



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS.**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS
ELECTRICOS DE POTENCIA**

TESIS DE GRADO

TEMA:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN DE LOS
GENERADORES EN CONEXIÓN Y NO ATERRIZADOS PARA
DETECTAR FALLAS A TIERRA EN LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA “LA PENÍNSULA” PERTENECIENTE A
LA EEASA EN EL PERÍODO AGOSTO 2013 – AGOSTO 2014”**

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico.

Autor:

Culqui Moposita Wilson Tarquino

Director de Tesis:

Ing. Marcelo Barrera

Asesor Metodológico:

Dr. Marcelo Bautista

LATACUNGA – ECUADOR

2015



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Trabajo de
Grado
CIYA

COORDINACIÓN
TRABAJO DE GRADO

FORMULARIO DE LA APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulantes:

- Wilson Tarquino Culqui Moposita

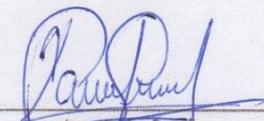
Con la tesis, cuyo título es:

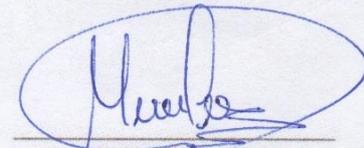
DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN DE LOS GENERADORES EN CONEXIÓN Y NO ATERRIZADOS PARA DETECTAR FALLAS A TIERRA EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA "LA PENÍNSULA" PERTENECIENTE A LA EEASA EN EL PERÍODO AGOSTO 2013 – AGOSTO 2014

Han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al Acto de Defensa de Tesis en la fecha y hora señalada.

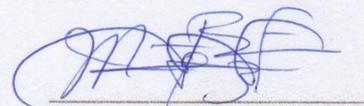
Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Para constancia firman:


Ing. Xavier Proaño
PRESIDENTE


Dr. Marcelo Bautista
MIEMBRO


Ing. Paola Velasco
OPOSITOR


Ing. Marcelo Barrera
TUTOR (DIRECTOR)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
Latacunga – Cotopaxi – Ecuador



AUTORÍA

Yo Wilson Tarquino Culqui Moposita con cedula de identidad 180352550-8, declaro que el presente trabajo investigativo es original de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigente.

.....
Culqui Moposita Wilson Tarquino
CI: 180352550-8



CERTIFICACIÓN DIRECTOR DE TESIS

**HONORABLE CONSEJO ACADÉMICO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA
DE COTOPAXI.**

AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

De mi consideración:

Cumpliendo con lo estipulado en el Reglamento del Curso Profesional de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Capítulo V, (Art. 9 literal f), me permito informar que el postulante Culqui Moposita Wilson Tarquino ha desarrollado su Tesis de Grado de acuerdo al planteamiento formulado en el Anteproyecto de Tesis con el tema: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN DE LOS GENERADORES EN CONEXIÓN Y NO ATERRIZADOS PARA DETECTAR FALLAS A TIERRA EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “LA PENÍNSULA” PERTENECIENTE A LA EEASA EN EL PERÍODO AGOSTO 2013 – AGOSTO 2014”**, cumpliendo sus objetivos respectivos.

En virtud de lo antes expuesto, considero que la presente Tesis de Grado

EL DIRECTOR

Ing. Barrera Flores Jaime Marcelo

C.C. # 1801848779



CERTIFICACIÓN DE ASESOR METODOLOGICO DE TESIS

**HONORABLE CONSEJO ACADÉMICO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA
DE COTOPAXI.**

AVAL DE ASESOR METODOLOGICO

De mi consideración:

Cumpliendo con lo estipulado en el Reglamento del Curso Profesional de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Capítulo V, (Art. 9 literal f), me permito informar que el postulantes Culqui Moposita Wilson Tarquino, ha desarrollado su Tesis de Grado de acuerdo al planteamiento formulado en el Anteproyecto de Tesis con el tema: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN DE LOS GENERADORES EN CONEXIÓN Y NO ATERRIZADOS PARA DETECTAR FALLAS A TIERRA EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “LA PENÍNSULA” PERTENECIENTE A LA EEASA EN EL PERÍODO AGOSTO 2013 – AGOSTO 2014”**, cumpliendo sus objetivos respectivos.

En virtud de lo antes expuesto, considero que la presente Tesis de Grado se encuentra habilitada para presentarse al acto de defensa.

DR. MARCELO BAUTISTA
ASESOR METODOLÓGICO DE LA TESIS



EMPRESA ELECTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.

Trabajando con energía..!

CERTIFICADO

Yo, ingeniero Iván Naranjo Proaño, en mi calidad de Director del departamento de Operación y Mantenimiento de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. a petición verbal del interesado:

Certifico que el señor **WILSON TARQUINO CULQUI MOPOSITA**, portador de la cedula de ciudadanía 180352550-8, realizó la tesis de grado con el tema "DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCION DE LOS GENERADORES EN CONEXIÓN Y NO ATERRIZADOS PARA DETECTAR FALAS A TIERRA EN LA CENTRAL HIDROELECTRICA LA PENINSULA PERTENECIENTE A LA EEASA EN EL PERIODO AGOSTO 2013 - AGOSTO 2014", bajo la supervisión del Director del departamento de Operación y Mantenimiento.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente documento, en la forma que estime conveniente.

Atentamente



Ing. Iván Naranjo Proaño
DIRECTOR OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S. A.

REF.: DOM-DIR-0274-2015
INP/Veros.

AGRADECIMIENTO

A DIOS y a la VIRGEN MARÍA por estar simple a mi lado y ponerme en este camino de esfuerzo.

Un agradecimiento a la Empresa Eléctrica Ambato EEASA por ayudarme a fortalecer mis conocimientos.

Al Ing. Iván Naranjo Director del departamento del DOM de La EEASA. Al Ing Marcelo Barrera director de tesis por entregarme su ayuda y colaboración de conocimientos para realizar este Diseño.

Un enorme agradecimiento al Ph.D M.Sc . Ing. Orlys Torres emblemático profesor cubano que ha entregado su sabiduría y conocimiento a favor de esta tesis y que debo exaltar la labor y colaboración hacia mi querido país Ecuador.

Un agradecimiento al personal de la central La Península por entrégame sus experiencias y sabiduría para las maniobras de generación.

Indiscutiblemente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y profesores que me supieron inculcar esfuerzo y dedicación para llegar a ser un profesional.

Agradecimiento inmenso a mis padres por haberme enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia, todo se consigue.

Wilson Tarquino

DEDICATORIA

A mis queridos padres ANIBAL y ETELVINA por enseñarme a valorar el esfuerzo y el sentido de la vida con el que demostraré en la vida profesional.

A mis apreciados abuelito Segundo Moposita, Rosa Quinapanta, Antonio Culqui Tomasa Choco, que de una y otra manera expresaron apoyo para que llegue a mi anhelado propósito.

A mis hermosos hijos Kerly y Galo, a mi querida Esposa Verónica, hermanos Oscar, Marcia, William e indiscutiblemente a mis familiares por expresarme humildad, dedicación, perseverancia, animo, esfuerzo, disciplina, y llegar a culminar esta tesis.

Wilson Tarquino

INDICE GENERAL

APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO	II
AUTORÍA	III
AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS	IV
AVAL DE ASESOR METODOLOGICO.....	V
CERTIFICADO DE LA EMPRESA	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
DEDICATORIA	VIII
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XVIII
CAPITULO I.....	19
1 FUNDAMENTO TEÓRICO.....	19
1.1 Tipos de puesta a tierra	19
1.2 Sistemas con neutro aislado o neutro flotante.....	20
1.2.1 Efectos de un sistema con neutro aislados.....	22
1.2.2 En condición de falla	23
1.3 Protecciones para neutro aislados	25
1.3.1 Transformador de puesta a tierra zig-zag	25
1.3.2 Funcionamiento del transformador zig-zag	26
1.3.3 Transformador de puesta a tierra delta-estrella.....	27
1.3.4 Funcionamiento del transformador delta-estrella	27
1.4 Limitador de corriente de falla.....	27

1.5	Cortocircuito en Sistema Eléctricos.....	28
1.5.1	Características de los cortocircuitos	29
1.5.2	Clases de Cortocircuitos	29
1.6	Redes de secuencia	30
1.6.1	Impedancias de secuencia de elementos de circuito	30
1.6.2	Redes de secuencia positiva y negativa	31
1.6.3	Redes de secuencia cero	31
1.6.4	Cortocircuito de Línea - Tierra:	32
1.6.5	Cortocircuito de Línea -Línea:.....	33
1.6.6	Cortocircuito de Línea -Línea - tierra.....	34
1.6.1	Circuito equivalente de Secuencia cero para transformadores de dos devanados	34
1.7	Software Digsilent	36
1.7.1	Descripción de software.....	36
1.7.2	Funciones	36
CAPITULO II.....		37
2	PRESENTACIÓN, INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	37
2.1	Aspectos Generales de la central hidroeléctrica La Península perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	37
2.2	Antecedentes.....	37
2.3	Interpretación y análisis de resultados	37
2.4	Verificación de la hipótesis.....	38
2.4.1	Hipótesis	38
2.5	Problemática de la central hidroeléctrica La Península	38
2.6	Elementos que intervienen en la simulación.....	39

2.6.1	Grupos de generación	39
2.6.2	Datos de los Generadores 1-2-3 a plena carga.....	40
2.6.3	Generador 4.....	41
2.6.4	Barra 1	43
2.6.5	Transformador de potencia subestación La Península.....	43
2.6.6	Carga de los Alimentadores Izamba y Catiglata.....	44
2.6.7	Diagrama unifilar de la central hidroeléctrica La Península.....	45
2.7	Simulación en condición normal	46
2.7.1	Casa de máquinas - Central La Península - Condición normal	47
2.7.2	Casa de máquinas - Central La Península - Condición de falla a tierra - fase R	49
2.7.3	Diagrama de Secuencia del sistema.....	51
2.8	Control de flujo de corriente de falla	52
2.9	Determinación de parámetros eléctricos para el diseño de transformador zig-zag	53
2.9.1	Potencia de transformador zig-zag	53
2.10	Determinación de parámetros eléctricos para el diseño de transformador delta- estrella.....	54
2.10.1	Potencia de transformador delta-estrella.....	54
2.10.2	Conexión en la barra 1	54
2.11	Dimensionamiento de transformador de corriente tipo toroidal	55
2.12	Diagrama de Secuencia del sistema.....	56
2.12.1	Secuencia positiva-negativa y cero.....	56
2.13	Elección de transformador de puesta a tierra.....	57
2.13.1	Semejanzas del Transformador zig-zag y transformador delta-estrella.....	57
2.13.2	Comparativos técnicos del Transformador zig-zag y transformador delta-estrella	58

CAPITULO III	59
3 PROPUESTA	59
3.1 Desarrollo de la propuesta	59
3.1.1 Tema	59
3.2 Presentación	59
3.3 Justificación	60
3.4 Objetivos.....	60
3.4.1 Objetivo general.....	60
3.5 Análisis de factibilidad	60
3.5.1 Viabilidad económica	60
3.6 Desarrollo de la propuesta	61
3.6.1 Sistema actual de la central la Península	61
3.6.2 Transformador trifásico delta-estrella como sistema de puesta a tierra.....	62
3.6.3 Transformador de corriente (TC) tipo toroidal - 51G.....	63
3.6.4 Simulación de falla en el Generador 1 con transformador trifásico 50 Kva estrella-delta con resistor de 50 Ohmios.....	65
3.6.5 Simulación de falla en el Generador 2.....	66
3.6.6 Simulación de falla en el Generador 3.....	67
3.6.7 Simulación de falla en el Generador 4.....	68
3.6.8 Simulación en la barra 1	69
3.6.9 Conclusión	70
3.6.10 Recomendación.....	71
BIBLIOGRAFÍA	95

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. TIPOS DE PUESTAS A TIERRA.....	20
FIGURA 2. NEUTRO FLOTANTE O AISLADO.....	20
FIGURA 3. DIAGRAMA VECTORIAL TRIFÁSICO ESTRELLA EN CONDICIÓN NORMAL ..	23
FIGURA 4. DIAGRAMA VECTORIAL TRIFÁSICO ESTRELLA EN CONDICIÓN DE FALLA .	23
FIGURA 5. VOLTAJE EN CONDICIÓN NORMAL Y EN CONDICIÓN DE FALLA.....	24
FIGURA 6. CONEXIÓN DE TRANSFORMADOR ZIG-ZAG.....	25
FIGURA 7. DIAGRAMA DE DISEÑO DEL TRANSFORMADOR ZIG-ZAG.....	26
FIGURA 8. TRANSFORMADOR DE PUESTA A TIERRA ESTRELLA-DELTA.....	27
FIGURA 9. CORTO CIRCUITO TRIFÁSICO.....	29
FIGURA 10. CORTOCIRCUITO BIFÁSICO A TIERRA	30
FIGURA 11. CORTOCIRCUITO MONOFÁSICO	30
FIGURA 12. REDES DE SECUENCIA POSITIVA NEGATIVA Y CERO	32
FIGURA 13. FALLA LÍNEA-TIERRA	32
FIGURA 14. CONEXIÓN DE REDES DE SECUENCIAS.....	33
FIGURA 15. FALLA LINEA - LINEA	33
FIGURA 16. CONECCION DE REDES DE FALLA LINEA-LINEA	33
FIGURA 17. FALLA LINEA-LINEA-TIERRA	34
FIGURA 18. CONECCION DE REDES DE SECUENCIA FALLA LINEA - LINEA - TIERRA..	34
FIGURA 19. EQUIVALENCIA DE SECUENCIA DE TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS	35
FIGURA 20. DIGSILENT PPOWER FACTORY 14.1 DEMO.....	36
FIGURA 21. GENERADOR 1-2-3	40
FIGURA 22. GENERADOR 4	42
FIGURA 23. BARRA 1.....	43
FIGURA 24. TRANSFORMADOR DE POTENCIA.....	43
FIGURA 25. DIAGRAMA DE SECUENCIAS SIN DISEÑO DE PUESTA A TIERRA	52
FIGURA 26. TRANSFORMADOR ZIG-ZAG DE PUESTA A TIERRA	53
FIGURA 27. TRANSFORMADOR DELTA-ESTRELLA DE PUESTA A TIERRA.....	55
FIGURA 28. TRANSFORMADOR DE CORRIENTE – TIPO TOROIDAL.....	55
FIGURA 29. DIAGRAMA DE SECUENCIAS CON DISEÑO DE PUESTA A TIERRA	56
FIGURA 30. CONEXIÓN DEL TRANSFORMADOR DELTA-ESTRELLA	63

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. GRUPO 1-2-3 DE GENERACIÓN	40
TABLA 2. VALORES DE GENERADORES 1-2-3.....	41
TABLA 3. DATOS DE PLACA GENERADOR 4.....	42
TABLA 4. TRANSFORMADOR DE POTENCIA.....	44
TABLA 5. CARGA DE LA SUBESTACIÓN LA PENÍNSULA	44
TABLA 6. VOLTAJES EN EL FLUJO DE CARGA	48
TABLA 7. VOLTAJE EN CONDICIONES DE FALLA TIERRA	50
TABLA 8. COMPARACIÓN DE VOLTAJES	51
TABLA 9. INVERSION EN EQUIPOS ELECTRICOS	60
TABLA 10. INVERSION TOTAL	61
TABLA 11. VOLTAJES DE LA CENTRAL LA PENÍNSULA	62

RESUMEN

El diseño de las protecciones eléctricas realizadas por sistemas computarizados es necesario en una central de generación, ya que recibe todas las condiciones anormales de un sistema eléctrico.

En mucho de los generadores eléctricos como es el de La Península perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato EEASA no presentan sistema de puesta a tierra, este sistema fue realizada para que los generadores no salga de funcionamiento cuando exista una falla a tierra y pueda seguir funcionando, pero si la falla persiste los conductores sanos estaría sometidos a voltajes elevados hasta de 1,73 veces, esta situación causa envejecimiento prematuro del sistema de aislamiento y se tendrá una segunda falla en tiempo próximo.

Para realizar este diseño se debe considerar que la central hidroeléctrica La Península cumple con varios requisitos para prestar un servicio de calidad y que el sistema de protección debe ser capaz de detectar el problema inmediatamente aislando la sección afectada.

Todo estos análisis están enfocadas en los reglamentos y estatutos que rigen en el Consejo Nacional de Electricidad CONELEC y el Centro Nacional de Control de Energía CENACE entidades que son encargadas de generar, regular el cumplimiento y disposiciones bajos las leyes y normas técnicas del sector eléctrico en el sistema ecuatoriano.

ABSTRACT

The design of the electrical protections made by computerized systems is necessary in a power generation as it receives all abnormal conditions in an electrical system.

In much of electric generators such as La Peninsula belonging to the Utility Ambato EEASA have no system ground, this system was made for the generators out of operation as there is a ground fault and can continue to run, but if the fault persists healthy drivers would be subject to high voltages up to 1,73 times, this situation causes premature aging of the insulation system and a second failure will next time.

To make this design must be considered that the hydroelectric Peninsula meet several requirements to provide quality service and protection system must be able to detect the problem immediately isolating the affected section. All this analysis are focused on the rules and regulations governing the National Electricity Council CONELEC and the National Control Centre CENACE Energy entities that are responsible for generating, regulating compliance and provisions under the laws and technical standards electricity sector in the Ecuadorian system.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

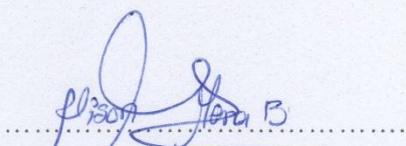
FORMULARIO DE SOLICITUD

LATACUNGA - ECUADOR

AVAL DE LA TRADUCCION DEL IDIOMA INGLES

En calidad de Docente del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Yo, Lic. Alison Mena Barthelotty con la C.C.0501801252 certifico que he realizado la respectiva revisión a la traducción del Abstract; con el tema: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN DE LOS GENERADORES EN CONEXIÓN Y NO ATERRIZADOS PARA DETECTAR FALLAS A TIERRA EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA “LA PENÍNSULA” PERTENECIENTE A LA EEASA EN EL PERÍODO AGOSTO 2013 – AGOSTO 2014”**, de Cuyo autor es: Wilson Tarquino Culqui Moposita y Director de Tesis, Ing. Marcelo Barrera. Dejando el contenido bien estructurado y libre de errores.

