UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD Y CONTROL INDUSTRIAL

TITULO:

DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA Y MALLA DE PUESTA A TIERRA DE LA SUBESTACIÓN DE VILCABAMBA

PROYECTO DE TRABAJO PRÁCTICO PREVIO AL GRADO DE TECNÓLOGO EN ELECTRICIDAD Y CONTROL INDUSTRIAL

AUTOR:

Byron Alcívar Bermeo Íñiguez

DIRECTOR :

Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa

LOJA - ECUADOR

2014

CERTIFICACIÓN

Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa
DOCENTE DEL ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA; Y DIRECTOR DEL INFORME TÉCNICO.

CERTIFICA:

Que el trabajo de investigación titulado **"DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA Y MALLA DE PUESTA A TIERRA DE LA SUBESTACIÓN DE VILCABAMBA"**, desarrollado por el Señor Byron Alcívar Bermeo Íñiguez, previo a optar el Título de ***Tecnólogo en Electricidad y Control Industrial*** ha sido realizado bajo mi dirección, mismo que cumple con los requisitos exigidos en las Normas de graduación, por lo que autorizo su presentación ante el tribunal.

Loja, 14 de enero del 2014

Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa
DIRECTOR DEL INFORME TÉCNICO.

AUTORIA

Yo Byron Alcívar Bermeo Iñiguez declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: Byron Alcívar Bermeo Iñiguez

Firma: .....

Cedula: 1104502321

Fecha: 15/01/2014

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo **BYRON ALCIVAR BERMEO IÑIGUEZ**, declaro ser autor(a) de la tesis titulada: **DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA Y DE LA MALLA DE PUESTA A TIERRA DE LA SUBESTACION VILCABAMBA**, como requisito para optar al grado de: **Tecnólogo en Electricidad y Control Industrial**; autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI; en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenido la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 15 días del mes de enero del dos mil catorce, firma el autor.

Firma: .....

Autor: Byron Alcívar Bermeo Iñiguez
Cedula: 1104502321
Dirección: La Argelia **Coreo:**alcivitar@hotmail.com
Teléfono: 072 3041819 **Celular:** 0980694346

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa.
Tribunal de grado: Ing. Norman Augusto Jiménez León.
Ing. Jorge Luis Maldonado Correa. Mg Sc
Ing. Jorge Enrique Carrión Gonzales Mg Sc

AGRADECIMIENTO

A la ***Universidad Nacional de Loja***, y el ***Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables***, representada en cada uno de los docentes, quienes incondicionalmente me brindaron sus conocimientos y apoyo en mi formación técnica, para un correcto y ético desempeño como futuro profesional.

Al **ING. RAMIRO BORRERO ESPINOZA,** por su acertada dirección, interés y colaboración irrestricta en el desarrollo del presente proyecto.

A mis familiares, compañeros y amigos, quienes me animaron y apoyaron sin desfallecer para culminar la presente con éxito.

BYRON ALCÍVAR BERMEO ÍÑIGUEZ

DEDICATORIA

A DIOS por sobre todas las cosas.

A mis padres, quienes día tras día con gran sacrificio y sufrimiento han luchado incansablemente para inculcarme valores de respeto, trabajo abnegado y apoyo incondicional, para hacer de mí un hombre de bien con principios morales bien definidos, asegurando con ello, el éxito de cada proyecto emprendido en mi vida.

De manera especial a mi querida abuelita ***Rosa Cabrera***, quien me ha brindado su apoyo moral y espiritual, durante toda mi carrera estudiantil.

A mis hermanos y amigos, que supieron brindarme todo su apoyo y aliento, en todo momento para culminar con éxito mi carrera.

BYRON ALCÍVAR BERMEO ÍÑIGUEZ

RESUMEN

Las subestaciones son los puntos de conexión de generadores y las líneas de transmisión o distribución que sirven para reducir a media o baja tensión para satisfacer las necesidades de los usuarios, industriales, comerciales o domésticos.

También pueden ser puntos de interconexión y seccionamiento de varias fuentes de energía, sistemas de control de tensión, corrección de factor de potencia, regulación de sobretensiones, medición, monitoreo y registro de la información operativa, entre otras funciones.

El equipo básico de una subestación es el transformador, ya sea individual o en grupo (por ejemplo, un banco de transformadores), con sus respectivos elementos de conexión/desconexión de cargas, como disyuntores termomagnéticos (breakers), seccionadores (switches), barras (bus bars), conmutadores, reactores, capacitores, pararrayos, instrumentación, dispositivos de control y otros medios de protección u operación específicos de las actividades propias de una subestación en particular.

Los niveles de tensión eléctrica trifásica comunes en las redes de transmisión o subtransmisión oscilan entre los 12,47kV y los 245kV, dependiendo de la región y de las diversas subestaciones de distribución del circuito interconectado nacional o local y, generalmente, su administración está en manos de las compañías generadoras de energía.

Los circuitos primarios, que reciben la energía transmitida, operan en el rango de 4,16kV a 34,5kV. Se utilizan para el suministro de cargas en áreas específicas, como un parque industrial o una urbanización. Los transformadores, que convierten y distribuyen esta energía, varían desde los 10 hasta los 2500kVA y se instalan en los postes del tendido aéreo, en pedestales o enterrados.

El objetivo principal de las mallas de tierra en subestaciones es el de garantizar protección al personal durante fallas eléctricas, aunque también sirven como medio de disipación de corrientes dentro de la tierra de tal forma que no excedan los límites operativos de los equipos. Existen demasiados parámetros que afectan las tensiones alrededor del área de la subestación, los cuales son dependientes del sitio de instalación, por lo cual es imposible diseñar una malla que pueda ser aceptada en cualquier lugar, dado que tanto la magnitud de la corriente a disipar, la duración de la falla, la resistividad del terreno, el material superficial, así como el tamaño y forma de la malla tienen gran influencia sobre las tensiones que aparecen.

SUMMARY

The substations are the points of connection of generators and the transmission lines or distribution that are good to reduce to stocking or low tension to satisfy the necessities of the users, industrial, commercial or domestic.

They can also be interconnection points and sectioning of several energy sources, systems of control of tension, correction of factor of power, regulation of surges, mensuration, monitoring and registration of the operative information, among other functions.

The basic team of a substation is the transformer, either singular or in group (for example, a bank of transformers), with its respective elements of connection/ disconnection of loads, as disyuntor's termomagnéticos (breakers), sectioning (switches), sweep (bus bars), switches, reactors, capacitors, lightning rod, instrumentation, control devices and other protection means or specific operation of the activities characteristic of a substation in particular.

The levels of tension electric common phases in the transmission nets or subtransmisión oscillate between the 12,47kV and the 245kV, depending on the region and of the diverse substations of distribution of the national or local interconnected circuit and, generally, their administration is in hands of the generating companies of energy.

The primary circuits that receive the transmitted energy, operate in the range from 4,16kV to 34,5kV. They are used for the supply of loads in specific areas, as an industrial park or an urbanization. The transformers that convert and they

distribute this energy, they vary from the 10 until the 2500kVA and they settle in the posts of the one spread air, in pedestals or buried.

The main objective of the earth meshes in substations is the one of guaranteeing protection to the personnel during electric flaws, although they also serve like half of dissipation of currents inside the earth in such a way that you/they don't exceed the operative limits of the teams. They exist too many parameters that affect the tensions around the area of the substation, reason why which are dependent of the installation place, it is impossible to design a mesh that can be accepted in any place, since so much the magnitude of the current to vanish, the duration of the flaw, the resistivity of the land, the superficial material, as well as the size and form of the mesh have great influence on the tensions that you/they appear.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN ..... **ii**

