra 3



Fuente: Los autores

Para el diagrama mostrado en la imagen 15 se calculan: la impedancia equivalente de secuencia positiva, negativa y el cero:

$$Z_+ = Z_{TH} + Z_{TRAFO} + Z_{AL} = 0,0290 + 0,0734 + 4,28 \times 10^{-4} = 0,1028 \text{ p.u.}$$

$$Z_- = Z_{TH} + Z_{TRAFO} + Z_{AL} = 0,0290 + 0,0734 + 4,28 \times 10^{-4} = 0,1028 \text{ p.u.}$$

$$Z_0 = Z_{TRAFO} + Z_{AL} = 0,0734 + 8,82 \times 10^{-4} = 0,0742 \text{ p.u.}$$

Corriente de I_0 :

$$I_0 = \frac{1}{z_+ + z_- + z_0} = 3,5739 \text{ p.u.}$$

Corriente de falla:

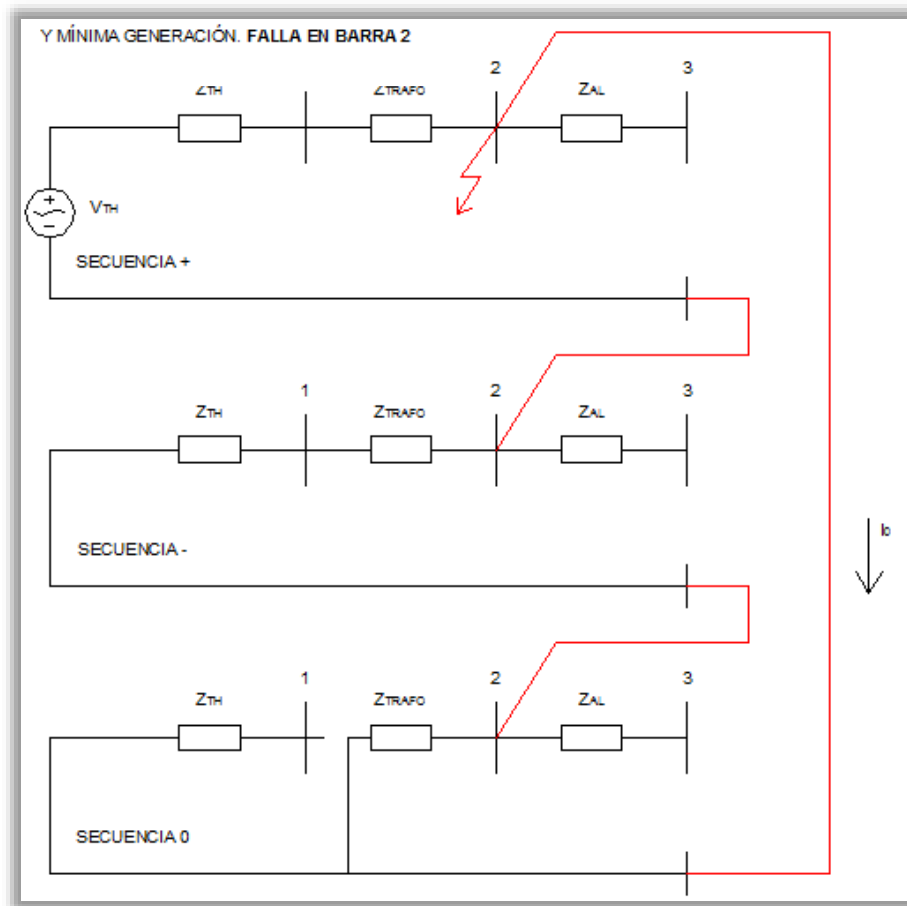
$$I_{falla} = 3I_0 = 10,7219 \text{ p.u.}$$

$$I_{falla} = 10,7219 \times 93,71 \text{ A} = 1.004,75 \text{ A}$$

Falla en barra 2

El diagrama de secuencias queda como se muestra en la imagen 16 para el caso de análisis de falla en barra 2:

Imagen 16: Red de secuencia para análisis de falla línea a tierra en barra 2



Fuente: Los autores

Para el diagrama mostrado en la imagen 16 se calculan la impedancia equivalente de secuencia positiva, negativa y el cero:

$$z_+ = z_{TH} + z_{TRAF0} = 0,0290 + 0,0734 = 0.1024 \text{ p.u.}$$

$$z_- = z_{TH} + z_{TRAFO} = 0,0290 + 0,0734 = 0,1024 p. u.$$

$$z_0 = z_{TRAFO} = 0,0734 = 0,0734 p. u.$$

Corriente de I_0 :

$$I_0 = \frac{1}{z_+ + z_- + z_0} = 3,5945 p. u.$$

Corriente de falla:

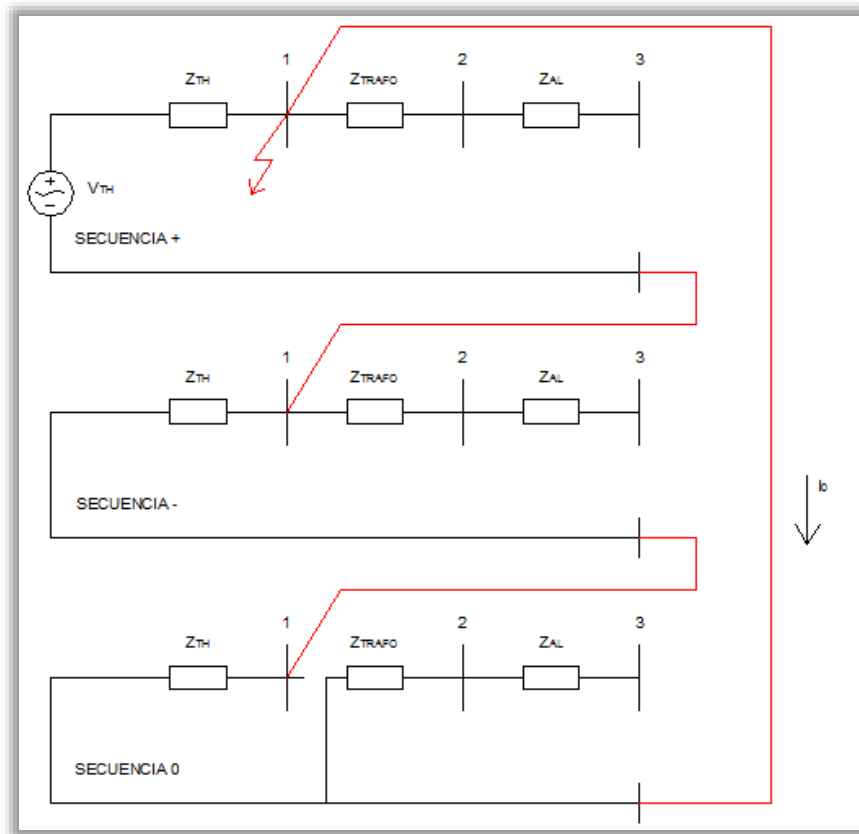
$$I_{falla} = 3I_0 = 10,7836 p. u.$$

$$I_{falla} = 10,7836 \times 93,71 A = 1.010,53 A$$

Falla en barra 1

El diagrama de secuencias queda como se muestra en la imagen 17 para el caso de análisis de falla en barra 1:

Imagen 17: Red de secuencia para análisis de falla línea a tierra en barra 1



Fuente: Los autores

Para el diagrama mostrado en la imagen 17 se calculan la impedancia equivalente de secuencia positiva, negativa y el cero:

$$z_+ = z_{TH} = 0,0290 = 0.0290 p. u.$$

$$z_- = z_{TH} = 0,0290 = 0.0290 p. u.$$

$$z_0 = z_{TH} = 0,0290 = 0.0290 p. u.$$

Corriente de I_0 :

$$I_0 = \frac{1}{z_+ + z_- + z_0} = 11,4942 p. u.$$

Corriente de falla:

$$I_{falla} = 3I_0 = 34,4827 p. u.$$

$$I_{falla} = 34,4827 \times 93,71 A = 3.231,37 A$$

CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO MONOFÁSICA (LG)

MÍNIMA GENERACIÓN

Potencia de cortocircuito en barra de generación:

$$S_{sc} = 373 MVA$$

Calcular:

- Falla monofásica línea a tierra (LG) en barra 1
- Falla monofásica línea a tierra (LG) en barra 2
- Falla monofásica línea a tierra (LG) en barra 3

Red de secuencias

Plantear la red de secuencias positiva, negativa y cero en serie porque la falla es de línea a tierra. Ver la imagen 13

A partir del planteamiento de las redes de secuencia (imagen 14) calcular los valores de impedancias de cada elemento del sistema.