Lo certifico:



.....

Msc. Alison Mena Barthelotty

C.C.0501801252

INTRODUCCIÓN

Desde mucho tiempo atrás la generación ha sido uno de los principales elementos del sistema eléctrico de potencia, recurso que por poseer equipos costosos necesita de dispositivos para la protección eléctrica. En una central de generación uno de los elementos principales para la confiabilidad del sistema es la derivación a tierra ya que estabiliza al sistema para cargas desbalanceadas, en la cual tiene una referencia de voltaje para las protecciones de los equipos. En este trabajo investigativo se acoge a un método investigativo científico para el diseño adecuado de una protección de los generadores en conexión interna en Y, técnicas que se base en solucionar el problema mediante la obtención de una línea a tierra.

El concurrente documento está constituido en tres capítulos. El primer capítulo se refiere al MARCO TEÓRICO que se trata de los sistemas aterrizados más comunes en sistema eléctricos, sobre todo para centrales de generación no aterrados, explicando las normas y parámetros para el desarrollo apropiado del diseño de puesta a tierra en un sistema de generación.

En el segundo capítulo hace alusión a la METODOLOGÍA de diseños más óptimos que se presentan para encontrar un sistema de puesta a tierra en sistema aislados, así mismo se han plantea los pro y contra para decidir un elemento confiable al momento de actuar ante una falla a tierra. En la que se hará un análisis mediante un software y se procederán a simular fallas con los diferentes métodos de aterramiento para generadores.

En el tercer capítulo se manifiesta con la PROPUESTA, donde se plantea el método más adecuado para que sea tomado en cuenta para la posible implementación en la central hidroeléctrica la península. Y finalmente se darán las conclusiones y recomendaciones de acuerdo como se realice este trabajo investigativo, del mismo modo de darán los respectivos glosario de términos par el mejor entendimiento de la investigación, se continuara con la bibliografía que servirá como medio de información para las técnicas y reglamento que rigen el consejo Nacional de Electricidad, y para finalizar se darán los anexos.

CAPITULO I

1 FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 Tipos de puesta a tierra

Según (IEEE 142, 2007) “Grounding of Industrial and Commercial Power Systems”. Chapter 1.Pag 5. La puesta a tierra del sistema se puede clasificar atendiendo a la naturaleza del circuito que conecta el neutro del sistema a tierra en:

- Neutro aislado (ungrounded)
- Neutro rígido a tierra (solidgrounding)
- Neutro impedante (impedancegrounding):
- Puesta a tierra con resistencia (reactancegrounding)
- Puesta a tierra con reactancia (resistancegrounding)
- Puesta a tierra resonante (groundfaultneutralizer)

Los sistemas con neutro aislado están operados sin una conexión intencional del neutro a tierra, haciéndolo inexistente la corriente de falla a tierra.

Los sistemas con neutro rígido a tierra.- son aquellos que están operados con una conexión directa del neutro a tierra.

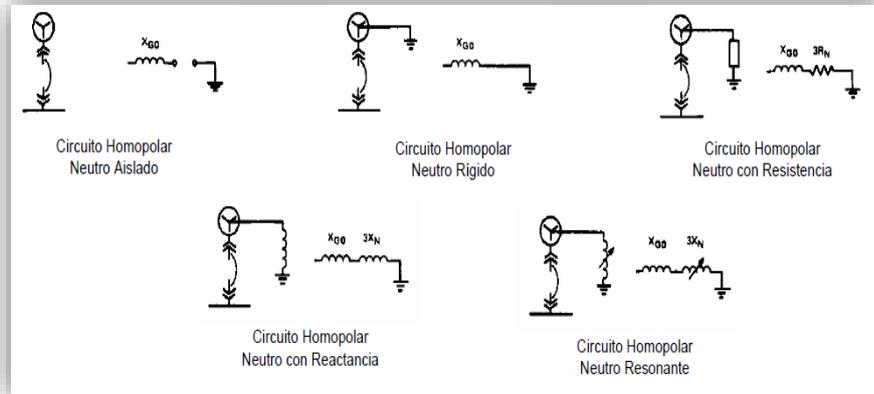
Los sistemas con neutro puesto a tierra con resistencia son aquellos que están operados con una conexión del neutro a tierra a través de una resistencia.

Los sistemas con neutro puesto a tierra con reactancia son aquellos que están operados con una conexión del neutro a tierra a través de una reactancia de valor fijo.

Los sistemas con neutro resonante son aquellos que están operados con una conexión del neutro a tierra a través de una reactancia de valor variable, denominada bobina

Petersen. En este punto se tomarán en consideración los neutros flotante y los sistema aterrados con reactancia Como se ilustra en la figura 1

FIGURA 1. TIPOS DE PUESTAS A TIERRA



Fuente: IEEE Std 142, Circuito de sistemas neutrales. 2007.

Elaborado por: Investigador

1.2 Sistemas con neutro aislado o neutro flotante

Según MAKEY, JHON Neutro aislado. Procobre. Diapositivas. En sistema eléctricos de potencia no es muy habitual encontrar esta conexión, ya que el neutro flotante o neutro aislado se manifiesta cuando carece de conexión entre el neutro y la puesta a tierra del sistema de una red eléctrica. Las tensiones de fase están referidas a la tierra en forma directa a través de las capacitancias parasitas (retornos de pequeñas corrientes de falla). Como se muestra en la figura 2.

FIGURA 2. NEUTRO FLOTANTE O AISLADO



Fuente: MAKEY, Jhon. Neutro aislado. Procobre. Diapositiva 11.

Elaborado por: Investigador

Como manifiesta en la premisa anterior, Es normal que se presente sistemas de generadores con neutro aislado o neutro flotante pero su diseño debe ser adecuado, ya que cuando ocurre una falla monofásica a tierra las tensiones crecen a valores de línea y algo similar le pasa a la tensión de secuencia cero de tercer armónicos.

Según (ANORMALIDADES EN SISTEMA DE POTENCIA, 2007). Pag 17 El voltaje del neutro, V_{neutro} , obliga la circulación de corriente capacitivas a través del circuito, las cuales se superponen en el punto de falla. En la realidad, el desplazamiento o corrimiento del neutro hacia la fase fallada no es total, si se consideran las resistencias del circuito. Si el neutro está aislado hay una conexión a tierra de alta impedancia a través de las capacitancias parásitas del alternador, de modo que las corrientes de falla son pequeñas, una fracción de la corriente nominal; sin embargo, las tensiones pueden aparecer son elevadas. Una de las principales ventajas a favor de los sistemas con neutro aislado es que una falla a tierra en una de las fases puede tolerarse en forma indefinida (teóricamente). Este esquema de aterramiento se utiliza en niveles de voltaje 3.3, 6.6 y 13.8 kV con éxito, pero existe la posibilidad de la sobretensión por resonancia o fallas intermitentes.

Ventajas:

- La razón de los sistemas delta, son su confiabilidad, ya que permiten seguir operando el sistema después de aparecer la primera falla
- La tensión de paso (step voltage) y toque (touch voltage) no adquieren valores significativos, porque son relativamente bajos los valores de corriente de falla; caso contrario a lo que se observa en los sistemas con neutros rígidamente o sólidamente puesto a tierra

Desventajas:

- Al presentarse la primera falla el sistema sigue operando con normalidad, pero al presentarse la segunda falla y sea persistente, las consecuencias pueden ser catastróficas para el equipo.
- Cuando sucede un cortocircuito monofásico, la tensión en las fases sanas se incrementa en 1,73 veces, Por tal motivo, el empleo del neutro flotante queda

restringido a voltajes intermedios (69, 115 y muy raras veces 230 kV), ya que se tiene que diseñar el aislamiento para este valor.

- La corriente cortocircuito a tierra es de naturaleza capacitiva, lo cual puede ocasionar reencendidos del arco y desagradables sobretensiones. Esto obliga a reenganche o re-cierre (reclosed) rápidos, al tratar de despejar una falla por este medio. Las posibilidades de una falla en las fases sanas aumenta, ya que eleva su valor y pueden degenerar en la ruptura de aislamiento.
- La intensidad de corriente de la falla asimétrica, envista de lo cual se necesita la conexión aditiva de tres transformadores de corriente para su registro; es decir que si los esquemas de medición no son los propios, la protección no detecta la falla debido al bajo valor de corriente.

Como se describe en la premisa anterior, los sistemas eléctricos aislados de tierra dispone una ventaja para mantener el servicio continuo en sistema de generación, si bien es cierto este sistema al producirse una falla a tierra los voltaje de las fases sanas se elevan en un 1,73 veces de su voltaje nominal, teniendo este inconveniente en la central la península, su elevado voltaje ha provocado que se ponga en riesgo el aislamiento de los generadores.

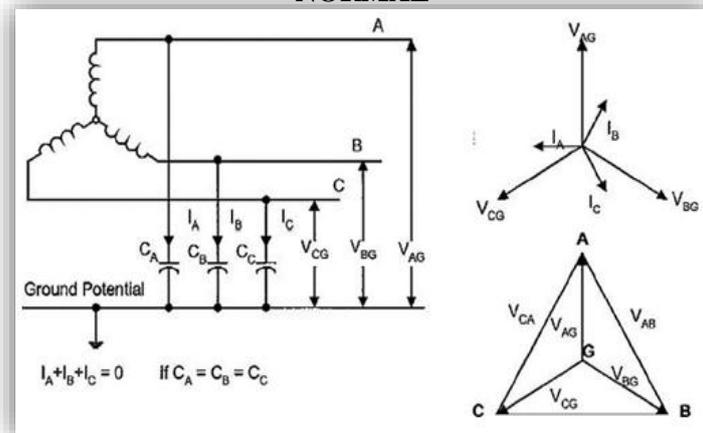
1.2.1 Efectos de un sistema con neutro aislados

1.2.1.1 En condición normal

Según (Detjen, 1992) Pag 1. En un sistema trifásico con neutro aislado de tierra las corrientes en los tres conductores son iguales y separadas a 120° una de otra y la suma vectorial de las tres corrientes de fase capacitivo (I_A , I_B y I_C) es igual a cero en el punto de puesta a tierra, lo que técnicamente se conoce como potencial de tierra por la equilibrada tensiones capacitiva a tierra (V_{AG} , V_{CG} y V_{BG}). Es decir; en una sistema que no esté intencionalmente a tierra, el sistema si esta capacitivamente a tierra. Como se muestra en la figura 3.

Como se describe en la premisa anterior, en condiciones normales las sumatorias de corriente residuales es igual a cero lo que no percibe ninguna molestia en el sistema y es donde los relés dispondrán un disparo de alarma para corrientes residuales.

FIGURA 3. **DIAGRAMA VECTORIAL TRIFÁSICO ESTRELLA EN CONDICIÓN NORMAL**

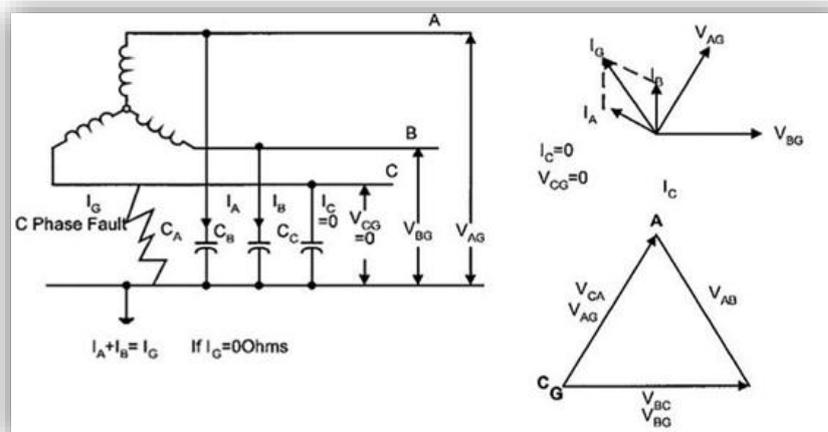


Fuente: IEEE Std 142, Puesta a tierra con resistencia. 2007
Elaborado por: Investigador

1.2.2 En condición de falla

Según (Detjen, 1992) Pag. 2. En condiciones de falla las tensiones capacitivas son desiguales en la línea de fuga a tierra, la fase de tensiones de fase (V_{AB} , V_{CA} y V_{BC}) no ha variado en magnitud o relación de fase, y el sistema permanece en servicio. La Corriente de masa en el fallo I_G es la suma vectorial de las dos corrientes I_A y I_B (que son 90° por delante de sus respectivas tensiones de V_{AG} y V_{BG}). Como se muestra en la figura 4.

FIGURA 4. **DIAGRAMA VECTORIAL TRIFÁSICO ESTRELLA EN CONDICIÓN DE FALLA**



Fuente: IEEE Std 142, Puesta a tierra con resistencia. 2007
Elaborado por: Investigador

Como se describe en la premisa anterior, la sumatoria de corriente de falla ya no es cero lo que demuestra el desbalance de corrientes en las 3 fases, esto provoca que los voltajes de las fases sanas se eleven a niveles superiores a los de voltaje nominal. En cierto punto de vista el nivel de aislamiento de un diseño eléctrico debería ser suficiente mente robusto para que tolere tal magnitud de voltaje, porque un sistema aislado elimina corriente de falla a tierra, pero aparece voltajes elevados, es decir la fase fallida se coloca al potencial de neutro y los voltajes se elevan. Un diseño adecuado de aislamiento de los conductores es que el voltaje de fase-neutro debería ser el voltaje fase-fase y el voltaje fase-fase multiplicado por la raíz de 3 es decir:

- Voltaje fase-neutro

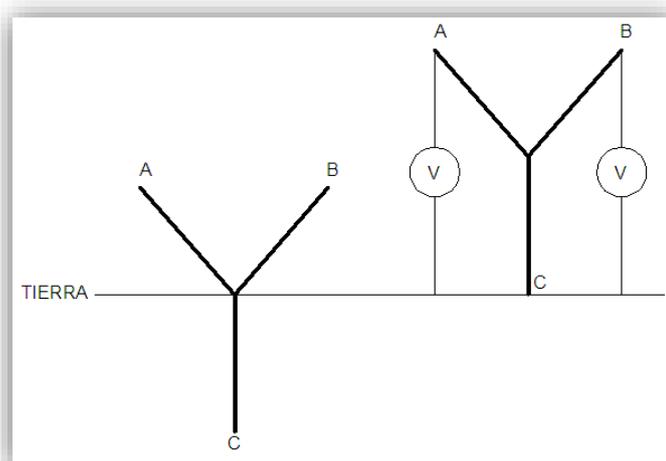
$$V_{\text{fase-neutro}} = V_{\text{fase-fase}} \quad \text{Ecuación 1}$$

- Voltaje fase-fase

$$V_{\text{fase-fase}} \times \sqrt{3} \quad \text{Ecuación 2}$$

Esta nomenclatura debería ser utilizada antes que se elabore el diseño de la construcción de la central, lo que conviene encontrar una alternativa más lógica para la central La Península.

FIGURA 5. VOLTAJE EN CONDICIÓN NORMAL Y EN CONDICIÓN DE FALLA



Fuente: Investigador
Elaborado por: Investigador

1.3 Protecciones para neutro aislados

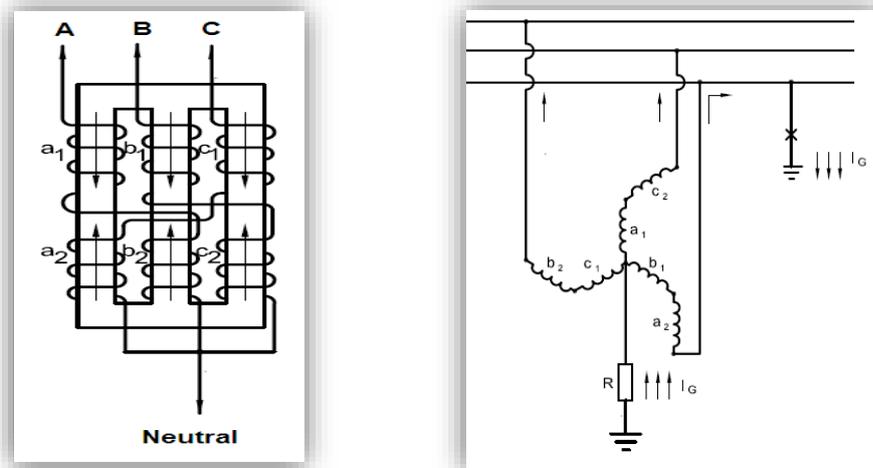
La teoría planteada de sistemas aislados se basan en la eliminación de corrientes de fuga a tierra para que el sistema continúe con su servicio eléctrico y no sea interrumpido por fallas a tierra, en este sentido lo que se ha hecho es buscar una solución para proteger dicho desnivel de voltaje en la fases sanas, ya que los sistema que no cumple con el requerimiento del soporte de los valores de voltajes elevados desafortunadamente caen en un deterioro del aislamiento de los conductores o a su vez en la quema del estator de los generadores.

Es por aquello que mediante dos métodos existentes se solucionara el inconveniente de fallas a tierra en un sistemas aislados el primero que se expondrá es el transformador zig-zag que es un sistema que aterriza mediante un conexionado de 6 bobinas y una derivación a tierra, el transformador estrella-delta, del mismo modo es trifásico con una derivación de neutro a tierra en la conexión estrella.