CARTA DE AUTORIZACIÓN ..... **iii**

AUTORIA ..... **iii**

AGRADECIMIENTO ..... **v**

DEDICATORIA ..... **vi**

RESUMEN ..... **vii**

SUMMARY ..... **ix**

ÍNDICE GENERAL ..... **xi**

I. INTRODUCCIÓN **2**

II. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD **5**

2.1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA DE LA EERSSA 6

2.1.1. Área De Concesión 6

2.1.2. Abastecimientos De Energía 6

2.2. SUBESTACIONES 7

2.3. LÍNEAS DE SUBTRANSMISIÓN 7

2.3.1. Alimentadores Primarios 8

2.3.2. Transformadores de Distribución 8

2.4. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA 9

2.4.1. Redes Eléctricas de Potencias 9

2.4.2. Tipos de redes eléctricas 9

2.5. SUBESTACIONES DE TRASMISIÓN ELÉCTRICA 10

2.6. CLASIFICACIÓN 11

2.6.1. De acuerdo a la configuración 11

2.6.2. De acuerdo a su función 11

2.6.3. De acuerdo a su tipo de servicio 12

2.7. TIPOS DE SUBESTACIONES 12

2.7.1. Según la función 12

2.7.2. Según emplazamiento 15

2.8. ESTRUCTURA CARACTERÍSTICA DE UNA SUBESTACIÓN APARAMENTA DE MANIOBRA Y CORTE 17

2.8.1. Seccionadores 17

2.8.2. Interruptores 17

2.8.3. Partes principales 17

2.8.4. Posición línea 19

2.8.5. Posición barras 20

2.8.6. Posición primario transformador 21

2.8.7. Posición transformador 22

2.8.8. Posición barras/celdas lado baja 23

2.9. AISLAMIENTO ELÉCTRICO 24

2.9.1. Nivel de Aislamiento 25

2.10. APARAMENTA DE MANIOBRA Y CORTE SECCIONADOR 26

2.10.1. Aparamenta de maniobra y corte Interruptor automático 27

2.10.2. Aparamenta de protección y medida 29

2.10.3. Equipos de medida 31

2.10.4. Equipos de protección 32

2.11. ESQUEMAS ELÉCTRICOS DE SUBESTACIONES CRITERIOS DE DISEÑO 33

2.11.1. Configuraciones tipo 34

2.11.2. Interruptor sencillo – Barra simple 34

2.11.3. Interruptor sencillo – Barra partida 35

2.11.4. Interruptor simple – barra de transferencia 35

2.11.5. Interruptor y medio 36

2.11.6. Interruptor doble – barra doble 37

2.12. MALLA DE PUESTA A TIERRA 37

2.12.1. Alta Tensión 38

2.12.2. Aterrizamiento 38

2.12.3. Conductor de Puesta a Tierra 39

2.12.4. Corriente a Tierra 39

2.12.5. Electrodo Artificial 39

2.12.6. Electrodo Auxiliar para Tierra 39

2.12.7. Electrodo para Tierra 39

2.12.8. Electrodo Primario para Tierra 39

2.12.9. Elevación del Potencial de Tierra (GPR) 39

2.12.10. Media Tensión 40

2.12.11. Rejilla para tierra 40

2.12.12. Resistencia Eléctrica del Cuerpo Humano 40

2.12.13. Sistema de Tierra 40

2.12.14. Tapete para Tierra 40

2.12.15. Tensión Transferida 41

2.12.16. Tierra 41

2.12.17. Tensión de Contacto (Vc) 41

2.12.18. Tensión de Paso (Vp) 41

2.12.19. Tensión de Malla (Vm) 41

2.13. FUNCIONES DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA 42

2.14. REQUISITOS DE UNA MALLA A TIERRA 42

2.15. ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA MALLA A TIERRA 43

2.15.1. Puesta a Tierra de Cercas Metálicas 44

2.15.2. Medición de la Resistividad del Terreno 44

2.16. DISEÑO DEL SISTEMA DE TIERRA 44

2.16.1. Selección del conductor de la Malla 45

2.16.2. Tensiones Reales de Paso y de contacto 45

2.16.4. Valor de la resistencia de Puestas a Tierra 47

2.16.5. Método de Laurent y Niemann 47

2.16.6. Método de Dwight 48

III. MATERIALES 50

IV. PROCESO METODOLÓGICO EMPLEADO 52

4.1. DESCRIPCIÓN SUBESTACIÓN VILCABAMBA 53

4.2. LÍNEAS DE SUBTRANSMISIÓN 54

4.3. DIAGRAMA DE FLUJO DE VOLTAJE DE TRANSELECTRIC 55

4.4. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN 56

4.5. ESTRUCTURA ARR 56

4.5.1. CONDUCTOR 57

4.5.2. CABLE DE GUARDIA 59

4.7. PATIO 69kV a 13,8kV 59

4.7.1. Estructuras: 59

4.7.2. Herrajes y Accesorios 60

4.7.3. Aisladores 61

4.8. SECCIONADORES 62

4.8.1. El Seccionador de Barra del Transformador 2Q2 63

4.8.2. Seccionador de Barra salida a Palanda3Q2 64

4.8.3. Seccionador de Línea Palanda 3Q3 65

4.9. DISYUNTOR 3Q1 65

4.10. TRANSFORMADOR 66

4.10.1. Transformadores de Potencia 66

4.10.2. Autotransformadores 66

4.12. POSICIONES A 13.8KV 68

4.13. RECLOSER GENERAL Y ALIMENTADORES 69

4.13.1. Parte Superior 70

4.13.2. Sistema de Medida 71

4.13.4. Sistema de Control 71

4.13.5. Sistema de Protección 72

4.13.6. Parte Inferior 72

4.14. RELÉS DEL RECLOSER GENERAL Y ALIMENTADORES 73

4.14.1. Relé de Sobrecorriente 73

4.14.2. Falla Instantánea 73

4.14.3. Falla Temporizada 74

4.14.4. Relé de Recierre 74

4.15. TABLERO DE SERVICIOS AUXILIARES 74

4.15.1. Tablero del Cargador de Batería 75

4.15.2. Banco de Baterías 76

4.16. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT) 77

4.16.1. Estructura de SPT 77

4.16.2. Levantamiento del SPT 78

4.16.3. Tipos de Empalmes 79

V. RESULTADOS 84

5.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS 85

5.2. ANÁLISIS DEL SPT 86

VI. CONCLUSIONES 89

VII. RECOMENDACIONES 93

VIII. BIBLIOGRAFÍA 96

8.1. BIBLIOGRAFÍA 97

IX. ANEXOS 100

ANEXO A 101

9.1. Simbología en Instalaciones Eléctricas 101

ANEXO B 102

9.2. Planimetría Subestación Vilcabamba. 102

9.2.1. Diagrama unifilar 102

9.2.2. Transformador de potencia..... **¡Error! Marcador no definido.**

9.2.3. Seccionador de puesta a tierra 3Q5 – Esquema Funcional**¡Error! Marcador no definido.**

9.2.4. Transformador de servicios auxiliares ..... **¡Error! Marcador no definido.**

9.2.5. Seccionador de línea salida a Palanda 3Q3 – Esquema Funcional..... **¡Error! Marcador no definido.**

ANEXO C 103

9.3. Estructura de Malla de Puesta a Tierra 103

ANEXO D 104

9.4. PROYECTO 104

“DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA Y MALLA DE PUESTA A TIERRA DE LA SUBESTACIÓN DE VILCABAMBA”

I. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica, es una fuente principal en las actividades industriales, agrícolas y ganaderas, pesqueras, comerciales y domésticas. En cada región del mundo se contempla el suministro de todo tipo de energías, para asegurar y mantener la operatividad de la población.

La generación de energía eléctrica, requiere de fuentes naturales y artificiales con altos costos. Esto contribuye a que los precios del consumo sean elevados y en ocasiones no es redituable el desarrollo y mantenimiento de plantas que generan estas energías. Además existen regiones del mundo que no tienen las fuentes naturales y tampoco el capital económico necesario para que tener la tecnología con la industria generadora de electricidad.

Una subestación es un conjunto de máquinas, aparatos y circuitos, que tienen la función de modificar los parámetros de la potencia eléctrica, permitiendo el control del flujo de energía, brindando seguridad para el sistema eléctrico, para los mismos equipos y para el personal de operación y mantenimiento.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), describe que cada gobierno de cada país debe tener equipos y sistemas que generen y transporten energía eléctrica a costos accesibles para toda la población, en la medida que se requiera.

En toda instalación industrial o comercial es indispensable el uso de la energía, la continuidad de servicio y calidad de la energía consumida por los diferentes equipos, así como la requerida para la iluminación, es por esto que las subestaciones eléctricas son necesarias para lograr una mayor productividad.

Es bien sabido que la mayoría de los sistemas eléctricos necesitan ser aterrizados y que esta práctica probablemente se inició en los primeros días de los experimentos eléctricos. Entonces, como ahora, la estática se descargaba por conexión a una placa que estaba en contacto con la masa general de la tierra. La práctica ha continuado y se ha desarrollado progresivamente, de modo que tales conexiones a tierra se encuentran en casi todos los puntos en el sistema eléctrico. Esto incluye la estación generadora, las líneas y los cables que distribuyen la energía eléctrica y los locales en los cuales se utiliza. La necesidad de esta conexión se considera sagrada en la legislación. Por ejemplo en el Reino Unido, la Electricity Supply Regulations 1988, cláusula 5 (1), exige que todos los sistemas (es decir Generación, Transmisión y Distribución) sean puestos a tierra en un punto.

Aún cuando la puesta a tierra constituye una parte intrínseca del sistema eléctrico, permanece en general como un tema mal comprendido y a menudo se refiere a él como un “arte oscuro”- algunas veces incluso por bien calificados ingenieros.

De ahí surge la motivación necesaria, para el desarrollo del presente proyecto investigativo, tomando como referencia la Subestación Eléctrica de Vilcabamba, para describir en detalle su funcionamiento, niveles de voltaje que recibe y distribuye, además de las protecciones existentes con especial énfasis en la malla de puesta a tierra.

Con este precedente para desarrollar exitosamente este estudio, se ha decidido plantear a dar respuesta a los siguientes objetivos.

- **OBJETIVO GENERAL**
  - Describir la estructura y malla de puesta a tierra de la Subestación Vilcabamba.
- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**
  - Verificar el estado de las instalaciones de la Subestación Vilcabamba.
  - Conocer cómo se encuentra estructurada la Subestación Vilcabamba.
  - Verificar los niveles de tensión que maneja la Subestación Vilcabamba y a que poblaciones abastece con el suministro eléctrico.
  - Constatar el estado de la malla de puesta a tierra instalada como protección en la Subestación Vilcabamba.
  - Describir las partes que conforman la Subestación Vilcabamba, su funcionamiento e importancia.
  - Establecer recomendaciones ante posibles anomalías que se detecten al finalizar el estudio del presente proyecto.

II. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD

2.1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA DE LA EERSSA

2.1.1. Área De Concesión

El área de concesión de la Empresa Eléctrica Regional del Sur S. A. (EERSSA), cubre una superficie de 22.721Km y está compuesta por 16 cantones en la provincia de Loja, 9 cantones de la provincia de Zamora Chinchipe y el cantón Gualaquiza en la provincia de Morona Santiago. Se registran 133.325 clientes de los cuales 115.520 son residenciales con una cobertura del servicio del 89%.

2.1.2. Abastecimientos De Energía

El sistema de distribución de energía de la EERSSA, recibe los aportes de las centrales; hidráulica Ingeniero Carlos Mora Carrión y térmica Catamayo, con 2,4MV y 19,7MV de potencia instalada respectivamente y el aporte principal del Sistema Nacional Interconectado (SNI) con 25,2 MV. De esta manera la demanda de la EERSSA es de 47.3 MV; la energía disponible es de 237.647MWh, de los cuales 16.362MWh son de origen térmico y 188.749MWh de compra al sistema interconectado. Como se puede ver en la tabla siguiente.

Tabla 2.1. *Sistema de Distribución de la EERSSA*

	POTENCIA INSTALADA	**ENERGÍA DISPONIBLE**
Central hidráulica	2.4 MW	16.362MWh
Central térmica	19.7MW	32.536 MWh
SIN	25.2MW	188.746MWh
Demanda Máxima	47.3MW	
Energía total		237.647MWh

El sistema eléctrico de potencia de la EERSSA recibe la potencia y la energía del SIN, a través de la línea de trasmisión radial Cuenca – Loja de una sola toma por medio de una línea de trasmisión de 135 km aislada para 138kv, con conductor 397.5 MCM.

La línea de trasmisión se origina en la S/E Rayoloma (Cuenca) y llega a la S/ E Loja, de propiedad de TRANSELECTRIC S. A. Ubicada en el sector Obrapia, área periférica oeste de la ciudad de Loja, en la cual se realiza de reducción del nivel de tensión de 138kv a 69kv, mediante un autotransformador trifásico de 40/53/66 MVA (OA/FA/FOA).

Los puntos de frontera entre la empresa TRANSELECTRIC S. A., se encuentran localizados en la S/E Loja a nivel de 69kV. La evacuación de energía se realiza por medio de dos líneas de subtransmisión de 69kV denominadas Loja 1 y Loja 2, que alimentan al sistema de la EERSSA, la primera hacia la Subestación Obrapia y la segunda hacia la subestación Catamayo.

2.2. SUBESTACIONES

Las subestaciones (S/E), forman parte del sistema de subtransmisión en un número de 23; con una capacidad instalada de 93,34 MVA.

La S/E Obrapia (01) y Catamayo (05) son actualmente las principales, debido a que reciben directamente la energía del SNI y sirven de enlace para el resto de subestaciones.