Valores de impedancias calculados:

- **Secuencia positiva y negativa:**

Impedancia equivalente del SEP en la barra de generación:

$$Z_{TH} = \frac{(69 \text{ KV})^2}{373 \text{ MVA}} = 12,7640 \Omega$$

$$Z_{TH} = \frac{12,7640}{425,08} = 0,0300 \text{ p. u.}$$

$$V_{TH} = \frac{(69 \text{ KV} / \sqrt{3})}{(69 \text{ KV} / \sqrt{3})} = 1 \text{ p. u.}$$

En la secuencia negativa no se incluye la fuente de tensión prefalla.

Impedancia equivalente del transformador:

$$Z_{TRAFO} = 0,0734 \text{ p. u.}$$

Impedancia equivalente del alimentador

$$Z_{AL} = 0,1820 \Omega$$

$$Z_{AL} = \frac{0,1820}{425,08} = 4,28 \times 10^{-4} \text{ p. u.}$$

- **Secuencia cero:**

Impedancia equivalente del SEP en la barra de generación:

$$Z_{TH} = \frac{(69 \text{ KV})^2}{373 \text{ MVA}} = 12,7640 \Omega$$

$$Z_{TH} = \frac{12,7640}{425,08} = 0,0300 \text{ p. u.}$$

Impedancia equivalente del transformador:

$$Z_{TRAFO} = 0,0734 \text{ p. u.}$$

Impedancia equivalente del alimentador

La impedancia en ohm/km del alimentador es 0,3752. Si el alimentador recorre una distancia de 1km, entonces la impedancia por fase es: 0,3752 ohm.

$$Z_{AL} = 0,3752 \Omega$$

$$Z_{AL} = \frac{0,3752}{425,08} = 8,82 \times 10^{-4} p. u.$$

Falla en barra 3

El diagrama de secuencias queda como se muestra en la imagen 15 para el caso de análisis de falla en barra 3.

Para el diagrama mostrado en la imagen 15 se calculan la impedancia equivalente de secuencia positiva, negativa y el cero:

$$z_+ = z_{TH} + z_{TRAF0} + z_{AL} = 0,03 + 0,0734 + 8,82 \times 10^{-4} = 0,1042 p. u.$$

$$z_- = z_{TH} + z_{TRAF0} + z_{AL} = 0,03 + 0,0734 + 48,82 \times 10^{-4} = 0,1042 p. u.$$

$$z_0 = z_{TRAF0} + z_{AL} = 0,0734 + 8,82 \times 10^{-4} = 0,0742 p. u.$$

Corriente de I₀:

$$I_0 = \frac{1}{z_+ + z_- + z_0} = 3,5385 p. u.$$

Corriente de falla:

$$I_{falla} = 3I_0 = 10,6157 p. u.$$

$$I_{falla} = 10,6157 \times 93,71 A = 994,79 A$$

Falla en barra 2

El diagrama de secuencias queda como se muestra en la imagen 16 para el caso de análisis de falla en barra 2:

Para el diagrama mostrado en la imagen 16 se calculan la impedancia equivalente de secuencia positiva, negativa y el cero:

$$z_+ = z_{TH} + z_{TRAFO} = 0,030 + 0,0734 = 0,1034 p. u.$$

$$z_- = z_{TH} + z_{TRAFO} = 0,030 + 0,0734 = 0,1034 p. u.$$

$$z_0 = z_{TRAFO} = 0,0734 = 0,0734 p. u.$$

Corriente de I_0 :

$$I_0 = \frac{1}{z_+ + z_- + z_0} = 3,5688 p. u.$$

Corriente de falla:

$$I_{falla} = 3I_0 = 10,7066 p. u.$$

$$I_{falla} = 10,7066 \times 93,71 A = 1.003,31 A$$

Falla en barra 1

El diagrama de secuencias queda como se muestra en la imagen 17 para el caso de análisis de falla en barra 1:

Para el diagrama mostrado en la imagen 17 se calculan la impedancia equivalente de secuencia positiva, negativa y el cero:

$$z_+ = z_{TH} = 0,030 = 0.030 p. u.$$

$$z_- = z_{TH} = 0,030 = 0.030 p. u.$$

$$z_0 = z_{TH} = 0,030 = 0.030 p. u.$$

Corriente de I_0 :

$$I_0 = \frac{1}{z_+ + z_- + z_0} = 11,11 p. u.$$

Corriente de falla:

$$I_{falla} = 3I_0 = 33,33 p. u.$$

$$I_{falla} = 33,33 \times 93,71 A = 3.123,66 A$$

Las corrientes referidas a una tensión de 13,8KV se calculan a partir de la relación de tensiones, donde $RFT = 69KV / 13,8 KV = 5$

RESUMEN

Tabla 3: Corrientes de falla monofásica (LG) y trifásica (LLL) para máxima y mínima generación

Nivel de Tensión	Tipo falla	Mínima Generación			Máxima Generación		
		Barra 1 (A)	Barra 2(A)	Barra 3(A)	Barra 1(A)	Barra 2(A)	Barra 3(A)
13,8 KV	Corriente falla 1ø, (LG)	15.618,30	5.016,55	4.973,95	16.156,85	5.052,65	523,75
	Corriente falla 3ø, (LLL)	24.404,85	5.060,15	5.036,90	26.473,10	5.143,50	5.119,45
69 KV	Corriente falla 1ø, (LG)	3.123,66	1.003,31	994,79	3.231,37	1.010,53	104,75
	Corriente falla 3ø, (LLL)	4.880,97	1.012,03	1.007,38	5.294,62	1.028,70	1.023,89

Fuente: los autores



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA
ECUADOR

CAPITULO III

CAPITULO III

3. Diseño.

3.1. Consideraciones generales

En el Capítulo III se desarrollan los diseños físicos, de control y vistas en perspectivas del tablero de pruebas, también se proyectan dos alternativas para la creación de un laboratorio de protecciones.

3.1.1. Consideraciones del plano físico.

Tablero cerrado

Se decidió utilizar un tablero cerrado con la intención de evitar el ingreso de animales y suciedad.

Ventilación

Debido a que los elementos montados en el tablero no emiten calor (mínimo) no es necesario colocar ventilación en el tablero.

Ubicación de elementos

La ubicación de los elementos de monitoreo o de accionamiento se encuentran a una altura máxima de 1,70 m, de acuerdo con la estatura media de un operador.

Mínima conexión de cables

El diseño del tablero limita al máximo la posibilidad que tiene el operador de intervenir sobre las bornas de los equipos, esto fue considerado para evitar que ante la falta de precaución que suele suceder en un taller de pruebas se dañe un equipo muy costoso como lo es por ejemplo el relé.

Seguridad durante la operación

El tablero cuenta con una puerta de vidrio templado en su exterior para evitar que durante la operación se interrumpa por error la prueba y para que se mantenga los elementos libre del polvo o cualquier agente que atente contra el normal funcionamiento.

3.1.2. Consideraciones del plano de control.

Funcionamiento

Los planos de control se elaboraran apegados al esquema de actuación de las protecciones según lo recomiendan los estándares como por ejemplo el Std. IEEE C57.92-2000.

Se emplearon elementos de mando, señalización para proveer al operador las mejores prestaciones y pueda interactuar con el sistema.

Simulación de planos de control

Los planos de control se encuentran debidamente elaborados y se suministran junto con el tablero a fin de que el mantenimiento del tablero se realice sin ningún contratiempo.

Con la ayuda del software FestoFluidSim se simuló la operación de todo el tablero de pruebas para garantizar que el funcionamiento será óptimo. Se suministran junto con el tablero las simulaciones que garantizan la correcta operación del tablero.

3.1.3. Consideraciones de las perspectiva del diseño

Los autores proponen además del módulo de pruebas para protección de transformadores de poder, un conjunto de seis módulos adicionales los cuales en conjunto brinden protección a todos los elementos que intervienen en un sistema eléctrico de potencia.

Por esta razón y considerando un crecimiento a futuro se presenta dos alternativas para la implementación del laboratorio de protecciones eléctricas.

3.1.4. Consideraciones del listado de materiales

El listado de materiales corresponde únicamente al diseño del módulo de pruebas propuesto. Para elaborar el listado de materiales se revisaron los planos físicos y de control desde donde se contabilizó cada uno de los elementos. Se recomienda tener a mano catálogos de fabricantes para escoger el material o equipo más adecuado para la aplicación que se trata de realizar.

Para comprender de mejor manera el listado de materiales se clasificó en rubros como: equipos, materiales, metalmecánica, serigrafía.