1.3.1 Transformador de puesta a tierra zig-zag

Cuando se presentan sistema en delta o estrella sin aterrizar se utilizan transformadores zig-zag para obtener una línea neutral. Este tipo de transformadores es de tipo trifásico con un solo bobinado, es decir sin arrollamiento secundario su conexión interna es como se ilustra en la figura 6

FIGURA 6. CONEXIÓN DE TRANSFORMADOR ZIG-ZAG



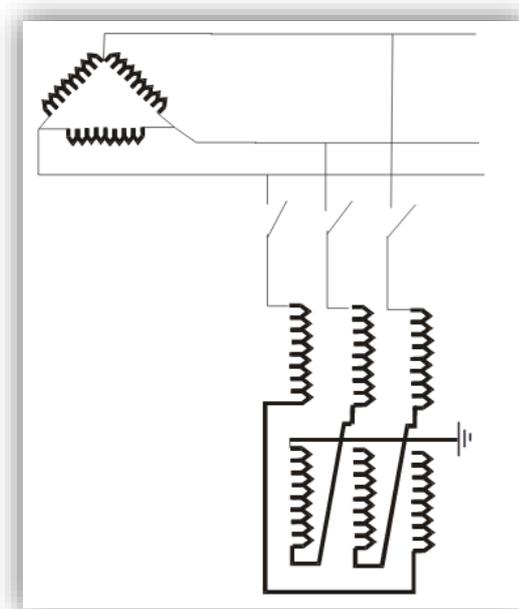
Fuente: (IEEE 142, 2007)
Elaborado por: Investigador

1.3.2 Funcionamiento del transformador zig-zag

Según (IEEE 142, 2007)“Grounding of Industrial and Commercial Power Systems”. Chapter 1.Pag 23. La impedancia del transformador trifásico zig-zag en condición normal es muy alta y circula un pequeño flujo de corriente por los devanados del transformador y actúa como que no existiera, pero al ocurrir una falla, su impedancia baja radicalmente permitiendo fluir altas corrientes de falla a tierra, todos los devanados tienen el mismo número de vueltas, pero cada par de devanados de columna está conectado en diferente sentido, de manera que sus fuerzas magnetomotrices son iguales y opuestas. Como se muestra en las figura 7.

Como menciona la premisa anterior el diseño de este método de aterrizamiento permite encontrar un medio de retorno de corriente de falla a tierra, esto a su vez le hace un diseño especial, lo que en el mercado eléctrico a simple vista no se le podría encontrar.

FIGURA 7. DIAGRAMA DE DISEÑO DEL TRANSFORMADOR ZIG-ZAG



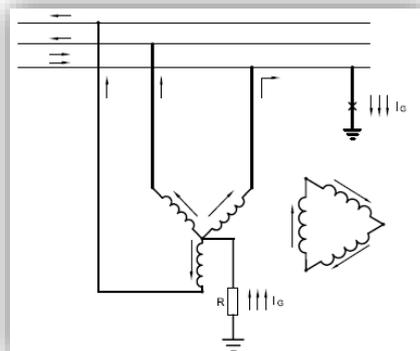
Fuente: Investigador
Elaborado por: Investigador

1.3.3 Transformador de puesta a tierra delta-estrella

Este método de puesta a tierra es también muy usado en diferentes sistemas aislados, del mismo modo este es un transformador trifásico, pero tiene dos devanados; el primario está conectado en estrella y el devanado secundario está conectado en delta.

En este transformador trifásico la derivación de puesta a tierra va en el devanado primario (estrella), es decir, en el punto neutral se coloca el resistor que limitara el flujo de corriente de falla a valores satisfactorios, que se presentara posteriormente, cabe mencionar que en el primario es el que dispondrá del sistema de puesta a tierra. Como se muestra en la figura 7.

FIGURA 8. TRANSFORMADOR DE PUESTA A TIERRA ESTRELLA-DELTA



Fuente: (IEEE 142, 2007)
Elaborado por: Investigador

1.3.4 Funcionamiento del transformador delta-estrella

Cuando ocurre una falla en una fase del sistema la descarga fluye por la derivación que está en el transformador estrella delta, la cual ingresa por el devanado primario (estrella) para luego ser controlado el flujo de cortocircuito por el resistor o inductor que se incorpora en la línea neutral estrella y la barrilla aterrada.

1.4 Limitador de corriente de falla

Para dimensionar el transformador Zig-Zag o el transformador estrella-delta básicamente se considera el valor de corriente de falla que se desea en el sistema, la

cual se controla instalando una resistencia o inductor entre el neutro del transformador de puesta a tierra y del sistema de electrodos de tierra.

Para determinar el factor de sobretensiones es necesario efectuar la valoración de la red de secuencias del sistema y determinar las relaciones X_0/X_1 y R_0/X_1 . Si se cumple que la primera relación es menor de 3, y la segunda menor de 1 respectivamente, se puede considerar que el sistema está efectivamente conectado a tierra y su comportamiento ante sobretensiones será esencialmente el mismo que un sistema conectado sólidamente a tierra.

La resistencia inserta entre el punto de neutro y el sistema de electrodos de tierra es el principal elemento para cambiar las relación R_0/X_1 y X_0/X_1 , además es la esencia para controlar el valor de corriente de falla. Típicamente se asume un valor de falla que permita sensibilizar las protecciones con el rango de 200 a 1000 Amperios, teniendo una valor común de 400 Amperios como valor de corriente máxima de falla a tierra.

Con las condiciones expuestas se tiene un sistema cuyo comportamiento ante fallas a tierra es el de un sistema en estrella. Con esto la coordinación y selectividad de las protecciones a tierra se trabajan de manera idéntica a un sistema en estrella con neutro conectado a tierra.

Los transformadores de puesta a tierra se pueden utilizar en sistemas de baja y media tensión 15 KV. La capacidad del transformador de zig-zag es igual a la del transformador delta estrella de 1,73 veces.

1.5 Cortocircuito en Sistema Eléctricos

Es el contacto directo de conductores de diferente tensión alimentados de la misma fuente.

1.5.1 Características de los cortocircuitos

1.5.1.1 Origen

Según (CUADERNO TECNICO SCHNEIDER ELECTRIC , 2010) Cortocircuito en Sistema Eléctricos de Potencia. pag 6.

De origen mecánico.- Rotura de conductores, conexión eléctrica accidental entre dos conductores producida por un objeto conductor extraño, como herramientas o animales.

Por sobretensiones.- Internas de los equipos o producidas por eventos atmosféricos.

Fallas de aislamiento.- Causado por la degradación del aislante por el calor, la humedad o ambientes corrosivos.

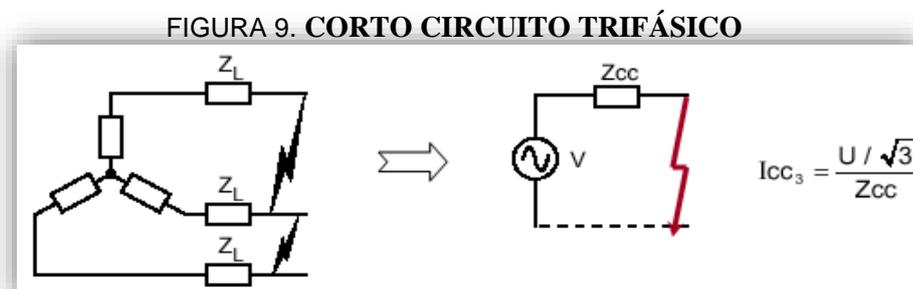
1.5.1.2 Localización

- Dentro de equipos o estructuras.
- En el exterior o lugares abiertos.

1.5.2 Clases de Cortocircuitos

1.5.2.1 Cortocircuito trifásico

Según (CUADERNO TECNICO SCHNEIDER ELECTRIC , 2010) Cortocircuito en Sistema Eléctricos de Potencia. pag 7. Se ponen en contacto las tres fases en un mismo punto del sistema. Es el cortocircuito más severo en la mayoría de los casos. Como se muestra en la figura 9.



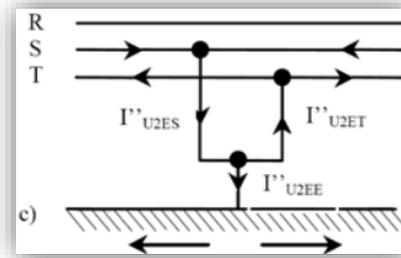
Fuente:HERNANDEZ,Juan.webdetecnologiaelectronica.Cortocircuitotrifásico[enlínea]<<http://www.tuveras.com/lineas/cortocircuito/cortocircuito.htm#inicio>>

Elaborado por: Investigador

1.5.2.2 Cortocircuito bifásico a tierra

Entran en contacto dos fases cualquiera y la tierra del sistema. Como se muestra en la figura 10.

FIGURA 10. CORTOCIRCUITO BIFÁSICO A TIERRA



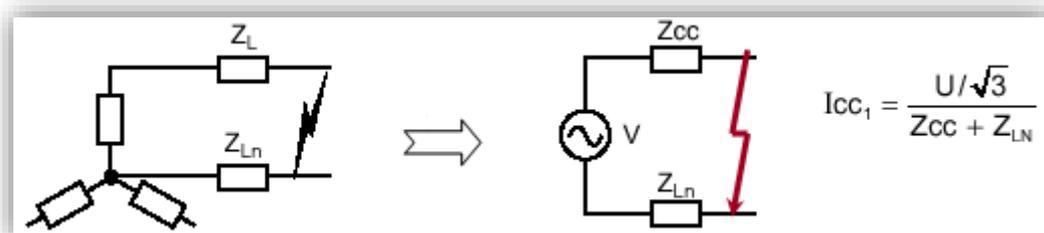
Fuente:HERNANDEZ,Juan.webdetecnologiaelectronica.Cortocircuitotrifásico[enlínea]
<<http://www.tuveras.com/lineas/cortocircuito/cortocircuito.htm#inicio>>

Elaborado por: Investigador

1.5.2.3 Cortocircuito Monofásico

Según (CUADERNO TECNICO SCHNEIDER ELECTRIC , 2010) Cortocircuito en Sistema Eléctricos de Potencia. pag 10. Al ponerse en contacto una fase cualquiera con la tierra del sistema. Es el cortocircuito más frecuente. Como se muestra en la figura 11.

FIGURA 11. CORTOCIRCUITO MONOFÁSICO



Fuente:HERNANDEZ,Juan.webdetecnologiaelectronica.Cortocircuitotrifásico[enlínea]
<<http://www.tuveras.com/lineas/cortocircuito/cortocircuito.htm#inicio>>

Elaborado por: Investigador

1.6 Redes de secuencia

1.6.1 Impedancias de secuencia de elementos de circuito

Según (Grainger, y otros, 2001) pag. 290. Las impedancias de secuencia positiva y negativa de circuitos lineales, simétricos y estadísticos son idénticas, porque la

impedancia de tales circuitos es independiente del orden de fases, a condición de que las tensiones aplicadas estén equilibradas. La impedancia de una línea de transporte a las corrientes de secuencia cero es distinta que la impedancia a las corrientes de secuencia positiva y negativa.

1.6.2 Redes de secuencia positiva y negativa

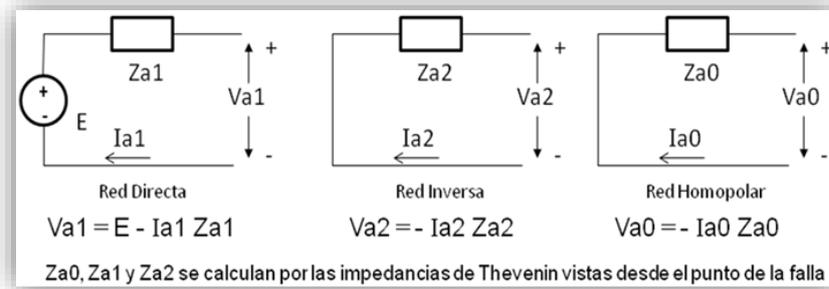
Según (Grainger, y otros, 2001) pag. 291. El neutro de un sistema trifásico simétrico es el potencial de referencia lógico para especificar las caídas de tensión de secuencia positiva y negativa, y es la barra de referencia de las redes de secuencia positiva y negativa. La impedancia conectada entre el neutro de una máquina y tierra no es una parte de la red de secuencia positiva ni de la red de secuencia negativa, porque ni la corriente de secuencia positiva, ni la de secuencia negativa pueden circular por una impedancia así conectada.

1.6.3 Redes de secuencia cero

Según (Grainger, y otros, 2001) pag. 293. Las corrientes de secuencia cero circularán solamente si existe un camino de retorno por el cual pueda completarse el circuito. La referencia para las tensiones de secuencia cero es el potencial de tierra en el punto del sistema en el cual se especifica. Como las corrientes de secuencia cero pueden estar pasando a tierra, dicha tierra no está necesariamente al mismo potencial en todos sus puntos y la barra de referencia de la red de secuencia cero no representa una tierra con potencial uniforme. La impedancia de tierra y los cables de toma de tierra está incluida en la impedancia de secuencia cero de la línea de transporte, y el circuito de retorno de la red de secuencia cero es un conductor de impedancia nula, que es la barra de referencia del sistema.

Aplicación del método de las componentes simétricas para el cálculo de cortocircuitos en sistemas desequilibrados:

FIGURA 12. REDES DE SECUENCIA POSITIVA NEGATIVA Y CERO



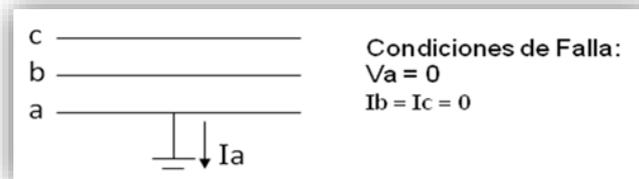
Fuente: (Grainger, y otros, 2001)

Elaborado por: Investigador

Se aplican las redes de secuencia según las condiciones de la falla y se transforman para obtener los parámetros de la falla. Como se muestra en la figura 12.

1.6.4 Cortocircuito de Línea - Tierra:

FIGURA 13. FALLA LÍNEA-TIERRA



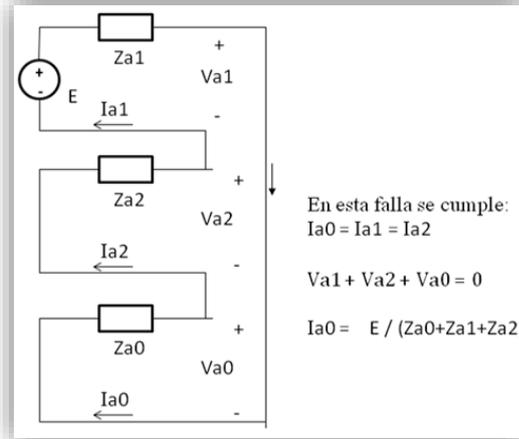
Fuente: (Grainger, y otros, 2001)

Elaborado por: Investigador

Aplicando los diagramas de secuencia vistos desde el punto de la falla, es decir los modelos de Thevenin para cada secuencia, el modelo de red para esta falla se presenta en los tres diagramas positiva, negativa y cero. En este diagrama de secuencia es una sumatoria y la corriente de falla es como se describe a continuación, estos diagramas serán tomados en cuenta para formar un análisis de la central La Península. Como se muestra en la figura 14 Y su fórmula para la corriente de falla.

$$I_{a0} = \frac{E_a}{Z_{a1} + Z_{a2} + Z_{a0}} \quad \text{Ecuación 3}$$

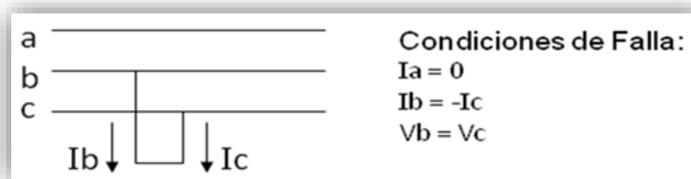
FIGURA 14. CONEXIÓN DE REDES DE SECUENCIAS



Fuente: (Grainger, y otros, 2001)
Elaborado por: Investigador

1.6.5 Cortocircuito de Línea -Línea:

FIGURA 15. FALLA LINEA - LINEA



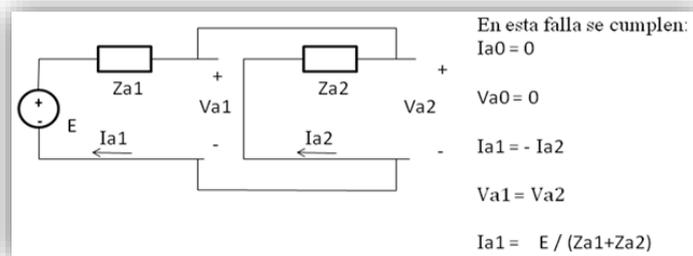
Fuente: (Grainger, y otros, 2001)
Elaborado por: Investigador

El diagrama de red para falla línea-línea sin acción a tierra actúa en la secuencia positiva y negativa en paralelo como se muestra en la figura 16 y en la ecuación de corriente de falla.