2.3. LÍNEAS DE SUBTRANSMISIÓN

El sistema de subtransmisión de la EERSSA, está constituido por líneas (L/S/T) en 423,7km que se encuentran en operación, y con 13,7km que se

encuentran energizados provisionalmente como alimentador primario; además se encuentra operando a 69kV en forma provisional la L/T Loja – Cumbaratza de propiedad de TRANSELECTRIC aislada para 138kV, mediante el arrendamiento de la misma, medida que se implementó con la finalidad de alimentar el sistema de subtransmisión que sirve a la parte norte de la provincia de Zamora Chinchipe y al Cantón Gualaquiza de la provincia de Morona Santiago. El nivel de tensión de las líneas de subtransmisión de la EERSSA es de 69kV.

2.3.1. Alimentadores Primarios

Los 61 alimentadores primarios de distribución que operan en la EERSSA, parten de las barras de las subestaciones al nivel de 22kV y 13,8kV predominantemente trifásicos y de tipo radial a excepción de los alimentadores que parten de las S/E de playas y Chaguarpamba.

En lo referente a la construcción en zonas urbanas y rurales, predominan los conductores de aluminio sobre aisladores de porcelana en cruceta metálica y madera, en postes de hormigón armado rectangulares.

Los conductores utilizados son de tipo ACSR, de calibres 4/0 a 6 AWG, estos constituyen 61 alimentadores primarios, los mismos que operan a 13,8kV y dan servicio a la provincia de Loja y los que operan a 22kV a la provincia de Zamora Chinchipe y al sector de Gualaquiza.

2.3.2. Transformadores de Distribución

La EERSSA cuenta en un sistema de distribución con 10.261 transformadores de distribución, siendo su capacidad instalada de 140.47 MVA, divididos en 111.93MVA monofásicos y 28.54MVA trifásicos.

2.4. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA

2.4.1. Redes Eléctricas de Potencias

Las partes fundamentales de una red eléctrica de potencia son, generadores eléctricos ,transformadores ,líneas de transmisión ,redes de distribución y cargas ,las cuales son utilizadas para llevar la energía eléctrica a los elementos de consumo de los usuarios .Con este fin se usan diferentes tenciones para limitar la caída de tensión en las líneas. Usualmente las más altas tensiones se usan en distancias más largas y mayores potencias .Para utilizar la energía eléctrica las tensiones se reducen a medida que se acerca a las instalaciones del usuario para ello se usan los trasformadores eléctricos

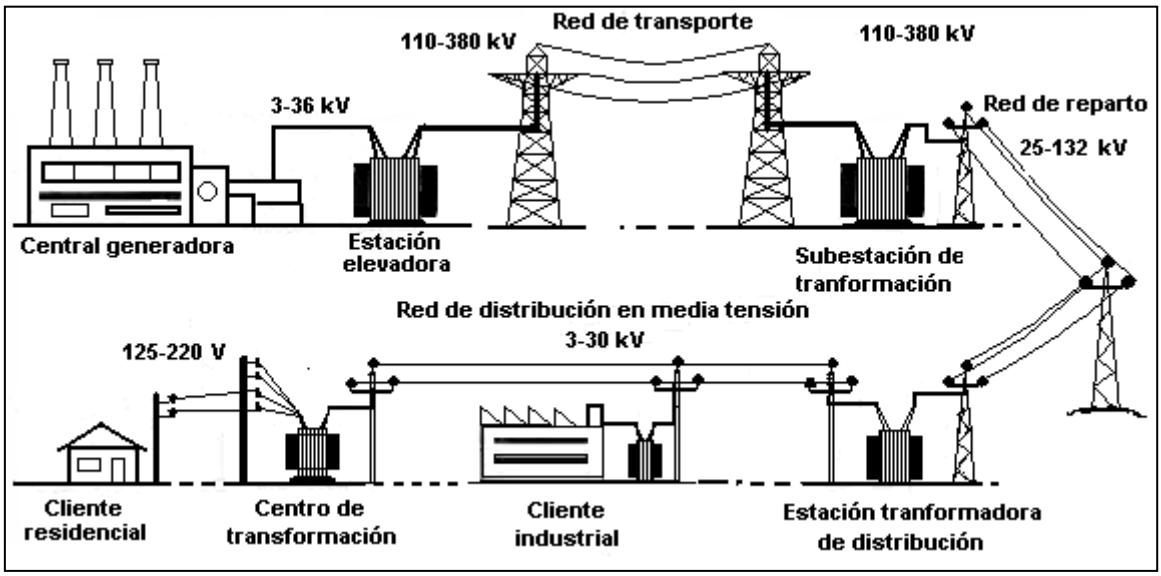


Figura 2.1. *Red eléctrica de distribución.*

2.4.2. Tipos de redes eléctricas

- ***Redes eléctricas aéreas:*** se utilizan postes de diferentes materiales
- ***Redes Eléctricas subterráneas:*** se canalizan por andenes o vías especiales

Los tipos de topología de los sistemas eléctricos de potencia son:

- ***Sistemas radiales:*** *son* los menos confiables porque una falla sobre el alimentador principal puede afectar la mayoría de cargas
- ***Circuitos en malla o lazo***: son los más confiables porque cada carga se puede alimentar desde dos más fuentes.

Redes son los más confiables y más costosas, porque se alimenta cada carga por diferentes trayectorias

2.5. SUBESTACIONES DE TRASMISIÓN ELÉCTRICA

Una subestación eléctrica, es un conjunto de equipos primarios, elementos, aparatos, circuitos; que tienen como función principal modificar los parámetros de la potencia eléctrica, corriente y tensión. Además provee un medio de interconexión y desconexión entre las diferentes líneas de trasmisión de un sistema.

Básicamente una subestación eléctrica consiste de un número de circuitos entrantes y salientes conectados a un sistema de barras comunes que son conductoras. Cada circuito tiene un cierto número de componentes eléctricos, tales como: interruptores, cuchillas desconectadoras, transformadores de potencia, transformadores de corriente transformadores de potencia etc.

También es considerada como un conjunto situado en un mismo lugar, de la aparamenta eléctrica y de los edificios necesarios para realizar alguna de las funciones siguientes:

- transformación de la tensión,
- de la frecuencia
- del número de fases,
- rectificación,

- compensación del factor de potencia y
- conexión de dos o más circuitos.

2.6. CLASIFICACIÓN

Las subestaciones se clasifican de acuerdo a su nivel de tensión se clasifican en:

- Ultra Alta tensión (un >800KV.)
- Extra Alta tensión (300KV<Un <550kv.)
- Alta tensión (52KV<Un<300KV.)
- Distribución (6.6KV<Un<44KV.)
- Baja tensión

2.6.1. De acuerdo a la configuración

La topología de las barras colectoras dentro de una subestación le atribuye mayor o menor confiabilidad en el suministro de energía.

Los tipos de configuración de barras más comunes son:

- **Barras simples:** una sola barra a la que se conecta todas las líneas.
- **Barras dobles**: dos barras con las mismas funciones que la barra simple.

2.6.2. De acuerdo a su función

- Generación
- Transformación
- Mixta (generación y transformación)
- Compensación (capacitiva serie y capacitiva paralelo)

2.6.3. De acuerdo a su tipo de servicio

Las subestaciones eléctricas en forma general se clasifican en:

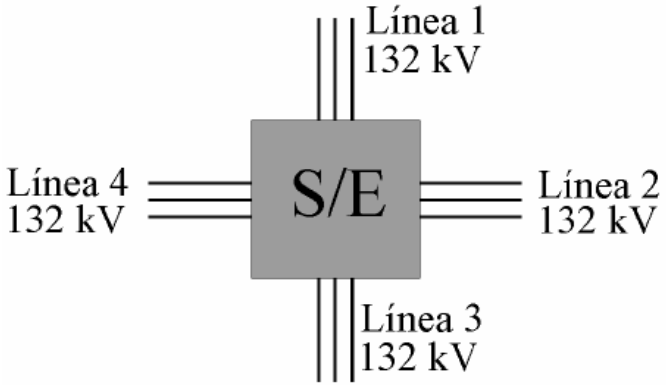
- **Subestaciones elevadoras:** son adyacentes a plantas generadoras o centrales eléctricas cambian los valores de los parámetros generados (voltaje corriente) a valores requeridos para su transmisión.
- **Subestaciones reductoras:** están cerca de las poblaciones y de los consumidores reducen el nivel del voltaje para ser usados por consumidores medianos (fabricas, hospitales) y consumidores pequeños (domésticos).
- **Subestaciones de paso:** Son aquellas que no cambian los valores de las variables eléctricas, sirven para la conexión de varios puntos a una barra o sistemas de barras no tiene transformadores de potencia.

2.7. TIPOS DE SUBESTACIONES

2.7.1. Según la función

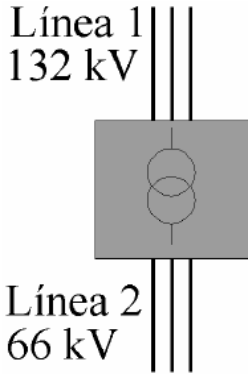
1. De **maniobra**: destinada a la interconexión de dos o más circuitos

- Todas las líneas que concurren en la subestación a igual tensión
- Permite la formación de nudos en una red mallada
- Aumenta la fiabilidad del sistema



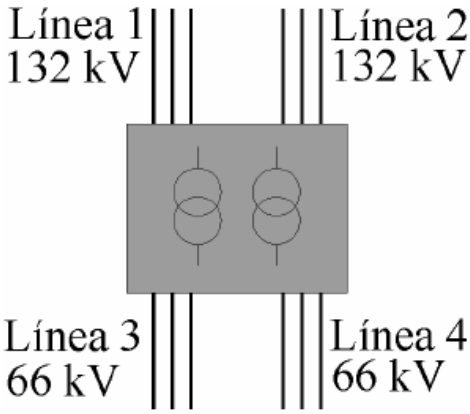
2. De **transformación pura**: destinada a la transformación de tensión desde un nivel superior a otro inferior

- Necesario presencia de uno o varios transformadores
- Niveles de transformación
  - Transporte → Subtransporte
  - Subtransporte → Reparto
  - Reparto → Distribución



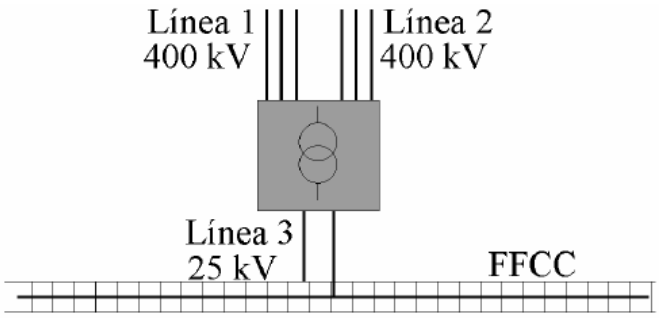
3. De **transformación/maniobra**: destinada a la transformación de tensión desde un nivel superior a otro inferior, así como a la conexión entre circuitos del mismo nivel.