Es apropiado que un listado de materiales se encuentre referenciado a un modelo y marca, esto es para facilitar la búsqueda de proveedores y determinar los posibles reemplazos entre modelos de características similares.

3.1.5. Consideraciones del presupuesto.

El presupuesto referencial para el suministro de los equipos, materiales y accesorios que conforman el tablero, así como también el servicio de implementación o construcción donde se consideran valores de mano de obra.

Uno de los rubros más significativos del presupuesto es el relé de protección, el cual justifica su costo por la gran ventaja de protección que provee a los transformadores de poder quienes son muchas veces más costosos. En la aplicación didáctica que se le da al relé este no protegerá a un equipo del sistema de potencia, sin embargo proveerá a los estudiantes del laboratorio de pruebas un criterio muy importante para su carrera profesional.

Cotizaciones

Los precios mostrados en el presupuesto se obtuvieron de diversos proveedores. Las ofertas se encuentran dirigidas a la Universidad Politécnica Salesiana con su respectivo RUC y con atención al director de la carrera de Ingeniería Eléctrica Ing. Otto Astudillo.

PLANOS GENERALES

PLANOS FÍSICOS

PLANOS CONTROL

PERSPECTIVAS DEL DISEÑO

LISTADO DE MATERIALES

PRESUPUESTO



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA
ECUADOR

CAPITULO IV

CAPITULO IV

4. Manual de Prácticas

4.1. Consideraciones generales

Para el desarrollo del Capítulo IV se ha planteado un escenario que permita desarrollar ocho prácticas enfocadas en el capítulo de estudio protección de transformador de poder y aplicadas al relés de protección Alston P642 de tecnología digital.

Se deja en total libertad si el lector considera oportuno plantearse un escenario propio, siempre que las prestaciones del módulo de pruebas y el relé de protección lo permitan.

4.1.1. Del escenario

El escenario que los autores plantearon se encuentra apegado a un arreglo comúnmente utilizado por los usuarios industriales que cuentan con subestación propia.

Así mismo surge del esquema de protección sugerido por el Std. C37.91-2000 de la IEEE, donde podemos encontrar un esquema de protección de sobrecorriente de fase, sobrecorriente de tierra, sobrecorriente diferencial y protecciones mecánicas.

El grupo vectorial que tiene el transformador de poder de la subestación definida como escenario es Dyn1, pudiendo ser reemplazada por otro grupo de conexión en un escenario alternativo.

PRÁCTICA No. 1

PRÁCTICA No. 2

PRÁCTICA No. 3

PRÁCTICA No. 4

PRÁCTICA No. 5

PRÁCTICA No. 6

PRÁCTICA No. 7

PRÁCTICA No. 8

BIBLIOGRAFÍA

- Armendáriz, A. R., & Néqiz, F. D. (2009). Actualización de prácticas de laboratorio de PSEP con relevadores microprocesados multifunción SEL 351-387. México D. F., México.
- Blackburn, L., & Domin, T. (2006). *Protective Relaying*.
- Concha, P. (s.f.). *Transformadores de medida*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2014, de http://patricioconcha.ubb.cl/transformadores/transformadores_de_medida.htm
- CONELEC - 001/06. (s.f.). CONELEC - 001/06. *Requisitos para la calificación de grandes consumidores*. Ecuador.
- CONELEC. (15 de Noviembre de 2013). *Registro de grandes consumidores*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2014, de <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=1100&l=1>
- Duarte, C. A., & Cediel, P. A. (2006). Estructuración de prácticas y selección de equipos para el laboratorio de protecciones eléctricas. Bucaramanga, España.
- Gers, J. M. (1993). *Aplicación de protecciones eléctricas a sistemas de potencia*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- IEEE Std C37.91-2000. (s.f.). *Guide for Protective Relay applications to Power Transformer*. New York, USA.
- Martín, J. R. (1987). *Diseño de Subestaciones Eléctricas*. México: McGraw-Hill.

ANEXO A
SIMULACIÓN DEL
CIRCUITO DE
CONTROL

ANEXO B

DIAGRAMAS UNIFILARES

ANEXO C

SIMULACIÓN DE PRÁCTICAS

ANEXO D

OFERTAS

ANEXO E

GETTING STARTED

PROGRAMMABLE LOGIC

GETTING STARTED

PROGRAMMABLE LOGIC