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_{a1} + Z_{a2}}$$

Ecuación 4

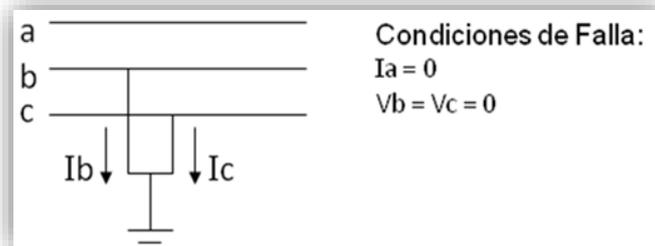
FIGURA 16. CONECCION DE REDES DE FALLA LINEA-LINEA



Fuente: (Grainger, y otros, 2001)
Elaborado por: Investigador

1.6.6 Cortocircuito de Línea -Línea - tierra

FIGURA 17. FALLA LINEA-LINEA-TIERRA

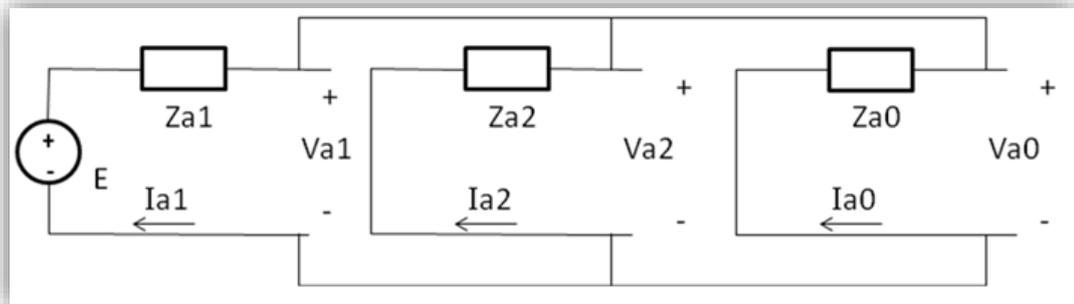


Fuente: (Grainger, y otros, 2001)
Elaborado por: Investigador

Esta falla se presenta por la unión de dos fases a tierra, y los diagramas de secuencias positiva negativa y cero se dan en paralelo. Como se muestra en la figura 18

$$I_{a1} = \frac{E_a(Z_2 + Z_0)}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_0 + Z_2 Z_0} \quad \text{Ecuación 5}$$

FIGURA 18. CONECCION DE REDES DE SECUENCIA FALLA LINEA – LINEA - TIERRA

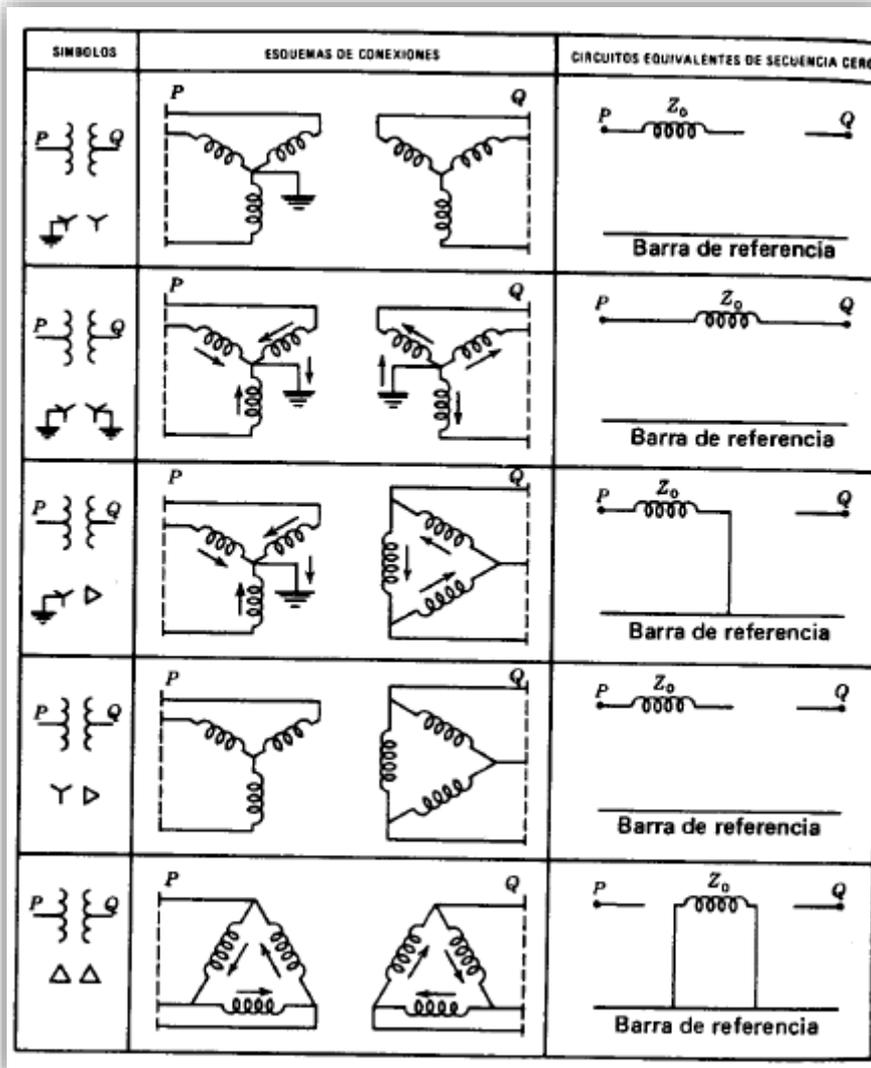


Fuente: (Grainger, y otros, 2001)
Elaborado por: Investigador

Conociendo el voltaje antes de la falla en la fase A y las impedancias de secuencia Z_{a0} , Z_{a1} y Z_{a2} vistas desde el punto de la falla, se puede calcular las corrientes de secuencia I_{a1} . Con esta I_{a1} , se calculan los voltajes de secuencia V_{a0} , V_{a1} y V_{a2} . Con los voltajes de secuencia se calculan I_{a0} e I_{a2} . Aplicando transformación, se obtienen los parámetros de la falla.

1.6.1 Circuito equivalente de Secuencia cero para transformadores de dos devanados

FIGURA 19. EQUIVALENCIA DE SECUENCIA DE TRANSFORMADORES DE DOS DEVANADOS



Fuente: (Grainger, y otros, 2001)

Elaborado por: Investigador

De acuerdo a la premisas anteriores las redes de secuencia positiva, negativa y cero en sistemas aislados es muy importante ya que al ocurrir una falla, la red de secuencia cero es la más afectada y se dará un criterio claro de lo que sucede en los generadores sin aterrar, cabe recalcar que en sistema flotante o aislados, la falla no puede ser detectada ya que su impedancia es infinita y la corriente de cortocircuito monofásico a tierra es cero, pero aparece sobre voltaje, conduciendo a una vulnerabilidad del deterioro del aislamiento de los devanados del generador por la súbita subida de voltaje. Estos también producen subidas de corriente pero con valores aceptable de diseño.

1.7 Software Digsilent

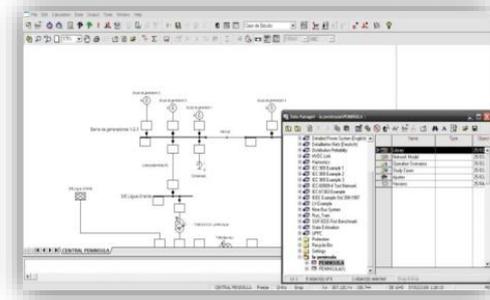
1.7.1 Descripción de software

Digsilent Power Factory es un software líder en análisis de sistemas de potencia para aplicaciones de generación, transmisión, distribución y sistemas industriales. Se está integrando todas las funciones necesarias, fácil de utilizar, completamente compatible con Windows y combina capacidades fiables y flexibles de modelado del sistema con algoritmos del estado de la técnica y un concepto de base de datos única.

1.7.2 Funciones

- Flujo de potencia AC/DC
- Análisis de corto circuito VDE/IEC
- Fallas generales/ análisis eventos
- Simulación dinámica (RMS)
- Simulación de transitorios electromagnéticos EMT
- Reducciones de redes
- Coordinación de relés de protección
- Chequeo de respuestas de unidades de protección
- Análisis de armónicos
- Calculo de confiabilidad
- Despacho económico
- Interfaces SCADA/GIS
- Lenguajes DSL++ y DPL
- Diagramas unifilares del sistema modelado
- Diagrama de configuración de subestaciones
- Instrumento de virtuales para visualizar resultados
- Interface A/D medina 2000 A/D

FIGURA 20. DIGSILENT PPOWER FACTORY 14.1 DEMO



Fuente: www.digsilent.de
Elaborado por: Investigador

CAPITULO II

2 PRESENTACIÓN, INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.1 Aspectos Generales de la central hidroeléctrica La Península perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.

2.2 Antecedentes

La Central Hidroeléctrica La Península perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato EEASA comenzó su operación en los años de 1945 con arduo trabajo en la construcción de la bocatoma en el río Ambato. La central se encuentra ubicada en la provincia de Tungurahua cantón Ambato a 10 minutos de la panamericana norte vía a Quito en el barrio La Península junto a al río Ambato con una latitud de $S1^{\circ}14'30''$ y una altitud de 2577 metros sobre el nivel de mar. Los 4 grupos de generación son de 6900 voltios y están acoplados en paralelo a la barra 1 (principal) y separada por disyuntores individuales.

2.3 Interpretación y análisis de resultados

En el segundo capítulo se realiza la investigación de campo y obtención de datos bajo la supervisión y tutela del director departamental para alcanzar suficiente información y elaborar con criterio técnico y metodológico las debilidades que presenta la central hidroeléctrica.

Para que se pueda dar este trabajo investigativo el director departamental brindó información relevante para que mediante un software se simule el comportamiento de los generadores en condiciones de falla y determinar porque el grupo 1, el grupo 2 y el grupo 3 tuvieron que quemarse paulatinamente.

2.4 Verificación de la hipótesis

Posteriormente adquirido la información del director departamental se determina la importancia del estudio para solucionar el problema de lo que llevo a la quema de los grupos de generación, existiendo suficiente justificación para desarrollar esta investigación.

2.4.1 Hipótesis

¿El diseño adecuado servirá para detectar y proteger a los grupos de generación ante falla a tierra de la central hidroeléctrica la península?

2.5 Problemática de la central hidroeléctrica La Península

Una de la problemática que presentan la central hidroeléctrica es el diseño inadecuado para soportar tal magnitud en fallas a tierra ya que la central posee un sistema aislado o neutro flotante. Todo este inconveniente ha ido creciendo por la falta de un dispositivo que detecte anomalías al momento que se presenta una falla a tierra, a tal sentido que los generadores se han ido quemando uno por uno dejando que opere solo el cuarto generador.

Para buscar el problema de raíz se realizaron estudios de comportamiento de la central mediante un software donde se verifico el comportamiento ante fallas a tierra y se determinó que el sistema no cuenta con el diseño adecuado para soportar una falla a tierra, y que los voltajes en las fases sanas se elevan en un 1,73 veces su valor nominal lo que provoca rotura del aislamiento del conductor de los devanados.

Desafortunadamente, cuando el primer fallo es intermitente. Las altas tensiones transitoria puede iniciar una segunda falla en el punto más débil del aislamiento y a su vez este fallo provocará daños considerables al grupo de generación como ya paso en algún tiempo que se quemaron los 3 generadores de 625 kva.

2.6 Elementos que intervienen en la simulación

Los elementos principales que se toman en cuenta para el diagrama de circuito unifilar son:

- Generador 1
- Generador 2
- Generador 3
- Generador 4
- Transformador de potencia 6900/13800 V de 3.5 MVA
- Barra de 6900V
- Barra de 13800V
- S/E Oriente
- Alimentador Izamba
- Alimentador Catiglata

2.6.1 Grupos de generación

La Casa de máquinas de la central Hidroeléctrica La Península cuenta con 3 grupos de generadores de las mismas características de diseño de 625 kva, y uno de 1875 kva de nacionalidad estadounidense de *General Electric*, estos grupos de generación están unidos a la barra 1 con una capacidad total de 2,5 MVA.

2.6.1.1 Generador 1-2-3

Teniendo presente que los generadores 1-2-3 son de las mismas características se tomó uno de ellos para dar referencia con los datos de placa que servirán para la simulación correspondiente. Como se muestra en la figura 21, correspondiente a la tabla 1

FIGURA 21. GENERADOR 1-2-3



Fuente: Casa de máquinas La Península
Elaborado por: Investigador

TABLA 1. GRUPO 1-2-3 DE GENERACIÓN

1-2-3 GRUPO DE GENERACIÓN	
N° 5513619	
Type:	ATB
Kva:	625
Rpm: 1200	1200
Form:	A1
Volts:	6900
Amp Arm:	52,3
Pf:	0,8
kW:	500
phase:	3
cV:	60
Exc Volts:	0,125
Amp field:	36
Arm By:	80° C

Fuente: Central Hidroeléctrica La Península
Elaborado por: Investigador

2.6.2 Datos de los Generadores 1-2-3 a plena carga

Los datos que se tomaron son valores nominales porque son a plena carga donde se determinó que su rendimiento habitual es del 80% por lo que lo hace muy susceptible ante cualquier falla. En la tabla 2 muestra los valores de los generador 1-2-3

TABLA 2. VALORES DE GENERADORES 1-2-3

POTENCIAS	UNIDAD
Potencia activa	407 KW
Potencia reactiva	41 KVAR
Potencia aparente	412 KVA
ENERGÍA	UNIDAD
Real	1824,664 MWH
Reactiva	213,021 MVARH
Aparente	1847,572 MVAH
ENTRE FASES	UNIDAD
R-S	6509 V
S-T	6521 V
T-R	6528 V
FASE	UNIDAD
R	35 Amp
S	37 Amp
T	37 Amp
FRECUENCIA	
59,97 Hz	
FACTOR DE POTENCIA	
Fp real	Fp desplazo
0,995 retraso	0,995 retraso

Fuente: Central Hidroeléctrica La Península
Elaborado por: Investigador

2.6.3 Generador 4

Esta unidad es diferente de las 3 anteriores y se caracteriza por ser de mayor potencia siendo este de 1875 kva de tipo trifásico y están sujetas a la barra 1 separadas por un disyuntor independiente como se muestra en la figura 22. Correspondientes a la tabla 3.

FIGURA 22. GENERADOR 4



Fuente: Central Hidroeléctrica La Península
Elaborado por: Investigador

TABLA 3. DATOS DE PLACA GENERADOR 4

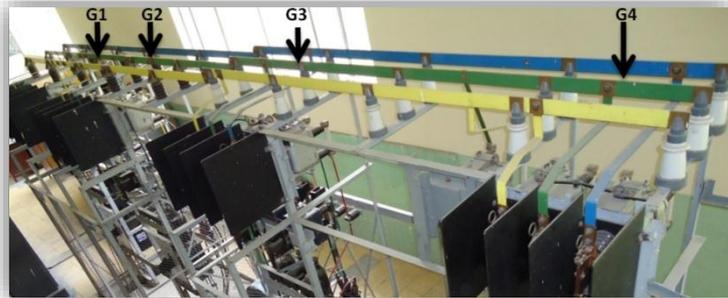
GENERADOR 4		
<u>AEG Marca Registrada</u>		
N°	260/602	
Tipo:	S6668/8	
Y:	6900 +/- 5%	
kVA:	1875	Pf : 0.8
Rpm:	900(1660)	Hz: 60
Exc:	60 v	218 Amp
Polos:	11	
Clase de aislamiento:	B	
VDE:	530/3,5	

Fuente: Central Hidroeléctrica La Península
Elaborado por: Investigador

2.6.4 Barra 1

La barra 1 es la encargada de recibir toda la energía que entregan los cuatro grupos de generación, desde esta barra también se toma como referencia para las otras protecciones, asimismo es tomada en cuenta para la simulación correspondiente. Véase en la figura 23.

FIGURA 23. BARRA 1



Fuente: Casa de máquinas La Península
Elaborado por: Investigador

2.6.5 Transformador de potencia subestación La Península

Este transformador de potencia es la encargada de elevar el voltaje de 6900 v a 13800 v para la distribución de los alimentadores Catiglata e Izamba. En el lado primario su conexión interna es en delta y el secundario es estrella aterrizada. Como se muestra en la figura 24 y los datos de placa en la tabla 4

FIGURA 24. TRANSFORMADOR DE POTENCIA



Fuente: Subestación La Península
Elaborado por: Investigador

TABLA 4. TRANSFORMADOR DE POTENCIA

PLACAS DEL TRANSFORMADOR	
Transformador de Potencia	
MVA	3,5
Conexión:	Dyn1
Impedancia:	5,5 %
V. Primaria:	6900
X1X2X3:	
I:	293
V. Secundario:	
1.-	14490Y/ 8366
2.-	-
3.-	13800Y/7967
4.-	-
5.-	-
I:	146

Fuente: Central Hidroeléctrica La Península
Elaborado por: Investigador

2.6.6 Carga de los Alimentadores Izamba y Catiglata

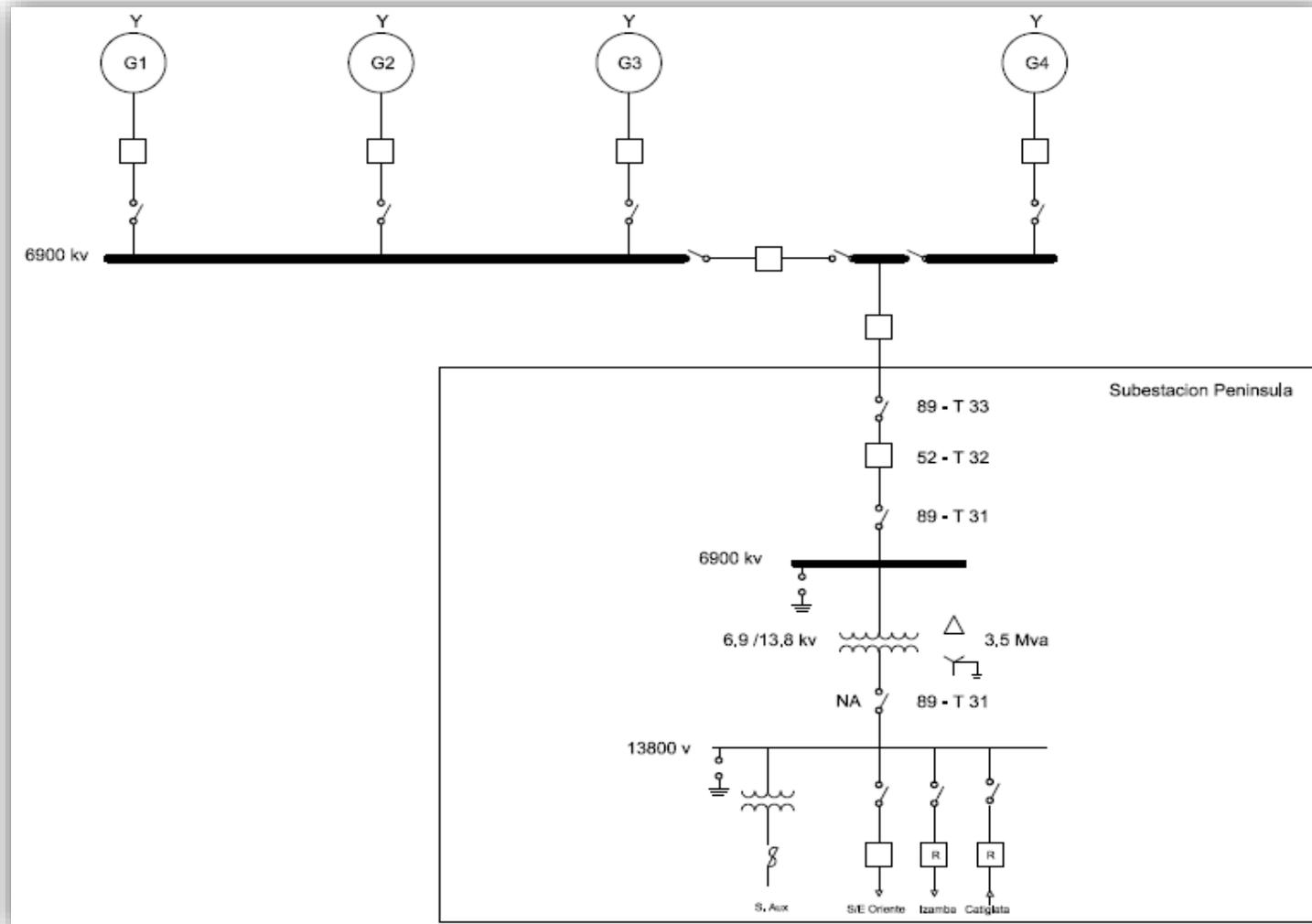
Las cargas expuestas a continuación fueron tomadas de las bitácoras que diariamente los señores operarios han registrado para el funcionamiento óptimo que rigen el CELEC. Los valores de carga son de los alimentadores de Izamba y Catiglata.