- Uso frecuente

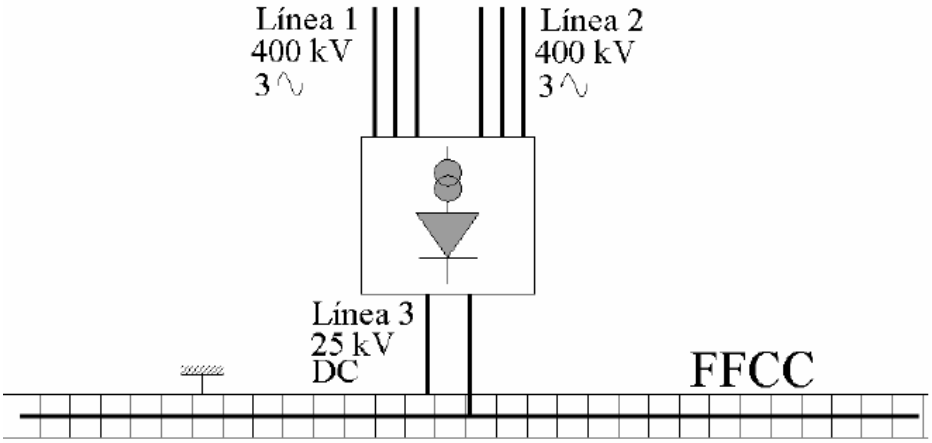


4. De **transformación/cambio del número de fases**: destinada a la alimentación de redes con distinto número de fases

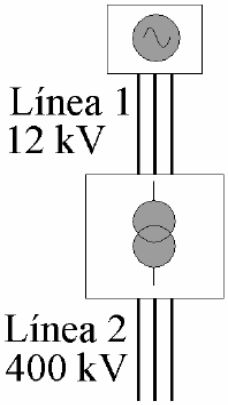
- Trifásica → hexafásica
- Trifásica → monofásica (subestación de tracción)



5. De **rectificación**: destinada a alimentar una red en corriente continua (subestación de tracción).



6. De **central:** destinada a la transformación de tensión desde un nivel inferior a otro superior (centrales eléctricas).



2.7.2. Según emplazamiento

1. De **intemperie**

Figura 2.2. *Central de Intemperie*

2. De **interior**

- Elementos protegidos frente a agentes atmosféricos
- Distancias menores
- Más caras

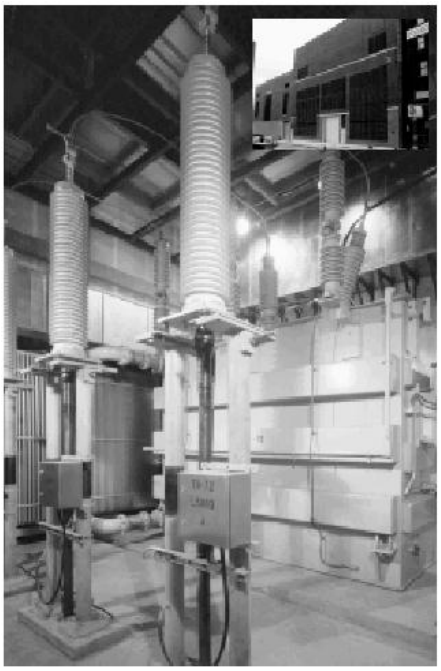


Figura 2.3. *Subestación de Interior*

- Transformadores: suelen estar a la intemperie

Figura 2.4. *Transformadores a la intemperie*

3. **Blindadas**

- Aisladas en gas SF6
- Mínimo espacio requerido
- Empleada en ciudades, zonas de alta contaminación

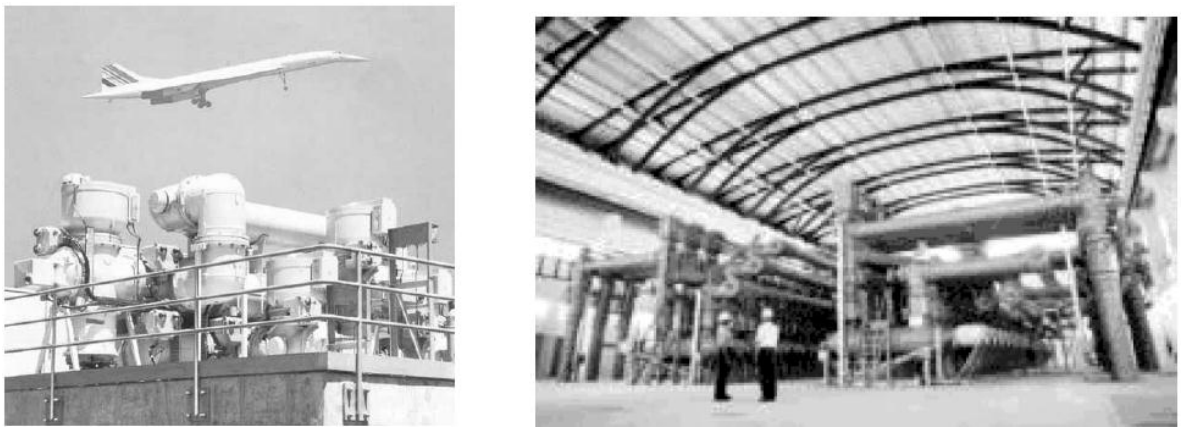


Figura 2.5. *Subestación Blindada*

2.8. ESTRUCTURA CARACTERÍSTICA DE UNA SUBESTACIÓN APARAMENTA DE MANIOBRA Y CORTE

2.8.1. Seccionadores

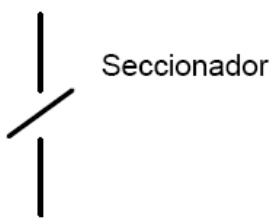
Su misión consiste en aislar tramos de circuito de forma visible para que se pueda trabajar sobre los mismos sin peligro.

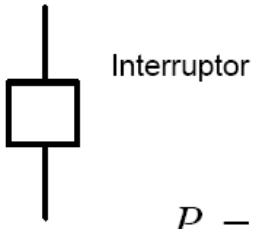
- Abren y cierran en vacío.
- Deben soportar la intensidad nominal de forma permanente y corrientes de cortocircuito durante un tiempo determinado.

2.8.2. Interruptores

Su misión consiste en abrir y cerrar el circuito en carga.

- Deben soportar intensidades normales y de cortocircuitos, y ser capaces de interrumpir estas últimas.
- Disyuntores: Interruptores automáticos accionados mediante relés.





$$P_r = \sqrt{3}\, V_n\, I_r \quad \text{(KVA)}$$

Poder de corte o ruptura: valor eficaz de la intensidad máxima que pueden interrumpir. Se expresa como potencia trifásica calculada en base a la tensión nominal.

2.8.3. Partes principales

- Posición/es línea
- Posición/es barras/celdas lado de alta
- Posición/es primario transformador

- Posición/es barras/celdas lado de baja
- Servicios auxiliares, baterías, instalaciones de mando y control

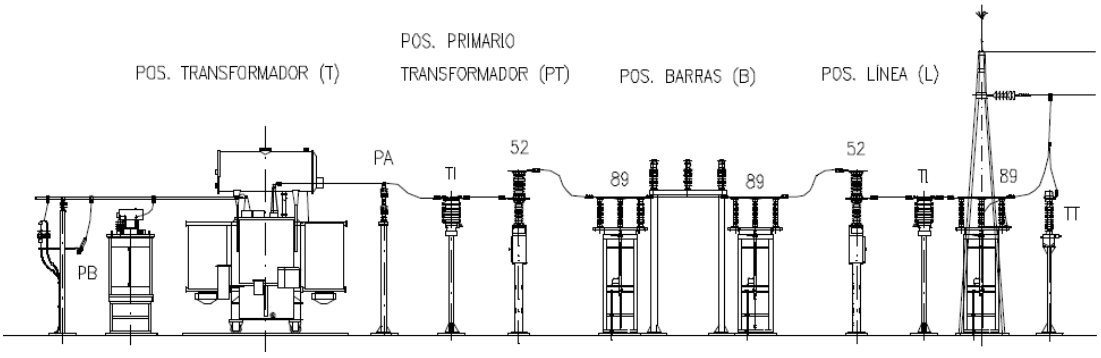


Figura 2.6. *Ejemplo de S/E 66/15 kV de intemperie. Alzado de una posición de línea, barras y transformador*