TABLA 5. CARGA DE LA SUBESTACIÓN LA PENÍNSULA

Datos de carga		
Izamba	P	0,797 mW
	Q	0,148 mVA
Catiglata	P	1,105 mW
	Q	0,577 mVA

Fuente: Central Hidroeléctrica La Península
Elaborado por: Investigador

2.6.7 Diagrama unifilar de la central hidroeléctrica La Península



2.7 Simulación en condición normal

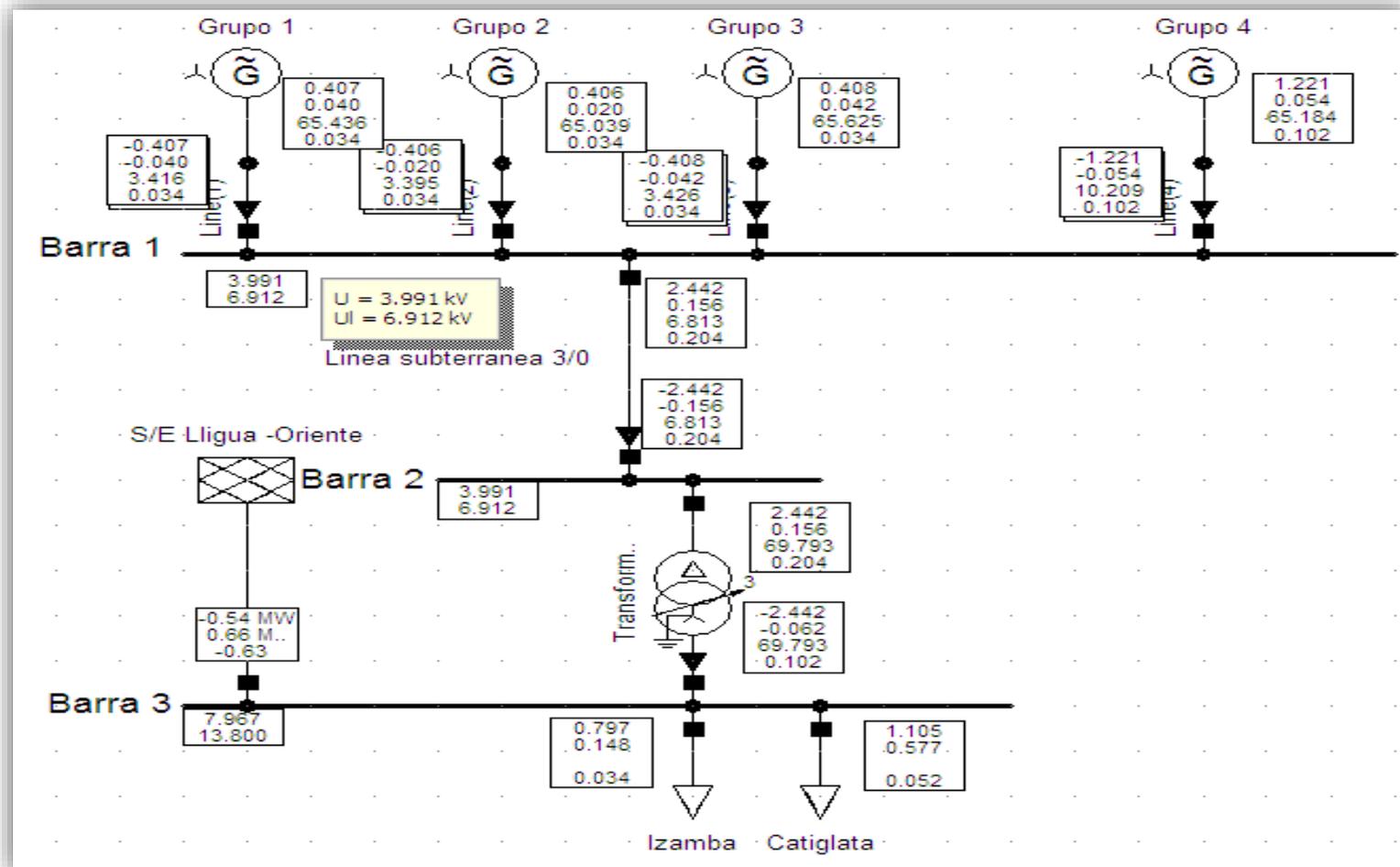
Consecuentemente se muestran las simulaciones del flujo de carga y los corto circuitos a tierra simulados por el software Digsilent power Factory versión 14.1 – Demo, las normas que ofrece el programa es la VDE 0102 (Verband Deutscher Elektrotechniker) alemana, norma IEC 60909 (International Electromechanical Institute) estadounidense, la norma ANSI (American National Standard Institute) estadounidense, y la norma de método completo.

Se usa el método completo porque dispone de la selección de cualquiera de la 3 fases (R,S,T) se dirijan a tierra, para la falla en cualquiera de los 4 grupos de generación

Para realizar la simulación de puestas a tierra en sistemas aislados se estudió los beneficios y desventajas que presentan los transformadores de puestas a tierra, donde se obtendrá valores contundentes para determinar el más adecuado e idóneo, siendo este simulado por Digsilent Power Factory 14.1-version Demo, compréndase que la modelación entregara valores similares a los de la central y es donde concluiremos con un diseño aceptable en beneficio de la central hidroeléctrica La Península.

A continuación y en primera instancia se simula en condiciones normales y nótese los valores de voltaje y corrientes.

2.7.1 Casa de máquinas - Central La Península - Condición normal



Fuente: software Digsilent power Factory 14.1 versión Demo

Elaborado por: Investigador

TABLA 6. VOLTAJES EN EL FLUJO DE CARGA

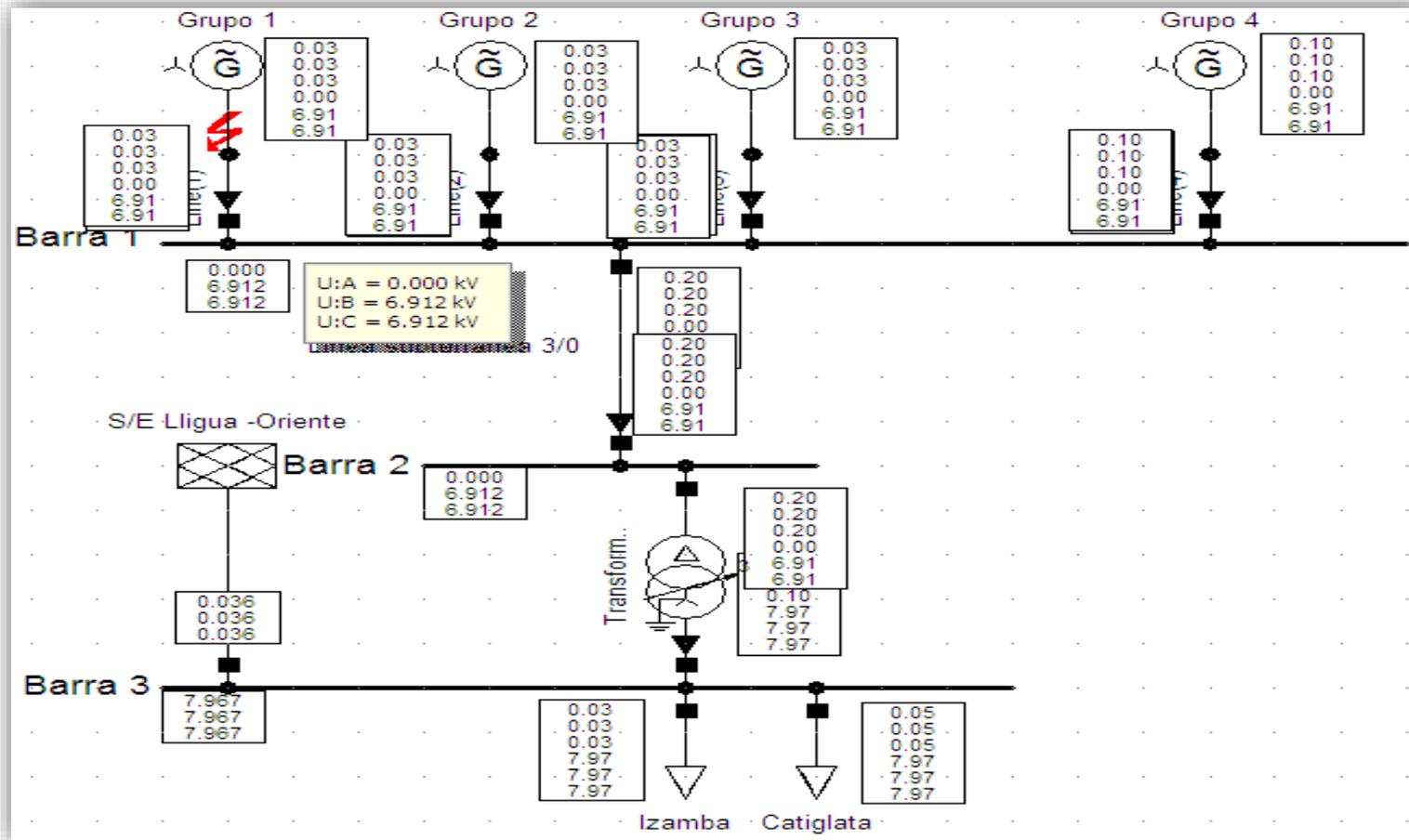
	VOLTAJE LINEA – LINEA (voltaje)	VOLTAJE LINEA-NEUTRO (voltaje)	CORRIENTE (Amperios)
GRUPO 1-2-3	6912 V	3991 V	34
GRUPO 4	6912 V	3991 V	102
BARRA 1-2	6912 V	3991 V	204
BARRA 3	13800 V	7967 V	102

Como se puede apreciar en la tabla 6. El voltaje de línea – línea en los 4 grupos es el 6912 V y en voltaje de línea-neutro es de 3991 V es decir el software hace referencia una línea-neutro. El voltaje de línea-neutro se obtiene del valor de voltaje línea-línea dividido para $\sqrt{3}$.

En flujo de carga demuestran que cada generador aporta 34 amperios a la barra 1 este valor es respectivamente para los generadores pequeños y el generador grande aporta 102 amperios a la barra 1, sumándose un total de 204 amperios del aporte de la central la Península, estos valores son importante ya que posteriormente se podrá dar un criterio comparativo de lo que sucede en momento de falla.

Con respecto al transformador de potencia en el devanado primario la corriente tiene el mismo valor de 204 amperios y en el secundario cambia a 102 amperios, dado que es por la relación de transformación de 6900 V a 13800 V.

2.7.2 Casa de máquinas - Central La Península - Condición de falla a tierra - fase R



Fuente: Software Digsilent power Factory 14.1 version Demo

Elaborado por: Investigador

TABLA 7. VOLTAJE EN CONDICIONES DE FALLA TIERRA

		VOLTAJE DE LINEA-LINEA (voltaje)	VOLTAJE LINEA-NEUTRO (voltaje)
GRUPO 1-2-3	R	6912	0
	T	6912	6912
	S	6912	6912
GRUPO 4	R	6912	0
	T	6912	6912
	S	6912	6912
BARRA 1	R	6912	0
	T	6912	6912
	S	6912	6912

Fuente: Investigador

Elaborado por: investigador

Para la realización de falla a tierra se tomó como referencia el método completo, ya que se realizó el cortocircuito a tierra en la fase R. Como se muestra en la tabla 7. Claro es que en cualquier fase que se realiza la falla a tierra (R, T, S) los resultados no variarían porque el comportamiento es simétrico en las tres fases.

El cortocircuito a tierra se realiza en el grupo 1 y de acuerdo a la recapitulación anterior en sistemas aislados el voltaje en las fases sana se elevan en 1.73 veces del voltaje nominal, poniendo en peligro los generadores; téngase en cuenta que una falla en cualquier punto de los generadores e incluyendo la barra son afectados por el desnivel de voltaje de línea-neutro de 6912 Voltios, lo que se determina que si el diseño no es adecuado para soporta tal magnitud de voltaje, podrían sufrir graves daños los generadores.

En definitiva un diseño de sistemas aislados proporciona funcionamiento continuo ante falla a tierra, dicho de otra manera, como no hay conexión a tierra, el sistema sigue funcionando con toda su normalidad, pero existe sobre voltaje en las fases sanas.

TABLA 8. COMPARACIÓN DE VOLTAJES

	CONDICIÓN NORMAL		CONDICIÓN DE FALLA
	VOLTAJE LINEA – NEUTRO		VOLTAJE LINEA - NEUTRO
GRUPO 1-2-3-4	R-N	3991	0
	T-N	3991	6912
	S-N	3991	6912
BARRA 1	R-N	3991	0
	T-N	3991	6912
	S-N	3991	6912

Fuente: Investigador

Elaborado por: investigador

En esta tabla 8 En condiciones normales se puede apreciar que los voltaje en todos los elementos de la central es de 3991 v. y el voltaje en condición de falla fase – neutro es de 6912 v. lo que este valor podría afectar el aislamiento de los conductores del devanado de los generadores.

2.7.3 Diagrama de Secuencia del sistema

2.7.3.1 Secuencia positiva-negativa y cero

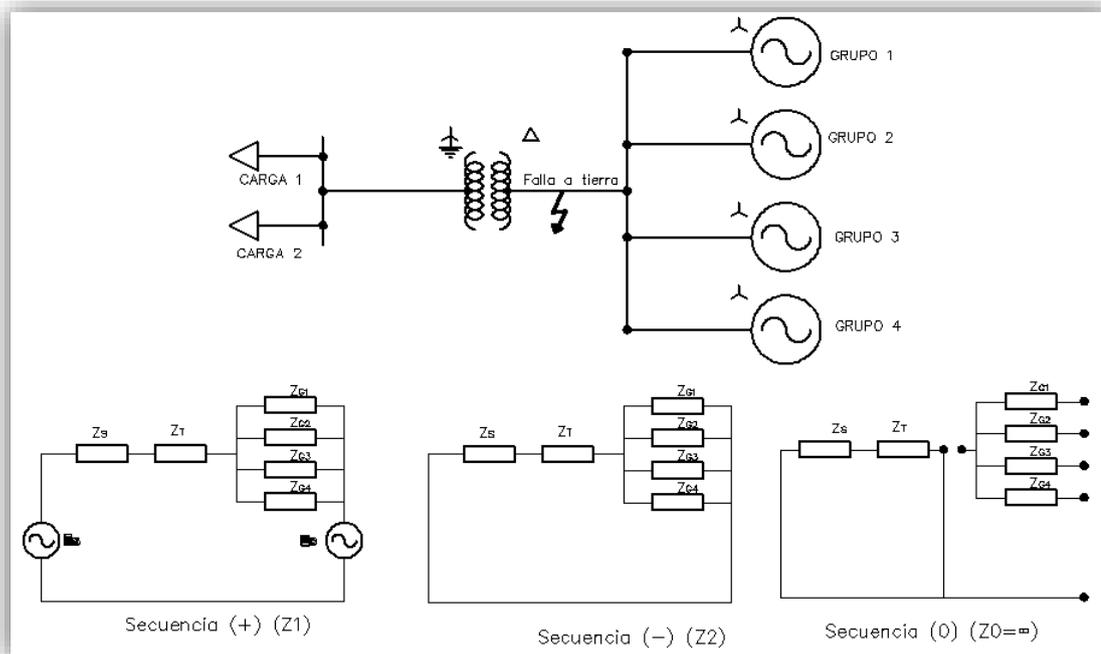
Cuando aparece una falla a tierra en el sistema de la central La Península, la corriente de falla monofásica es igual a cero, porque la impedancia de secuencia cero es infinito (∞) y de acuerdo a la fórmula de corriente de cortocircuito monofásica es cero (0).

$$I_{CC1\phi} = \frac{3V_f}{Z_1+Z_2+Z_0}$$

Ecuación 6

$$0 = \frac{3V_f}{\infty}$$

FIGURA 25. DIAGRAMA DE SECUENCIAS SIN DISEÑO DE PUESTA A TIERRA



Fuente: Central Hidroeléctrica La Península

Elaborado por: Investigador

Una falla a tierra en cualquier punto de la central tiene los mismos efectos y en consecuencia los tres diagramas planteados de secuencias positiva, negativa y cero, manifiestan que la falla a tierra es percibida por la secuencia cero, de este modo el sistema no detecta fallas a tierra y el servicio es continuo, teniendo una impedancia (Z_0) infinita con una corriente de cortocircuito de cero.

2.8 Control de flujo de corriente de falla

La relación de los dos elementos que es el resistor o inductor y el transformador es de suma importancia para calibrar el flujo de corriente en la falla a tierra, ya que si el valor de resistencia es de bajo, la corriente será alta, en cambio si la resistencia es de alto, la corriente será baja. Bajo estos parámetros la resistencia es quien varia su valor para controlar el flujo de corriente de falla, es por eso que el encargado de variar el flujo de corriente de falla es el resistor cumpliendo con la relación del primer capítulo que menciona que la relación X_0/X_1 debe ser positiva y no mayor que 3 y R_0/X_1 debe ser positiva y no mayor que 1.

Donde

X₀= reactancia de secuencia cero

X₁= reactancia de secuencia positiva

R₀= resistencia de secuencia cero

2.9 Determinación de parámetros eléctricos para el diseño de transformador zig-zag

2.9.1 Potencia de transformador zig-zag

Para dimensionar la potencia del transformador zig-zag se toma el valor de voltaje de línea-línea y el valor de corriente máxima a tierra. Usando esta formula

Potencia de transformador zig-zag

$$P = \frac{V_{L-L} * I_G}{\sqrt{3} * 1000} \quad \text{Ecuación 7}$$

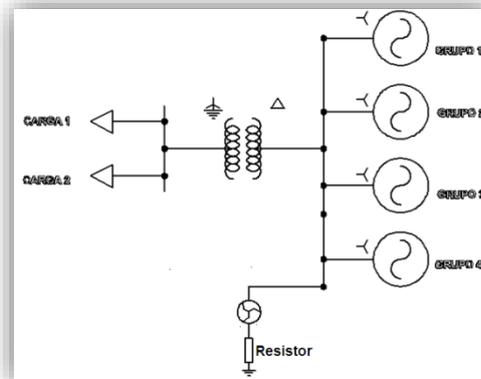
Donde

V_{L-L}= voltaje de line-línea

I_G = corriente máxima de falla a tierra

Como se muestra en la figura 26. Este diagrama demuestra la conexión del transformador zig-zag en la barra 1 agregando un flujo de corriente de retorno.

FIGURA 26. TRANSFORMADOR ZIG-ZAG DE PUESTA A TIERRA



Fuente: Investigador

Elaborado por: Investigador

2.10 Determinación de parámetros eléctricos para el diseño de transformador delta- estrella

2.10.1 Potencia de transformador delta-estrella

La corriente es quien determinará el flujo que estará en entre los valores de 300 y 500 amperios con un factor de despeje de falla de 3 % en 10 segundos.

$$I_{\text{falla } x \text{ fase}} = \frac{I_G}{3}$$

$$P = \sqrt{3} * I_{\text{falla } x \text{ fase}} * V_l - l * 3\%$$

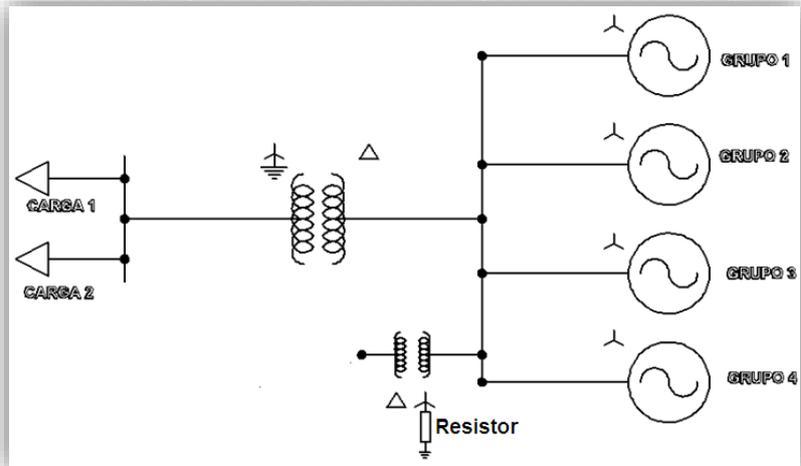
$$P = 47,68 \text{ kva}$$

Para el diseño de transformador delta-estrella es la similar a zig-zag ya que los dos cumplen con los mismos parámetros de diseño y tiene un sistema a tierra, la única diferencia que se presenta es que la potencia varía notoriamente y su costo es referencial.

2.10.2 Conexión en la barra 1

La conexión del transformador trifásico delta-estrella es de la siguiente manera el lado de alto voltaje (6900v) será el de estrella aterrada y el lado de bajo voltaje (480v) será en conexión abierta, donde el conexionado de estrella aterrada irá en la barra 1 y el conexionado delta quedará abierta, permitiendo una corriente de retorno. Ahora bien los voltajes del transformador serán de 6900 voltios en la barra 1 y 480 voltios en el delta, teniendo un flujo de corriente de retorno en el sistema. Como se muestra en la figura 27.

FIGURA 27. TRANSFORMADOR DELTA-ESTRELLA DE PUESTA A TIERRA.



Fuente: investigador

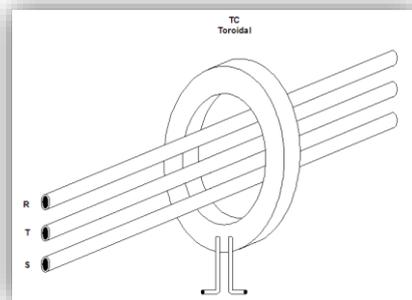
Elaborado por: Investigador

Del mismo modo se incorporará un resistor en el lado estrella del transformador trifásico aterrado, para controlar el flujo de corriente de cortocircuito. Y algo más que añadir son los TC`s para cada generador que serán encargados de verificar el flujo de corriente en los generadores.

2.11 Dimensionamiento de transformador de corriente tipo toroidal

Como se manifestó anteriormente para controlar el flujo de corriente se incorpora un resistor, donde se varia hasta que sea optimo y pueda detectar el transformador de corriente (TC) que se incorporó en las fases del generador y se cumplirá con la teoría que menciona que en condiciones normales, la sumatoria de la corrientes es igual a cero, y que en condición de falla la sumatoria de corrientes en las fases del generador tendrá un valor residual. Como se muestra en la figura 28

FIGURA 28. TRANSFORMADOR DE CORRIENTE – TIPO TOROIDAL



Fuente: investigador

Elaborado por: Investigador

$$3I_0 = I_A + I_B + I_C = 0$$

Ecuación 8

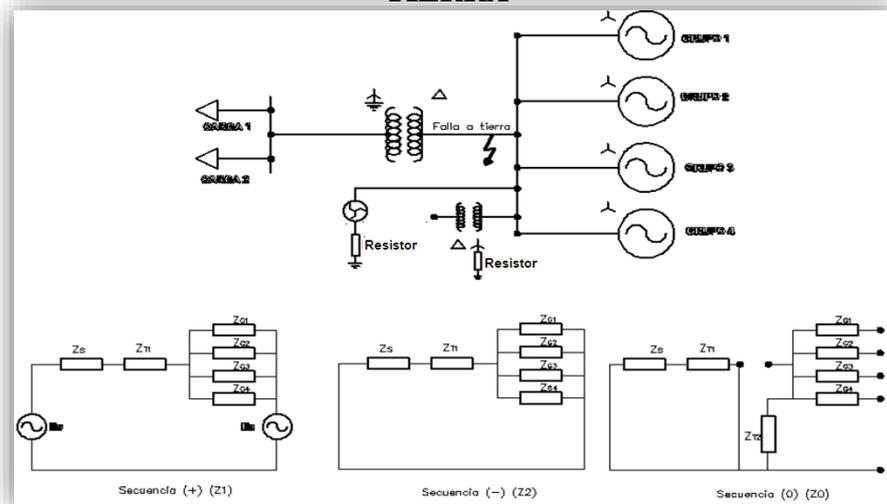
Los TC's estarán incorporados en los cuatro generadores los tres pequeños tendrán un relación de corriente de 100/5 amperios y el cuarto de 200/5 Amperios, con estos valores se pretende detectar cualquier falla a tierra que estén dentro de estos valores, para con la cual cada TC estará conectadas a un relé que dará una alarma de aviso.

2.12 Diagrama de Secuencia del sistema

2.12.1 Secuencia positiva-negativa y cero

Una vez determinado el método adecuado para un sistema de puesta a tierra los diagrama de secuencia positiva, negativa y cero queda de la siguiente manera.

FIGURA 29. **DIAGRAMA DE SECUENCIAS CON DISEÑO DE PUESTA A TIERRA**



Fuente: investigador

Elaborado por: Investigador

El diagrama demuestra que ante una falla tierra y colocado un transformador delta estrella con una resistencia en el neutro en la barra 1, el flujo de corriente tiene camino de retorno por el neutro del transformador, lo que determina que al variar la resistencia del neutro a tierra se controla el flujo de corriente de falla, permitiendo un aterramiento al sistema por medio del transformador delta-estrella aterrado y que al mismo tiempo aparece un valor de impedancia (Z_0) en el sistema, con lo que llevo dicho hasta aquí, el diagrama de secuencias queda de esta manera véase en la figura 29

2.13 Elección de transformador de puesta a tierra

2.13.1 Semejanzas del Transformador zig-zag y transformador delta-estrella

- En condiciones anormales (falla), proporciona impedancias bajas y fluyen corrientes altas en el neutro de los dos transformadores.
- En condiciones normales poseen impedancias altas, proporcionando corrientes bajas y considerables para la detección.
- Ante una falla, facilita un retorno de corriente por la derivación de tierra.
- Puede limitarse el flujo de corriente con una resistencia o inductancia limitadora.
- Puede ser usada en baja y media tensión hasta 15 KV.
- Relativamente la separación del núcleo y el bobinado conjuntamente con el efecto apantallamiento entre bobinas limitan la capacitancia a tierra a un mínimo.

2.13.2 Comparativos técnicos del Transformador zig-zag y transformador delta-estrella

TABLA 9. TRANSFORMADOR ZIG –ZAG TRANSFORMADOR DELTA ESTRELLA

Transformador zig-zag	Transformador delta-estrella
Es un Transformador especialmente para puestas a tierra	Es un Transformador trifásico común.
No posee terminales del devanado secundario visible	Posee terminales del devanado primario y secundario, y se puede instalar un carga adicional en el secundario del transformador
Requiere de diseño especial lo que lo hace difícil de conseguir en el mercado eléctrico	No requiere de diseño especial lo que le hace fácil de conseguir en el mercado eléctrico
La potencia del transformador está dada de acuerdo al flujo de corriente de falla.	La resistencia y la potencia del transformador son quienes proporcionan el adecuado flujo de corriente de falla.
En régimen normal la impedancia es elevada y es como que no existiera.	Actúa solo cuando existe falla a tierra
Por ser un diseño especial es relativamente caro.	Por la sencillez de su diseño es relativamente barato.

Fuente: investigador
Elaborado por: Investigador

CAPITULO III

3 PROPUESTA

3.1 Desarrollo de la propuesta

3.1.1 Tema

Presentación de un transformador delta-estrella para obtener un sistema de puesta a tierra bajo las exigencias técnicas y normas eléctricas enfocados a la realidad operacional, para que pueda ser implementado en la casa de máquinas de la Central Hidroeléctrica La Península perteneciente a la EEASA ubicada en el barrio La Península cantón Ambato

3.2 Presentación

La central hidroeléctrica La Península perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., distribuye energía a los alimentadores de Izamba, Catiglata y a la subestación Oriente de la red de 13800 V del cantón Ambato.

La central La Península se basó en los estudios de un sistema de puesta a tierra artificial para detectar fallas a tierra en sistema aislados en la red de 6900 V utilizando los parámetros técnicas y normas estandarizadas de la IEEE 142, C400EA APPLICATION GUIDE y aplicaciones del método completo de cortocircuito que el software Digsilent Power Factory 14.1 Demo dispone para que la simulación sea totalmente real.

3.3 Justificación

Este trabajo investigativo brindó a la Central Hidroeléctrica La Península con el estudio y simulación de un sistema de puesta a tierra para detectar falla a tierra, para sistema aislados en lo que se hace factible para que los generadores no se los exponga nuevamente a quemadura en los devanados del estator y así posteriormente pueda ser implementados protegiendo la seguridad de los generadores.

3.4 Objetivos

3.4.1 Objetivo general

- Sugerir un diseño de protección a los grupos de generación de conexión en Y, mediante un transformador delta – estrella aterrada en la barra 1 de la casa de máquinas de la central hidroeléctrica La Península, por medio del estudio y cálculos estandarizados de las normas técnicas, para que en un futuro se implemente el equipo de protección en el sistema eléctrico de la central.

3.5 Análisis de factibilidad

3.5.1 Viabilidad económica

Con el análisis financiero se darán valores para determinar la inversión que tendrá el proyecto de la elaboración de un transformador zigzag para en un futuro no muy lejano sea implementado por parte de la empresa eléctrica Ambato.

TABLA 1. INVERSION EN EQUIPOS ELECTRICOS

Inversión en equipos eléctricos		
Concepto	V Unidad	V. Total
Transformador delta	3650	3650
Conductores para conexión	800	800
Conectores y herramientas para conexión	500	500

TOTAL		4.950
Inversión de obra civil		
Concepto	V. Unidad	V. Total
Cajas de control	200	200
Base interruptor	200	200
TOTAL		400
Inversión de sistema de control		
Concepto	V. Unidad	V. Total
Tablero de control	250	250
protecciones	200	200
accesorios	100	100
Mano de obra	1000	1000
total		1.550

Fuente: Investigadores.

Elaborado por: Investigadores.

TABLA 2. INVERSION TOTAL

Inversión del proyecto	
Concepto	Valor Total
Inversión en equipos eléctricos	4.950
Inversión de obra civil	400
Inversión de sistema de control	1.550
total	6.900

Fuente: Investigadores.

Elaborado por: Investigadores.

El total de la inversión de equipos eléctrico es de 4950, seguida por la inversión de obra civil que es de 400, y por la inversión de sistemas de control que es de 1.550, con estos valores se obtiene el valor total de la inversión que es de 6.900 dólares.

3.6 Desarrollo de la propuesta

3.6.1 Sistema actual de la central la Península

El sistema aislado de tierra que presenta la central hidroeléctrica la península ha hecho que se busque solución para que los generadores no se vean afectados.

En la gran mayoría de sistemas aislados de tierra el diseño adecuado es quien ayuda a proteger los fenómenos de falla a tierra, porque si bien es cierto, un diseño soportará magnitudes de voltajes elevados.

Es por eso que para dimensionar un diseño ante falla de esa calamidad se ha tomado los voltajes como referencia, es decir el voltaje de línea neutro debería ser el de voltaje de línea-línea y el voltaje de línea-línea deberá ser el voltaje de línea-línea multiplicado por la raíz de 3, de este modo el diseño soportaría voltaje que presentan cuando haya fallas a tierra. Matemáticamente debería ser de esta manera como se observa en esta tabla 11

TABLA 3. VOLTAJES DE LA CENTRAL LA PENÍNSULA

Valores actuales de voltaje		
Voltaje de line-línea		6900 V
Voltaje de línea-neutro		3983 V
Valores de diseño de voltaje		
Voltaje de line-línea	»	Voltaje línea -neutro
6900	»	6900
Voltaje de línea-línea* $\sqrt{3}$	»	Voltaje de línea-línea
$6900*\sqrt{3}$	»	11937

Fuente: investigador

Elaborado por: Investigador

En esta tabla demuestra lo que los voltajes deber tener para tolerar el sobre voltaje en el sistema eléctrico aislados. Lastimosamente el diseño antiguo no se lo puede rectificar y se ve una alternativa más efectiva y lógica.

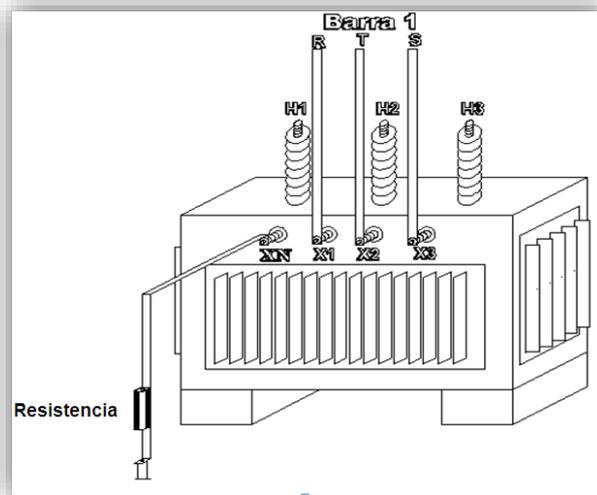
3.6.2 Transformador trifásico delta-estrella como sistema de puesta a tierra

Para solucionar el problema de obtener una camino de tierra cuando aparezca una falla, es incorporar un transformador trifásico delta-estrella en la barra 1; con la conexión estrella aterrizada en el lado de la barra 1 y el lado delta en conexión

abierta. El neutro del transformador y de la barrilla a tierra se conecta una resistencia.