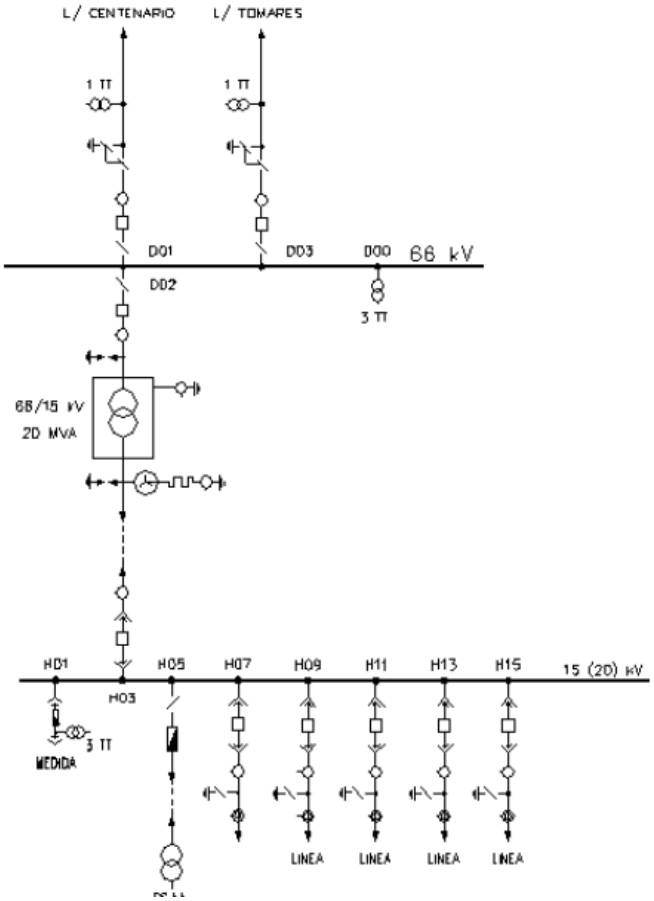


Figura 2.7. *Ejemplo de S/E 66/15 kV. Esquema eléctrico*

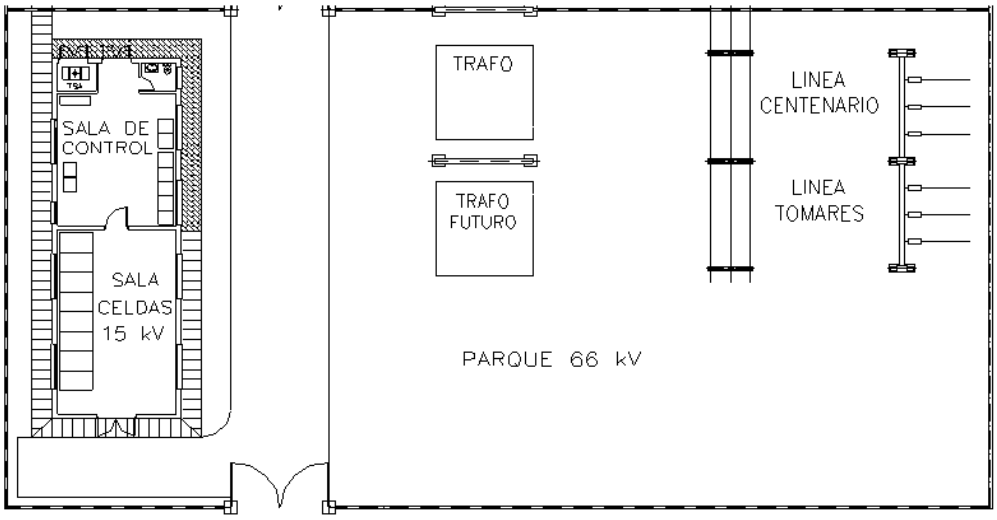
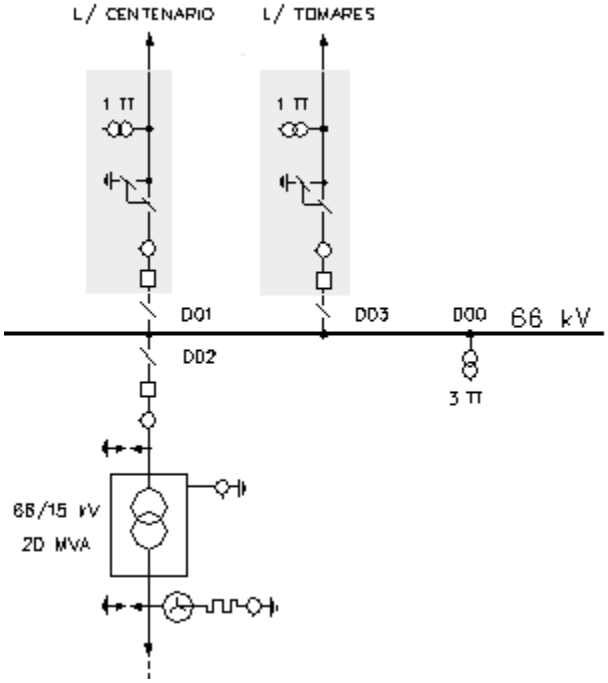


Figura 2.8. *Ejemplo de S/E 66/15 kV. Disposición en planta*

2.8.4. Posición línea

- Llegada de línea (pórtico de acometida)
- Aislamiento eléctrico y puesta a tierra
- Medida
- Protección automática
- En ocasiones: protección frente a rayos



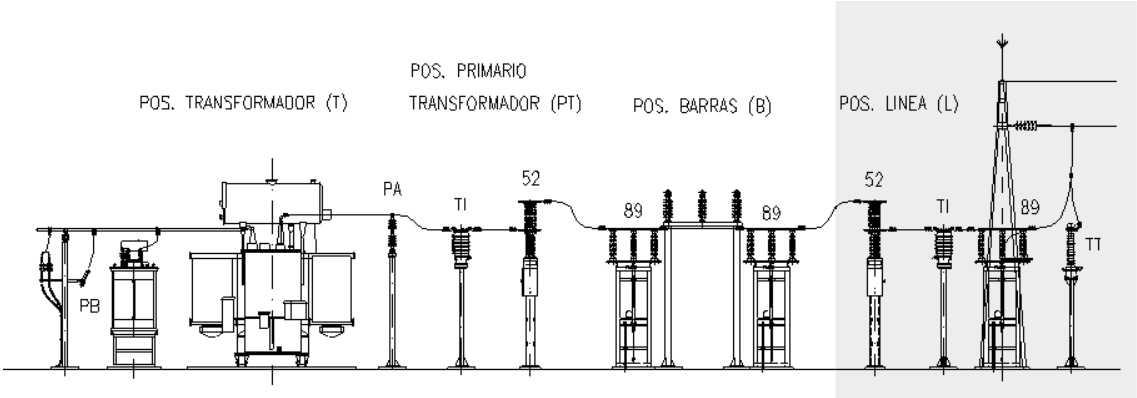
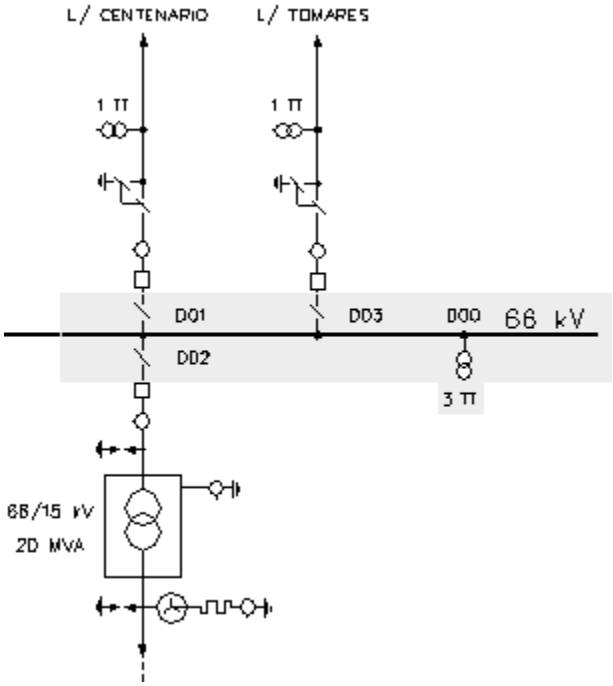


Figura 2.9. *Ubicación en la Subestación de la posición de línea*

2.8.5. Posición barras

- Conexión/aislamiento entre posiciones de líneas (seccionador-89)
- Conexión/aislamiento entre posiciones de transformador (seccionador-89)
- Medida tensiones (transf. tensión)



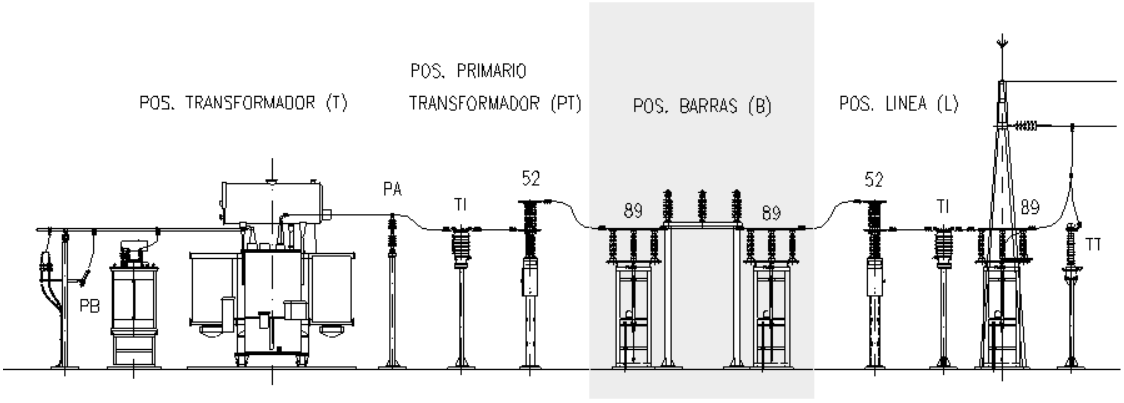
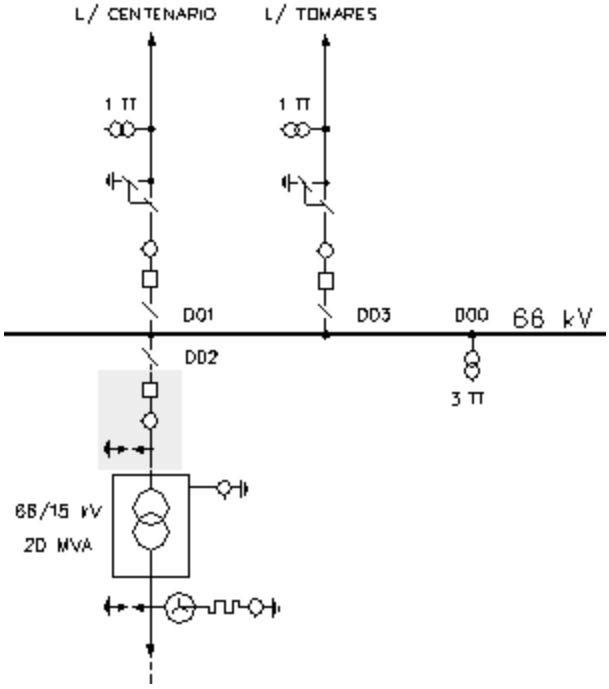


Figura 2.10. *Ubicación en la Subestación de la posición de barras*

2.8.6. Posición primario transformador

- Protección automática (interruptor automático-S2)
- Medida (transf. Intensidad-TI)
- Protección frente a rayo (pararrayos-PA)