De acuerdo a las simulaciones se ve una potencia factible del transformador estrella-delta de 50 kva y una resistencia de 50 ohmios entre el conductor neutro del transformador y la barrilla a tierra. Como se muestra en la figura 30.

FIGURA 30. CONEXIÓN DEL TRANSFORMADOR DELTA-ESTRELLA



Fuente: Investigador.

Elaborado por: Investigador.

3.6.3 Transformador de corriente (TC) tipo toroidal - 51G

3.6.3.1 TC's para los generadores de 625 Kva

El transformador de corriente tipo toroidal 51G es el encargado de percibir corrientes residuales en las fases (R, T, S); para los tres generadores pequeños, su relación de transformación es de 100/5 Amperios, y la resistencia que se establece es de 50 ohmios, permitiendo el flujo de corriente de 42 amperios en la fase fallida R, y en las fases sanas es de 35 amperios, para lo cual existe una falla por corriente residual. Como se muestra en la simulación de los generadores 1-2-3.

3.6.3.2 TC para el generador de 1875 Kva

Para el cuarto generador se dispone de un TC de relación de transformación de 200/5 Amperios y se verificó que en la fase fallida (R) su valores de corriente es de 33 Amperios y en las fases sanas (T, S) es de 102 amperios, lo que se

determina que existe corriente residual. Como se muestra en la curva del relé de disparo.

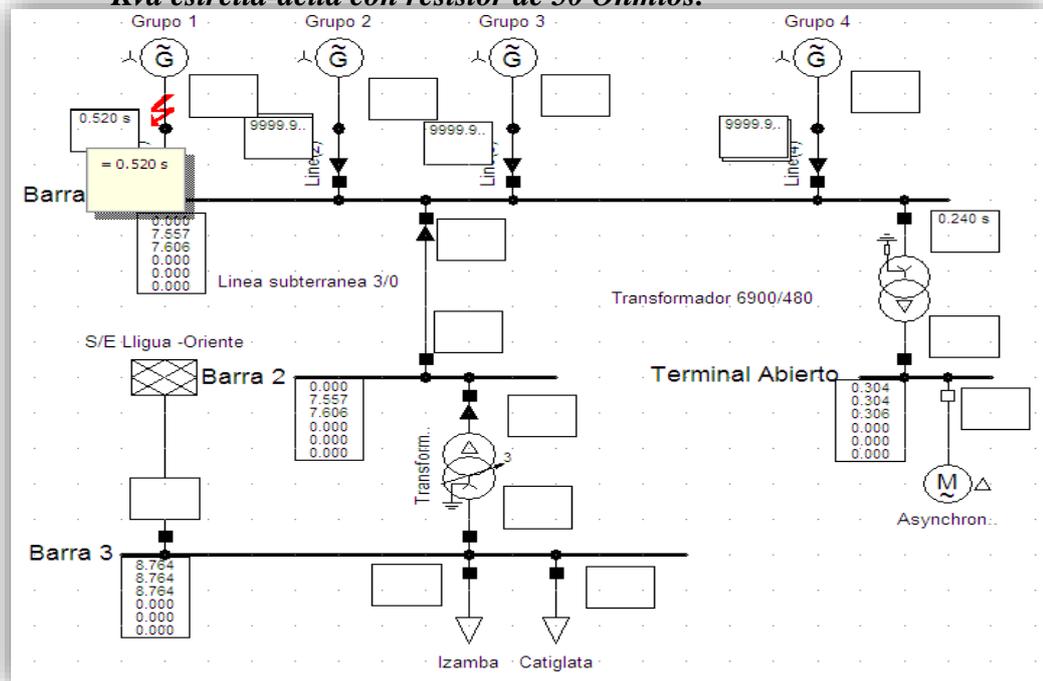
3.6.3.3 Curvas del relé genérico de sobre-corriente de los Generadores 1-2-3-4

Esta curva demuestra que el transformador de corriente (TC) detecta falla a tierra para que actúe el respectivo relé y de una alarma de aviso, la gráfica es el mismo en los tres generadores de 625 Kva. Su tiempo de disparo es de 0.5 segundo cuando aparezca la corriente residual, que es de 42 Amperios. Del mismo modo en el cuarto generador su valor de tiempo de disparo del relé es de 0,5 segundos con una corriente residual de 33 amperios.

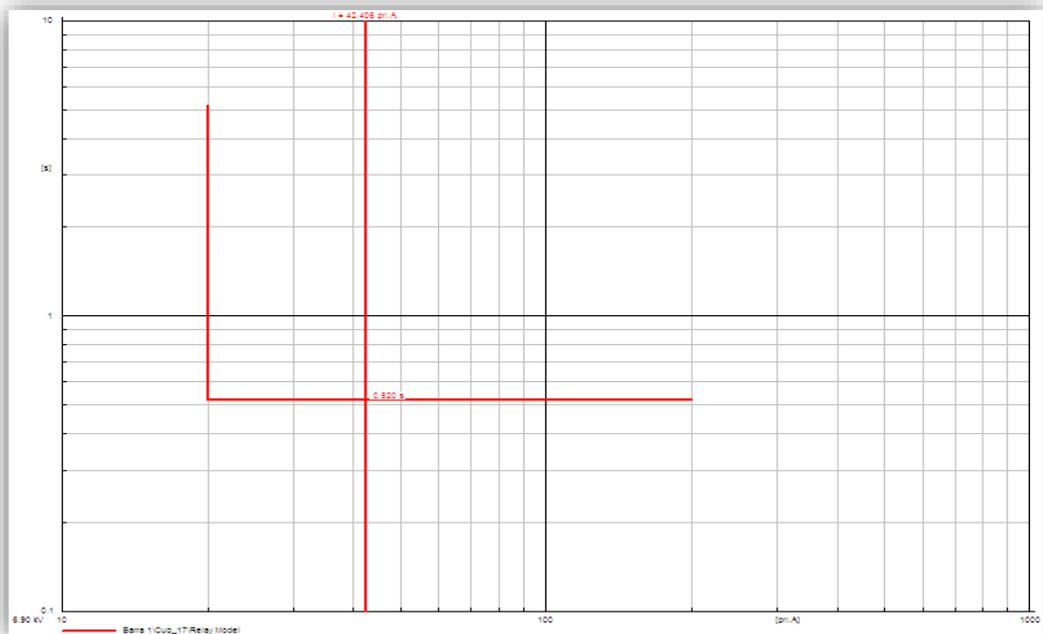
Bajo este argumento también se incorpora un relé y un TC en el transformador delta-estrella para que dispare en el tiempo de 0.2 segundo anunciando que existe una falla a tierra. Esta falla puede ser como se mencionó anteriormente en cualquiera de los cuatro generadores o en la barra.

Habría que decir lo que significa dar una alarma a cualquier generador y solucionar el problema ante una falla a tierra, como se puede dar una idea a la realidad los valores puede ajustarse para el tiempo de disparo para su pronto despeje de su avería o su desconexión de la unidad.

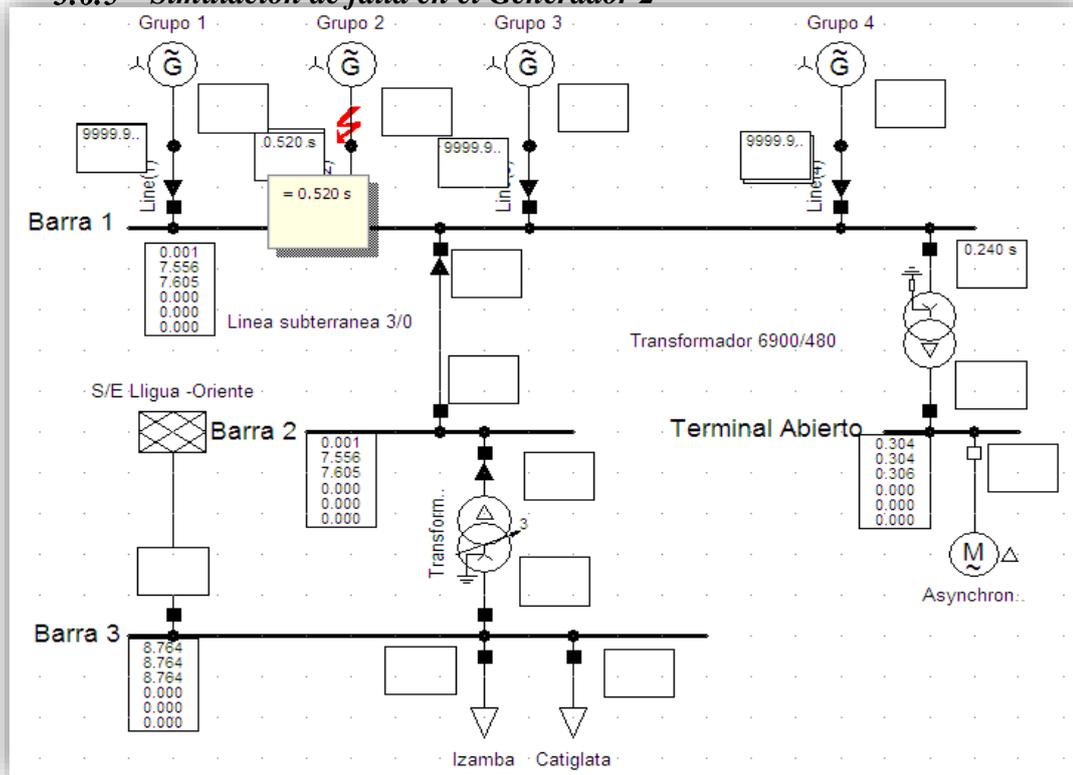
3.6.4 Simulación de falla en el Generador 1 con transformador trifásico 50 Kva estrella-delta con resistor de 50 Ohmios.



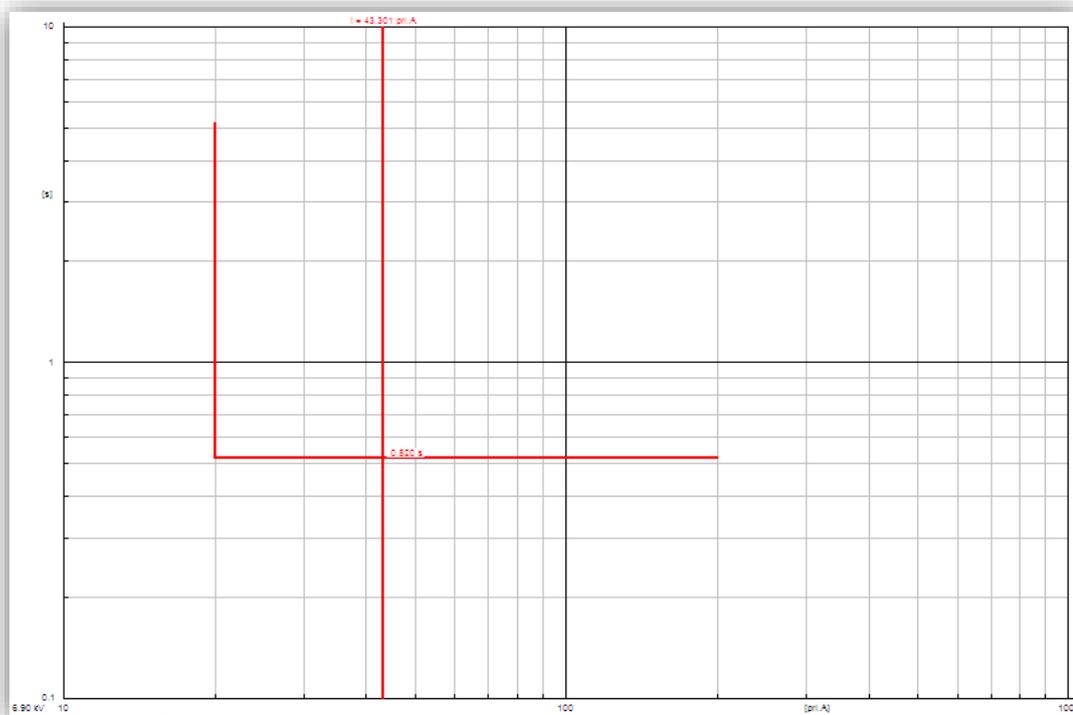
3.6.4.1 Curva de rele - Generador 1



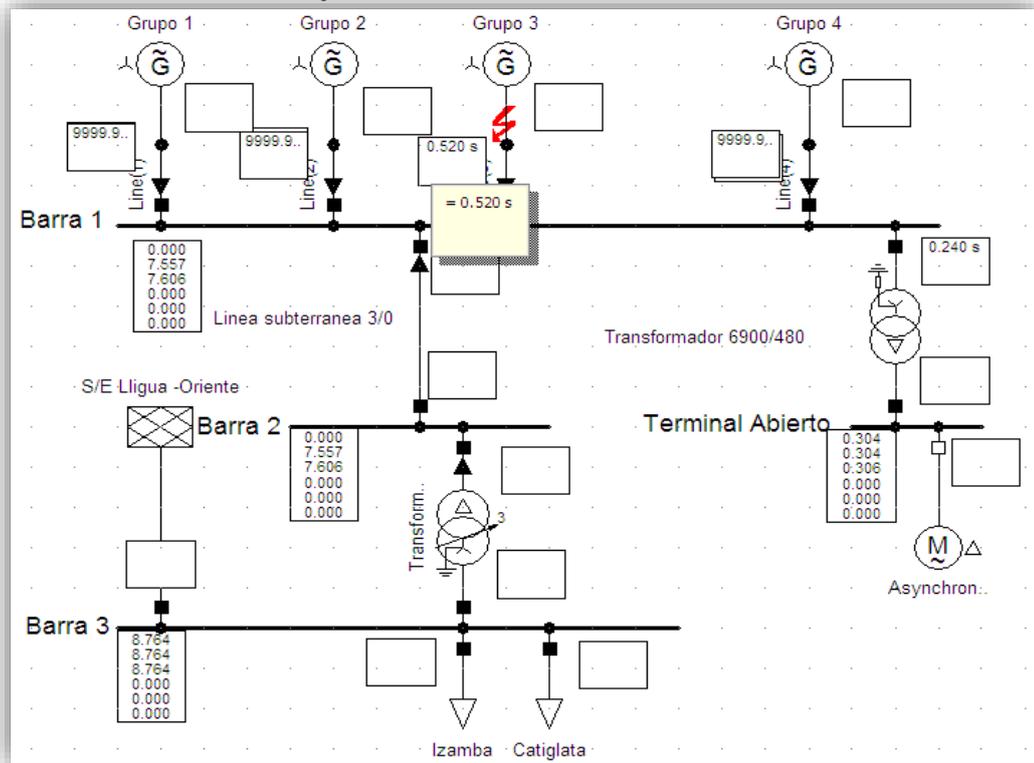
3.6.5 Simulación de falla en el Generador 2



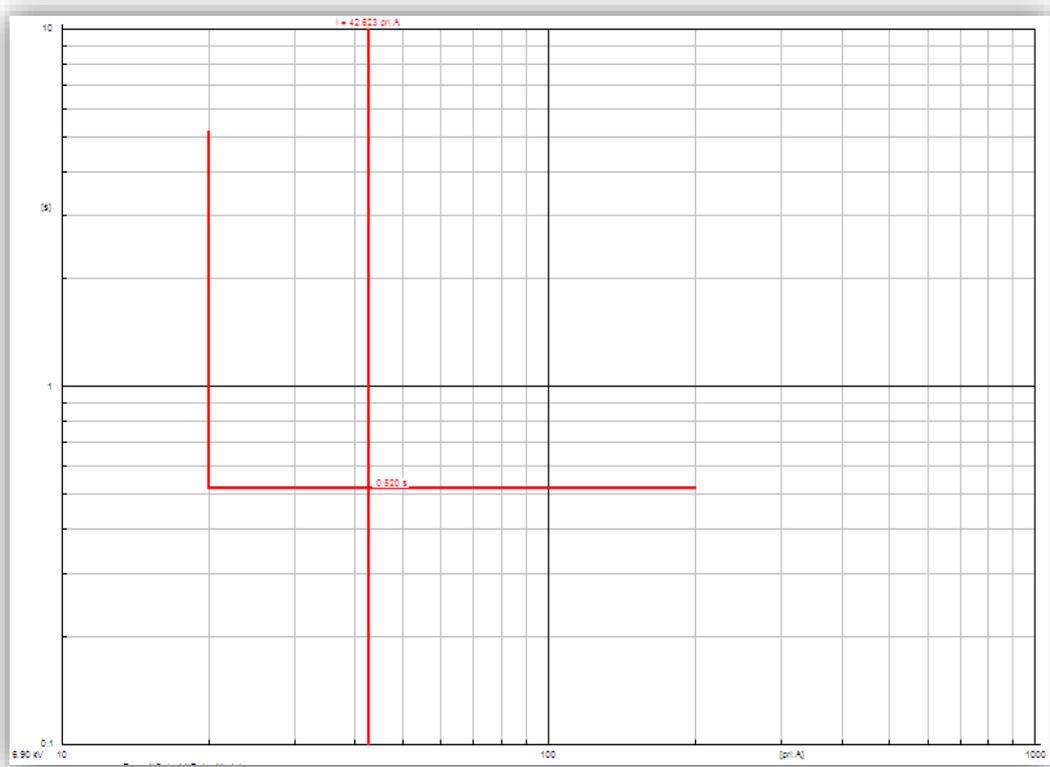
3.6.5.1 Curvas del relé - Generadores 2



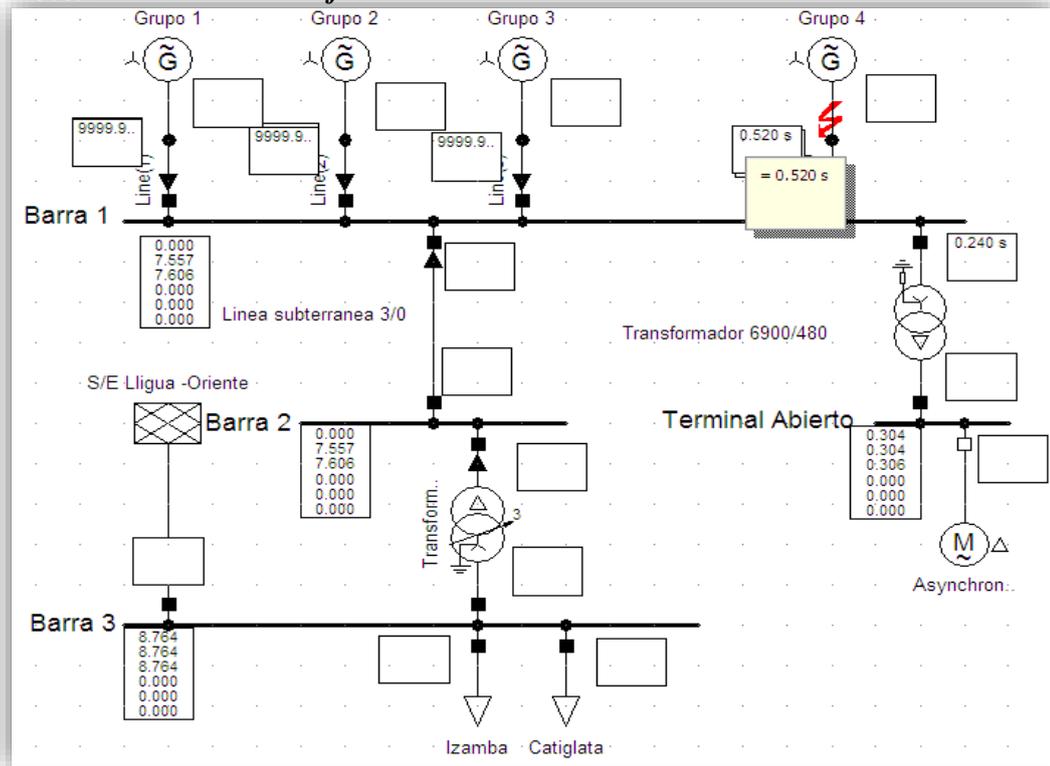
3.6.6 Simulación de falla en el Generador 3