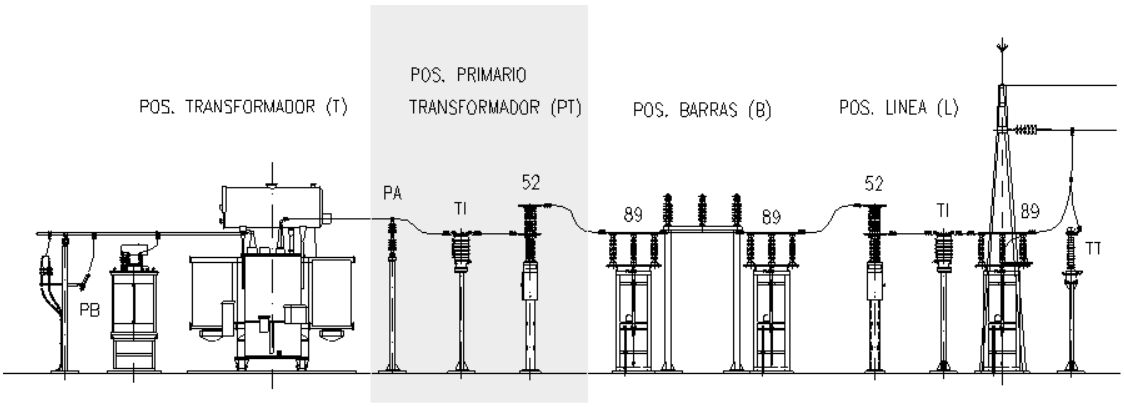
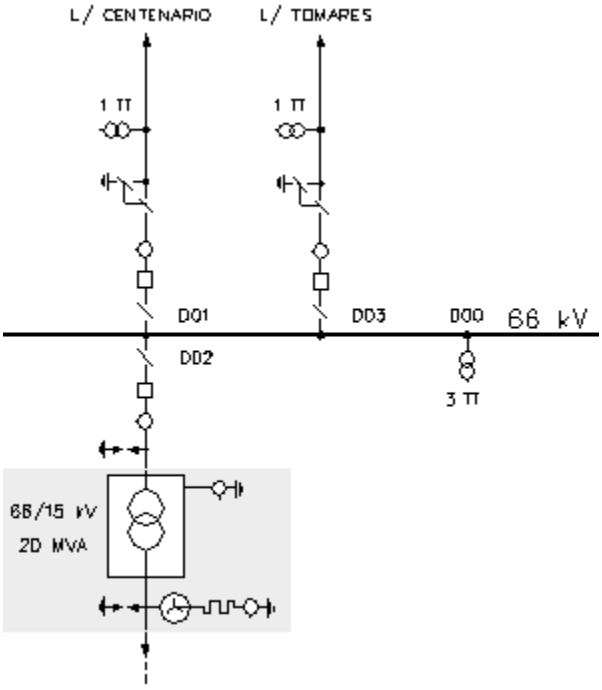


Figura 2.11. *Ubicación en la Subestación de la posición del primario transformador.*

2.8.7. Posición transformador

- Protección automática (interruptor automático-S2)
- Medida (transf. Intensidad-TI)
- Protección frente a rayo (pararrayos-PA)



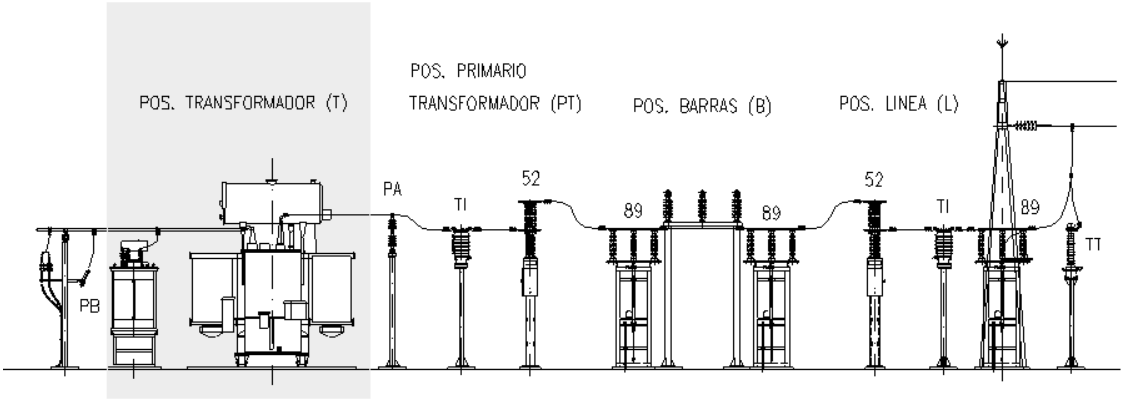
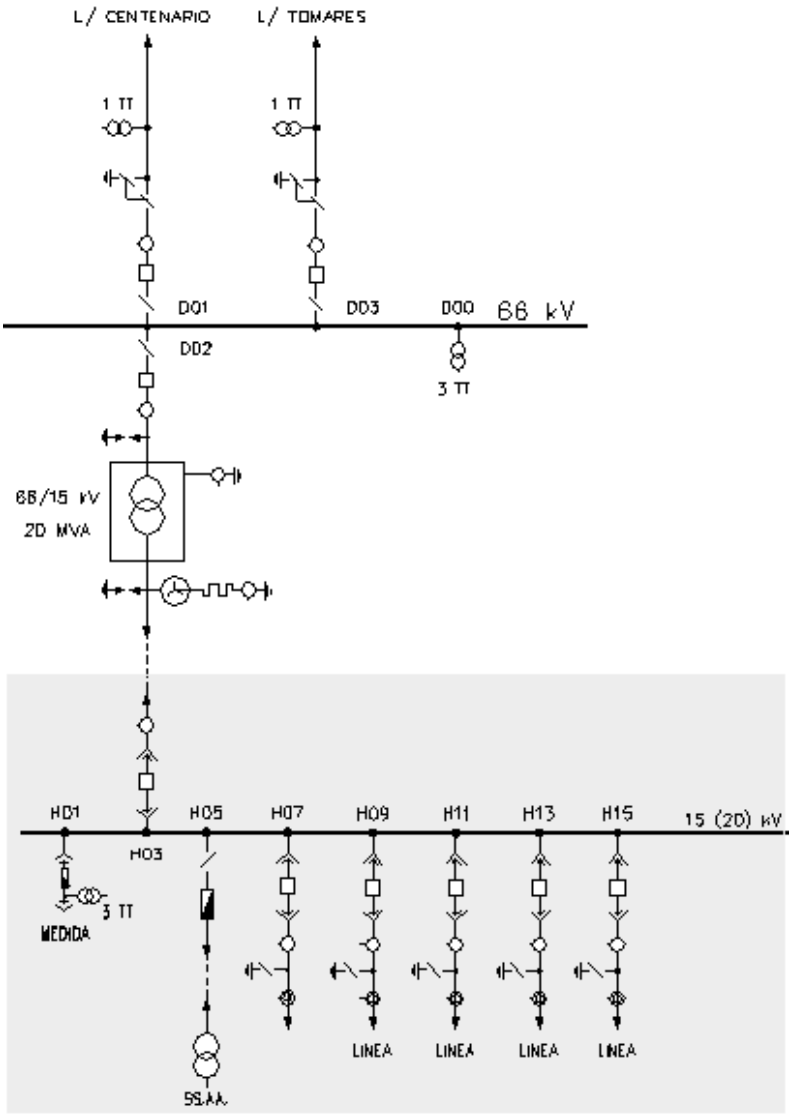


Figura 2.12. *Ubicación en la Subestación de la posición del transformador*

2.8.8. Posición barras/celdas lado baja

- Media tensión: celdas prefabricadas
- Facilidad montaje
- Integración equipos

Figura 2.13. *Ubicación en la Subestación de la posición de barras/celdas lado baja.*



2.9. AISLAMIENTO ELÉCTRICO

- Necesario distancias mínimas
    - Fase-fase
    - Fase-masa
    - Fase-tierra

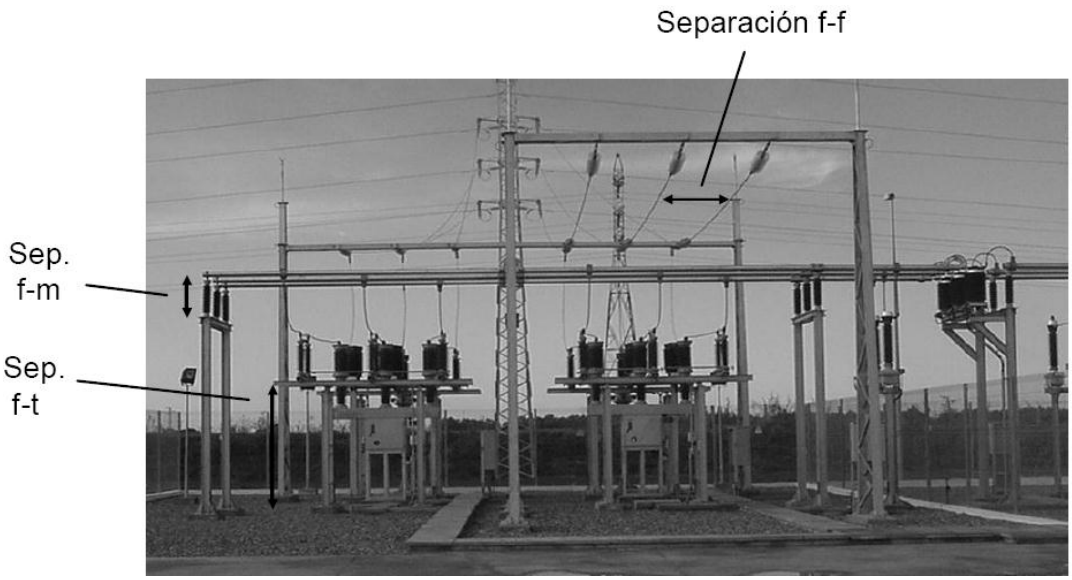


Figura 2.14. *Aislamiento eléctrico en una Subestación*

2.9.1. Nivel de Aislamiento

Capacidad para soportar sobretensiones de origen atmosférico, de maniobra y a frecuencia industrial. Definido por los valores máximos que soporta en tres ensayos normalizados:

- Onda de sobretensión a frecuencia industrial: 60 s.
- Onda de sobretensión tipo rayo: 1.2/50 ms
- Onda de sobretensión tipo maniobra: 250/2500 ms

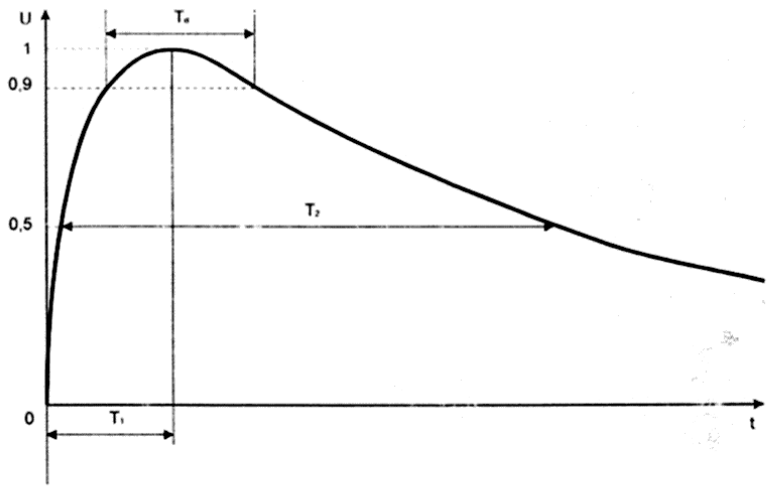


Figura 2.15. *Onda de sobretensión tipo maniobra 250/2500us normalizada*

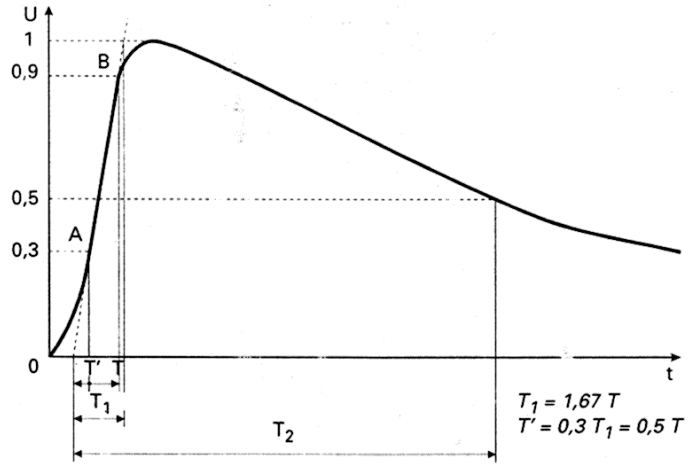


Figura 2.16. *Onda de sobretensión tipo rayo 1,2/50s normalizada*

2.10. APARAMENTA DE MANIOBRA Y CORTE SECCIONADOR

- Aparato mecánico de conexión que, por razones de seguridad, en posición abierto, asegura una distancia de seccionamiento que satisface las condiciones especificadas
- Permite aislar la subestación de la red
- Permite aislar interruptores, transformadores, barras
- Ha de maniobrarse en vacío
- Soporta corriente de cortocircuito
- Seccionador de puesta a tierra: permite poner a tierra la línea

Figura 2.17. *Seccionador de cuchillas giratorias*

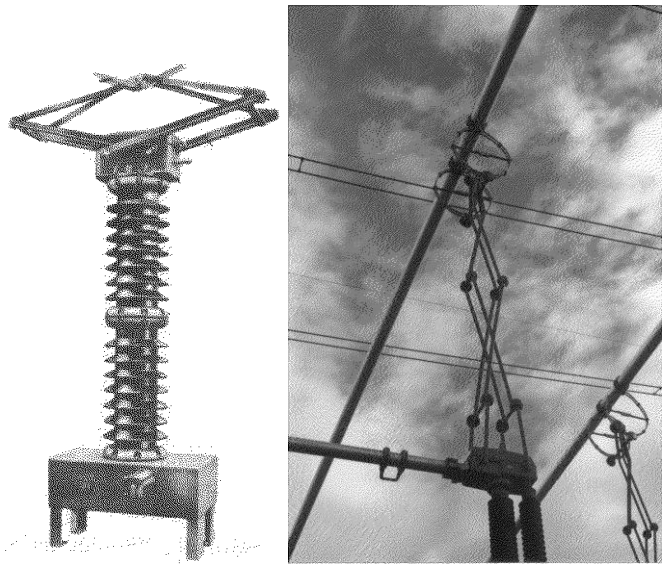


Figura 2.18. *Seccionador pantógrafo*

2.10.1. Aparamenta de maniobra y corte Interruptor automático

- **Interruptor:** Aparato dotado de poder de corte, destinado a efectuar la apertura y el cierre de un circuito, que tiene dos posiciones en las que puede permanecer en ausencia de acción exterior y que corresponden una a la apertura y otra al cierre del circuito.
- **Interruptor automático:** Interruptor capaz de establecer, mantener e interrumpir la intensidad de la corriente de servicio, o de interrumpir automáticamente o establecer, en condiciones predeterminadas, intensidades de corriente anormalmente elevadas, tales como las corrientes de cortocircuito.
- Dificultad en el proceso de apertura del arco eléctrico. Equipo costoso
- Diferentes sistemas
    - Atmósfera de hexafluoruro de azufre (SF6): el más empleado actualmente
    - Pequeño volumen de aceite
    - Vacío

- Aire comprimido
- Soplado magnético (corriente continua)

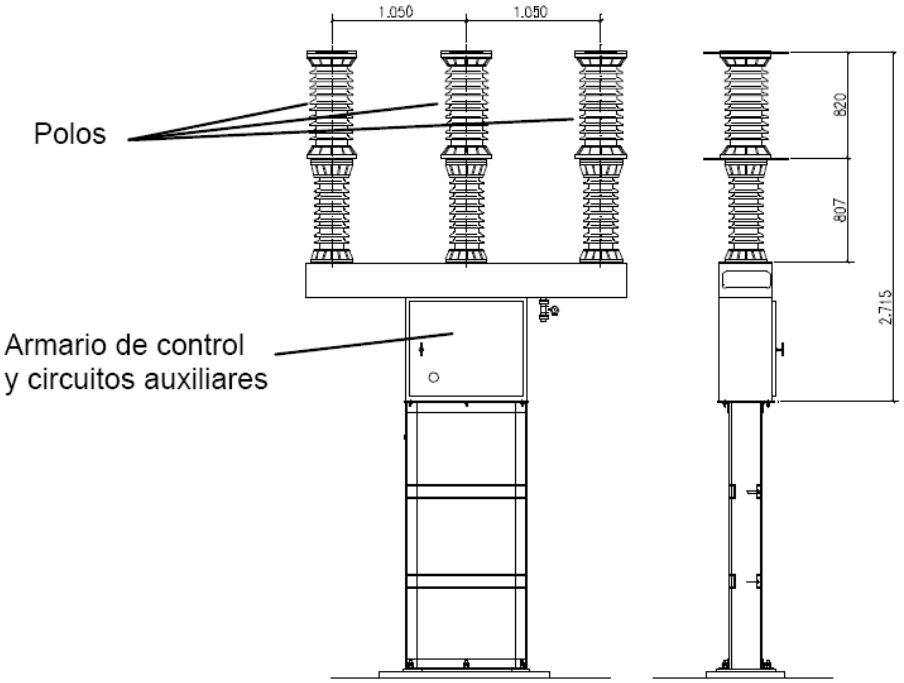


Figura 2.19. *Interruptor SF6 trifásico 66kV*

Figura 2.20. *3 interruptores SF6 monofásicos 400 kV*

2.10.2. Aparamenta de protección y medida

Transformadores de intensidad

- Transforma la corriente por líneas, barras, transformador, etc., en 0-5 A baja tensión.
  - Transformador de medida:
    - Se diseña para conseguir un nivel de incertidumbre pequeño en la medida
    - El secundario alimenta aparatos de medida
  - Transformador de protección:
    - Se diseña para conseguir un nivel de incertidumbre aceptable en la medida, incluso para corrientes varias veces la nominal
    - El secundario alimenta relés de protección
  - Posibilidades:
    - Un TI para medida y otro para protección
    - Un único TI para medida y protección, con doble secundario

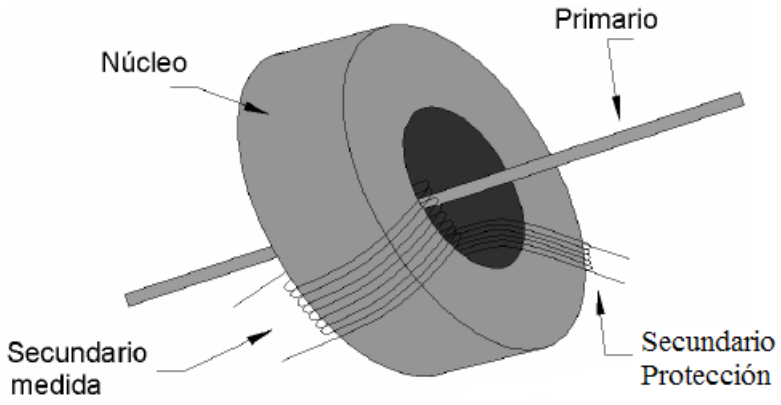


Figura 2.21. *Transformadores de intensidad 66kV*

Figura 2.22. *Transformador de intensidad 400kV*

Transformadores de tensión

- Transforma la tensión fase-tierra en un valor de baja tensión (0-110/√3 V)
- Un mismo transformador de tensión puede servir como medida y protección

Figura 2.23. *Transformadores de tensión de 66kV*

2.10.3. Equipos de medida

- Voltímetros
- Amperímetros
- Vatímetros/vatihorímetros
- Contadores
- Totalizador/tarificador

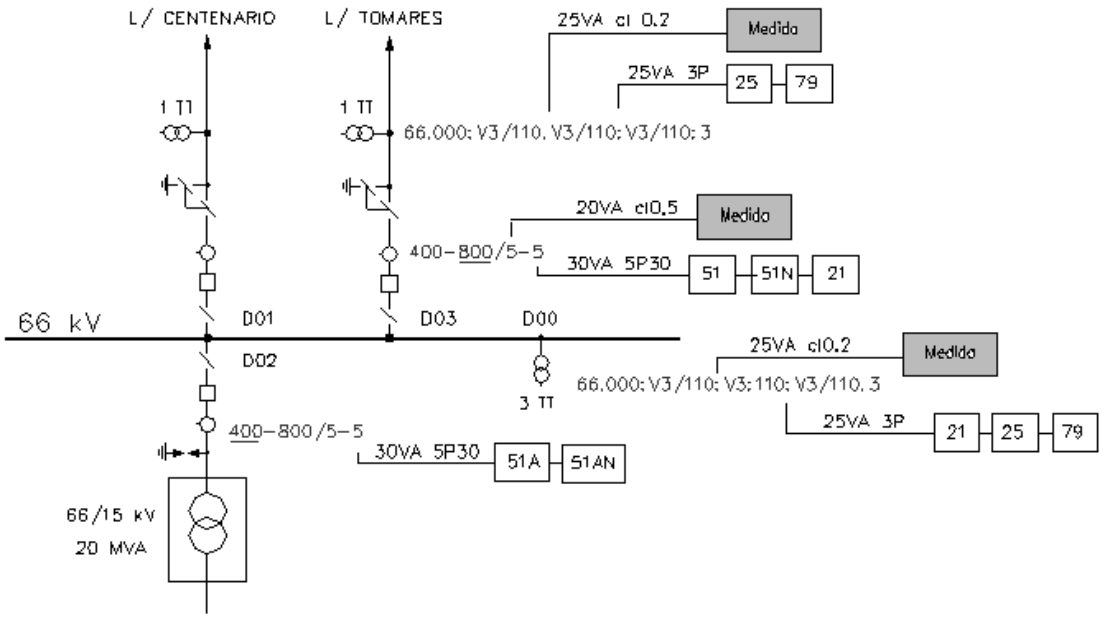


Figura 2.24. *Puntos de medida en S/E 66/15kV*

2.10.4. Equipos de protección

- Relé de sobreintensidad (50/51)
- Relé de distancia (21)
- Relé diferencial de transformador
- Relé de sincronismo (25)