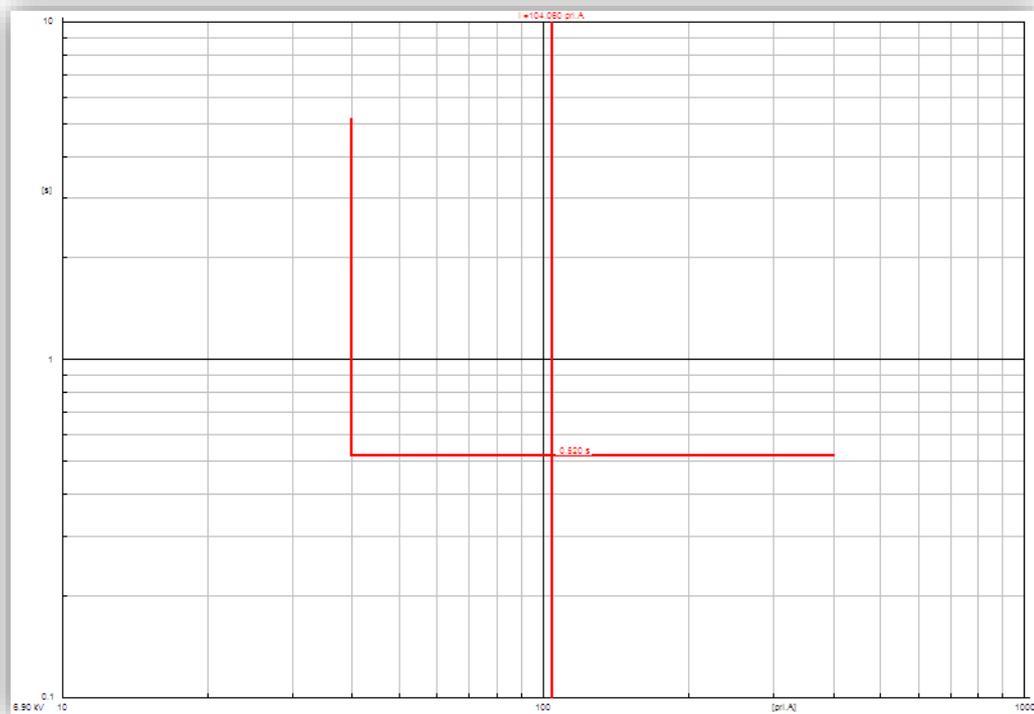
3.6.6.1 Curvas del relé - Generadores 3



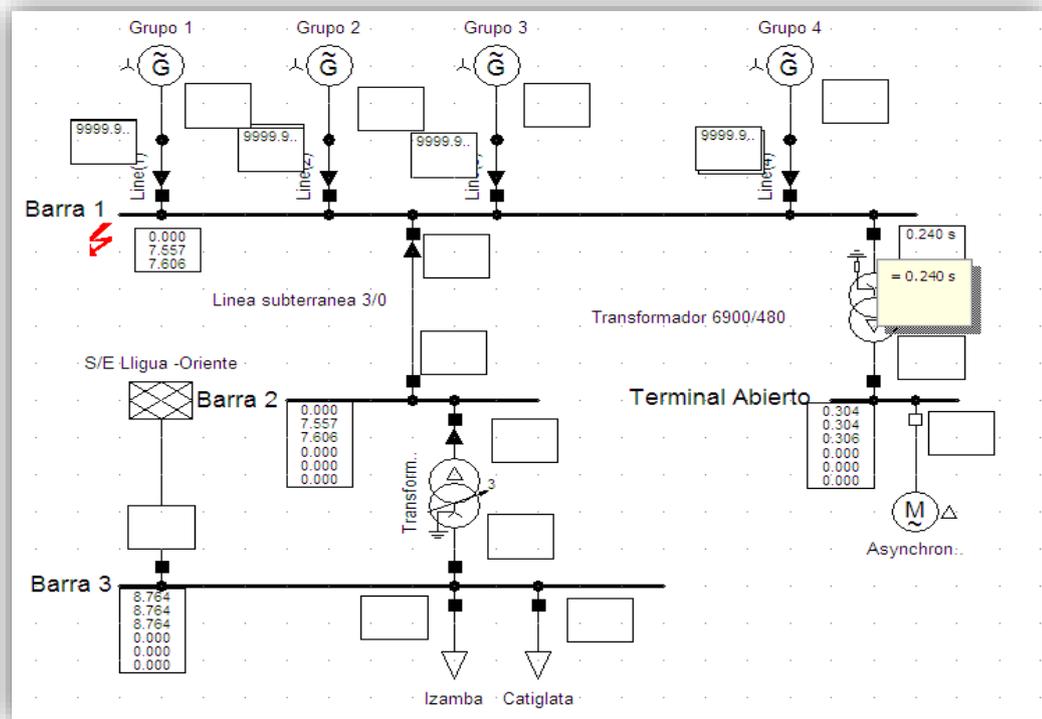
3.6.7 Simulación de falla en el Generador 4



3.6.7.1 Curvas del relé - Generadores 4



3.6.8 Simulación en la barra 1



3.6.9 Conclusión

- Se determinó que la central Hidroeléctrica La Península es un sistema aislado, lo que demuestra que al presentarse una falla a tierra no sea percibido por ningún elemento aterrado, continuando con el servicio de operación, siendo obligado a soportar tal magnitud de sobre voltaje en los devanados de los estatores del generador, ante esta desperfecto el software hace referencia un valor de fase-neutro en la fase fallida de 0 voltios y en las fases sanas de 6882 voltios, y 6972 voltios.
- Por consiguiente ante una falla a tierra se pudo dar cuenta que los voltajes se elevan en todas los elementos del sistema, es decir en los cuatro generadores e inclusive en las barras, lo que repercute que el diseño de aislamiento debe soportar esa magnitud de sobre-voltaje y el diseño de la central no es el adecuado haciéndolo vulnerable para el deterioro prematuro del aislamiento o a su vez la quema de la misma.
- Se determinó que un transformador trifásico delta-estrella, aparte de que es relativamente económico, es un buen sistema de aterrizamiento, ya que este equipo permite un camino de corriente de falla a tierra, este también proporciona adicionar una carga en la conexión en delta, sin que sea afectado el sistema.
- Se determinó que la resistencia que se incorporó en el transformador trifásico en el lado de estrella aterrizada, es el principal gestor para variar el flujo de corriente de falla, permitiendo encontrar un TC más sensitivo de corriente residual, siendo detectado por la diferencia de las fases $R=42$, $T=34$, $S=34$ amperios.
- Se determinó que para diseñar un sistema optimo que soporte voltajes alto en sistema aislados de tierra, se debe considerar que el voltaje de línea-neutro debe ser el de voltaje de línea-línea, y el voltaje de línea-línea debe multiplicarse por raíz de tres. Es decir voltaje de línea neutro 6900 voltios y voltaje de línea-línea 12000 voltios.

3.6.10 Recomendación

- Debido a que los sistemas de generación tiene un servicio continuo ante fallas a tierra, es necesario disponer de sistema de puesta a tierra por medio de un transformador delta estrella por razones económicas y eficiencia de flujo magnético, donde garanticen el buen funcionamiento de los mismos.
- Trabajar en mejorar o cambiar los dispositivos de protecciones de electromecánicos a electrónicos ya que la central hidroeléctrica cuenta con dispositivos de protección de gran volumen en comparación con las de la actualidad, esto mejoraría el ángulo visual.
- Es recomendable hacer saber que en el conexionado de transformador delta, se podría colocar una carga adicional, es decir el transformador también presta ese servicio de colocar una carga en delta, sin que sea afectado de ninguna manera su funcionamiento, cabe mencionar que la carga se podría ser como ejemplo un motor de hasta de 150 Kw .
- Los sistemas aislados de tierra pueden ser óptimo en lugares estratégicos como en sistemas eléctricos petroleros, donde no se requiere de corrientes de falla a tierra por el peligro que conlleva.
- Al momento de presenciar una falla tierra se puede diferencia los tiempos de disparos de los relés entre los generadores y el transformador delta estrella, para identificar de mejor manera en donde se encuentra la falla.

BIBLIOGRAFÍA

- ALSTOM . Generator Protection Relays P34x/EN M/H44. [book auth.] Neither ALSTOM.
- *ANORMALIDADES EN SISTEMA DE POTENCIA*. FRANCISCO, GONZALES. 2007. s.l. : CAPITULO 4, 2007.
- Bolaños, Silvana, et al. Constructivismo. *Paradigma Constructivista en la Educación*. [Online] Webnode. [Cited: Noviembre 25, 2013.] <http://constructivismo.webnode.es/paradigma-constructivista/>.
- Calero, Iván. 2008. *Protección de Generadores Eléctricos mediante relés microprocesados multifuncionales*. Quito : Escuela Politécnica Nacional, 2008.
- Carballo, Roberto. 2006. Blog de Roberto Carballo. *Aprender Haciendo*. [Online] WordPress, Noviembre 17, 2006. [Cited: Noviembre 25, 2013.] <http://www.robertocarballo.com/2006/11/17/165/>.
- Castaño, Samuel Ramírez. *Protección de Sistemas Eléctricos*.
- CUADERNO TECNICO SCHNEIDER ELECTRIC . 2010. www.schneider-electric.com. [Online] 2010.
- Dalen, Deobold Van. 1996. *Manual de Técnica de la investigación educacional*. s.l. : Paidós, 1996.
- Detjen, Edson R. 1992. *Grunding Transformer Application and Associated Protection Schemes*. 1992.
- Donald G., Fink. 1984. *Manual Práctico de Electricidad para Ingenieros*. 1984.
- Folgueiras Bertomeu, Pilar. 2009. *Métodos y Técnicas de recogida y análisis de infomación cualitativas*. 2009.
- Gonzáles , Miguel. 2002. *Metodo Experimental y la Ciencia*. 2002.
- Grainger, John and Stevenson, William Jr. 2001. *Análisis de sistemas de Potencia*. México : Editorial McGraw-Hill, 2001.
- GUIASELECTRICISTAS.COM.
<http://electricistas.webcindario.com/Electricidad>.
<http://electricistas.webcindario.com/Electricidad>. [En línea]
- Harper, Gilberto Enríquez. 1996. *Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por relevadores*. México : Editorial Limusa S.A, 1996. ISBN 968-18-4815-2.

- —. 2001. *Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por relevadores*. México : Editorial Limusa, 2001.
- Herrera , Luis, Medina , Arnaldo and Naranjo , Galo. 2014. *Tutoría de la Investigación Científica*. Ambato : s.n., 2014.
- Herrera, Luis. 2004. *Tutoría de la investigación científica*. Ambato : Universidad Técnica de Ambato, 2004.
- IEEE 142. 2007. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN INDUSTRIAS Y COMERCIALES. [book auth.] COMITE DE INGENIEROS DE SISTEMA DE POTENCIA. 2007.
- Lopez, Josè and Cencasel Cia. Ltda. 2007. *Coordinaciòn de Protecciones de Sistema Electricos de Potencia*. Quito : s.n., 2007.
- Margil, S. and Ramirez, Alanis. 2005. *Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia*. Monterrey : Universidad Autónoma de Nuevo León, 2005.
- *Mecanismos de deterioro de generadores eléctricos*. García, Arturo, et al. 1998. 1, México : Instituto de Investigaciones Eléctricas de la ciudad de México, 1998, Vol. IIE.
- Naghi, Mohammad. 2005. *Metodologñia de la investigación*. mexico : Limusa, 2005.
- Noriega Stefanova, Ernesto. 2007. *Generalidades sobre los armónicos y su influencia en los sistemas de distribución de energía*. Matanzas : Empresa Eléctrica Matanzas, 2007.
- Piedra, María. 2005. *Gerencia Estratégica de Mantenimiento de la Empresa Plásticos del Litoral - PLASTLIT*. Guayaquil : Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2005.
- POWER AND PRODUCTIVITY. 2013. www.abb.com.ec. www.abb.com.ec. [Online] 2013.
- Renzo T., Amador. 2007. *protecciones Eléctricas*. Colombia : s.n., 2007.
- Rodriguez , Ernesto. 2003. *Metodologia de la Investigacion*. 2003.
- Ruíz, Estefanía Reyes. 2012. *Impedancia homopolar*. 2012.
- S.V.Kulkarni, S.A. Khaparde. 2013. *Transformer Engineering, Design, technology and Diagnostics*. 2013.
- Siemens. 2011. *Soluciones Integrales para pequeñas centrales hidroelectricas*. Alemania : Siemens AG, 2011.

- Villegas, José Luis. 2012. *Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia*. México : Universidad Autónoma de México, 2012.

ANEXOS

Alta tensión.- Tensión nominal de transformador de potencia a nivel de 13800 V

Baja tensión.- Tensión nominal de transformador de potencia a nivel de 6900 V

Amperios.- Unidad de medida de la intensidad de corriente eléctrica, cuyo símbolo es Amp.

Central hidroeléctrica.- Central generadora que produce energía eléctrica utilizando turbinas que aprovechan la energía potencial y cinética del agua.

Cortocircuito.- Conexión accidental o voluntaria de dos bornes a diferentes potenciales. Lo que provoca un aumento de la intensidad de corriente que pasa por ese punto, pudiendo generar un incendio o daño a la instalación eléctrica.

Energizar.- Permitir que el equipo adquiriera potencial eléctrico

Falla.- Es una alternación o daño permanente o temporal en cualquier parte del equipo, que varía sus condiciones normales de operación y que generalmente causa un disturbio, o a su vez Perturbación que impide la operación normal.

Frecuencia.- Número de veces que la señal alterna se repite en un segundo. Su unidad de medida es el hertz (Hz).

Generador.- Es el dispositivo electromagnético por medio del cual se convierte la energía mecánica en energía eléctrica.

Generadores.- Son todas aquellas unidades destinadas a la producción de energía eléctrica

Inducción.- es la producción de una diferencia de potencia eléctrica (o voltaje) a lo largo de un conductor situado en un campo magnético cambiante. Es la causa fundamental del funcionamiento de los generadores, motores eléctricos y la mayoría de las demás máquinas eléctricas.

Operación.- Es la aplicación del conjunto organizado de técnicas y procedimientos destinados al uso y funcionamiento adecuado de elementos para cumplir con un objetivo.

Potencia.- Es el trabajo o transferencia de energía realizada en la unidad de tiempo. Se mide en Watt (W).

Potencia eléctrica.- Tasa de producción, transmisión o utilización de energía eléctrica, generalmente expresada en Watts.

Potencia instalada.- Suma de potencias nominales de máquinas de la misma clase (generadores, transformadores, convertidores, motores) en una instalación eléctrica.

Potencia máxima.- Valor máximo de la carga que puede ser mantenida durante tiempo especificado.

Potencia real.- Parte de la potencia aparente que produce trabajo.

Comercialmente se mide en KW.

Potencia real instalada.- capacidad efectiva.

Producción de una central.- Energía eléctrica efectivamente generada por una central durante un período determinado.

Protección.- Es el conjunto de relevadores y aparatos asociados que disparan los interruptores necesarios para separar equipo fallado, o que hacen operar otros dispositivos como válvulas, extintores y alarmas, para evitar que el daño aumente de proporciones o que se propague.

Protección eléctrica.-Conjunto de relés y aparatos asociados que abren los interruptores para separar un elemento del sistema de transmisión en falla, con la finalidad de evitar daños en estos elementos.

ANEXOS

DATOS GEOGRÁFICOS DE LA ZONA