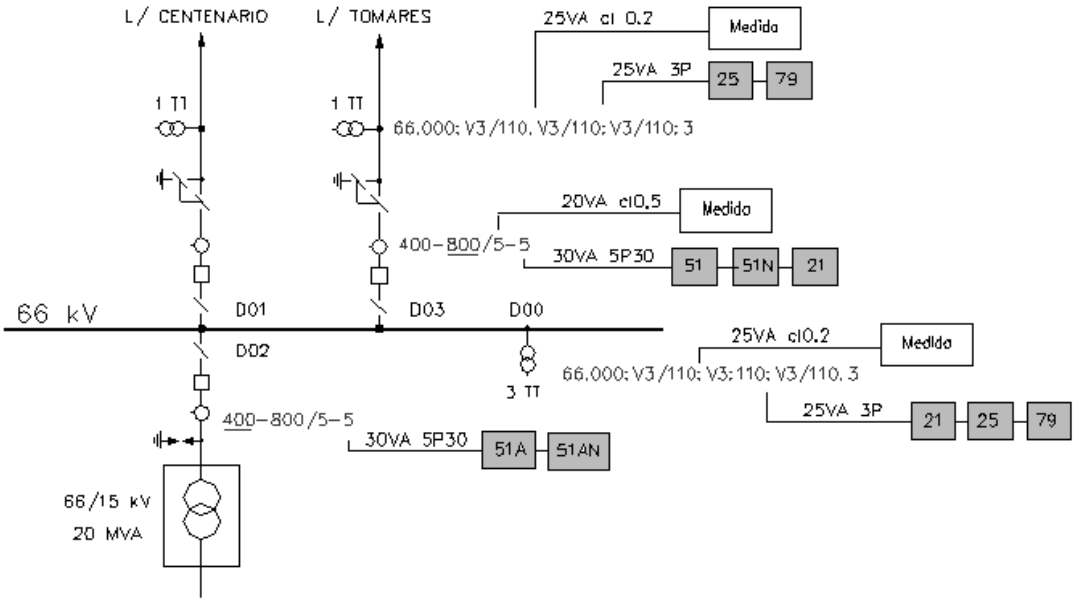


Figura 2.25. *Relés de protección en S/E 66/15kV*

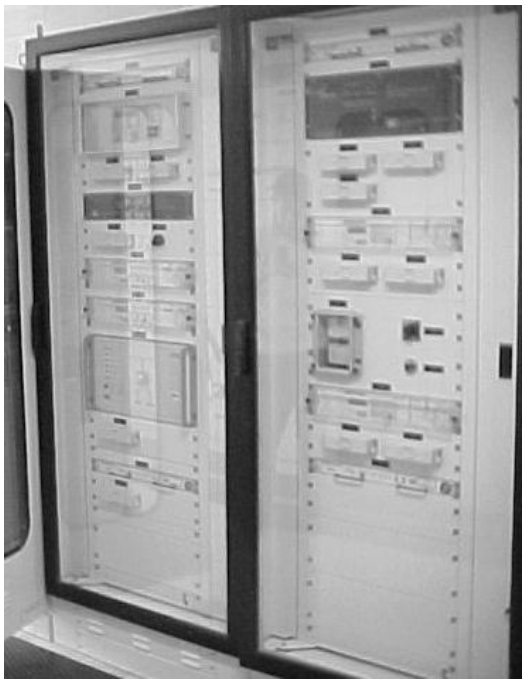


Figura 2.26. *Armarios de relés de protección digitales*

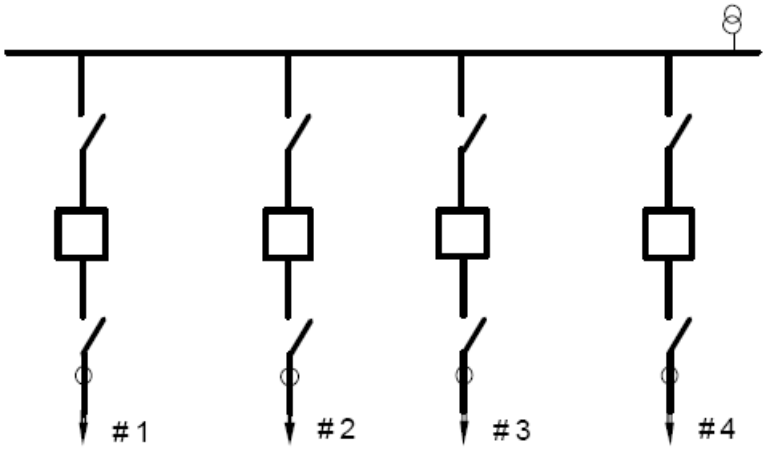
2.11. ESQUEMAS ELÉCTRICOS DE SUBESTACIONES CRITERIOS DE DISEÑO

- Costes de instalación
    - Número de interruptores por entrada/salida (circuito)
    - Número de seccionadores por circuito
    - Aparamenta de medida, control y protección necesaria
- Operación y maniobra
    - Posibilidades de interconexión entre circuitos
- Fiabilidad. Análisis de la continuidad de servicio ante:
    - Fallos en circuitos
    - Fallos en barras
    - Mantenimiento de interruptores
    - Fallo en apertura de interruptores

2.11.1. Configuraciones tipo

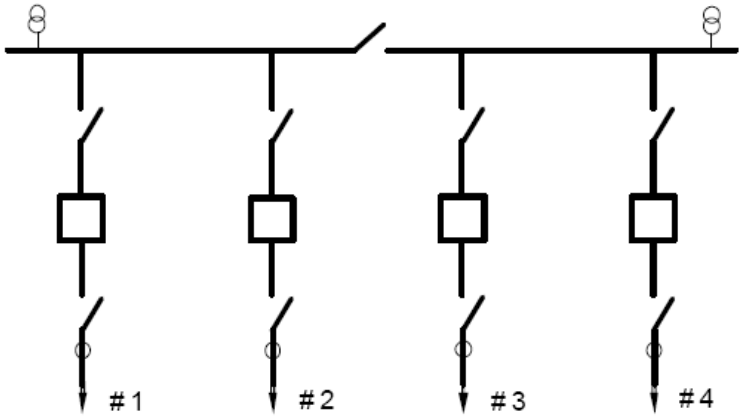
- Interruptor Sencillo - Barra simple
- Interruptor Sencillo - Barra simple partida
- Interruptor Sencillo - Barra transferencia
- Interruptor y medio
- Doble interruptor

2.11.2. Interruptor sencillo – Barra simple



- 1 Interruptor por circuito
- 2 Seccionadores por circuito
- Fallo en barra: se pierden todos los circuitos al despejar los interruptores la falta
- Fallo de interruptor al abrir: se pierden todos los circuitos al abrir el resto de interruptores
- Mantenimiento interruptor: el circuito afectado queda indisponible
- Operación con un nudo eléctrico únicamente

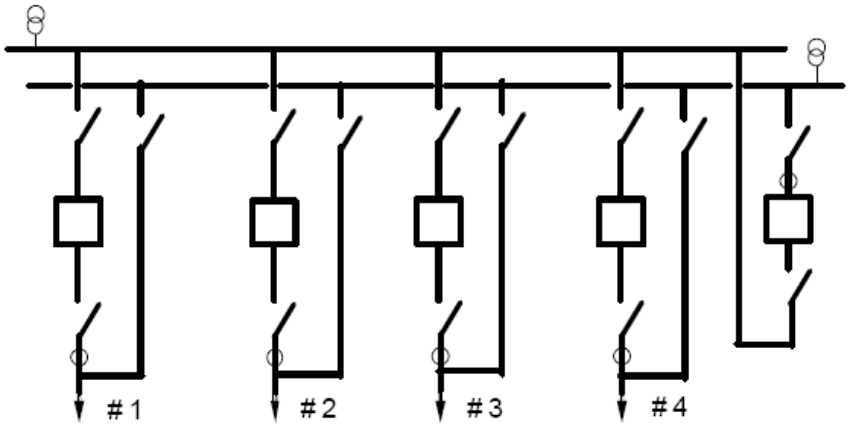
2.11.3. Interruptor sencillo – Barra partida



- 1 Interruptor por circuito
- 2 Seccionadores por circuito + 1 Seccionador de barra
- Fallo en barra: tras una interrupción, sólo se pierde media barra
- Fallo de interruptor: tras una interrupción, sólo se pierde media barra
- Mantenimiento interruptor: el circuito afectado queda indisponible
- Posible operación con 2 nudos eléctricos

2.11.4. Interruptor simple – barra de transferencia

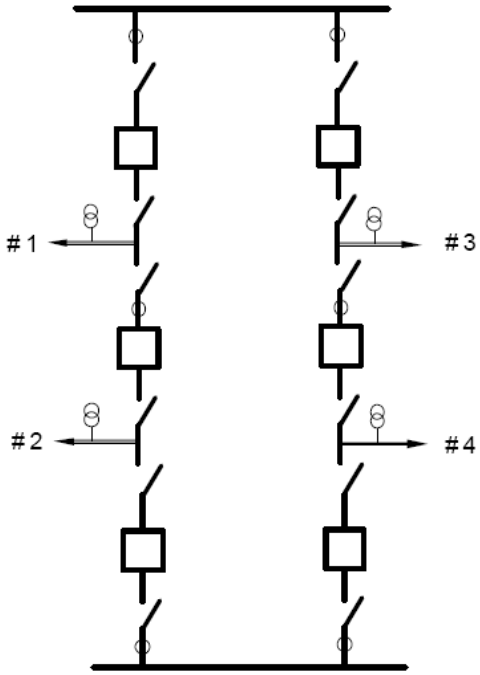
- 1 Interruptor por circuito + 1 de transferencia
- 3 Seccionadores por circuito + 2 de transferencia
- Fallo en barra: Tras un corte, continuidad de servicio. Todos los circuitos quedan protegidos por interruptor de transferencia
- Fallo Interruptor: Tras un corte, continuidad de servicio
- Mantenimiento interruptor: Continuidad de servicio
- Operación con un nudo eléctrico



El interruptor de transferencia puede sustituir a cualquier otro interruptor

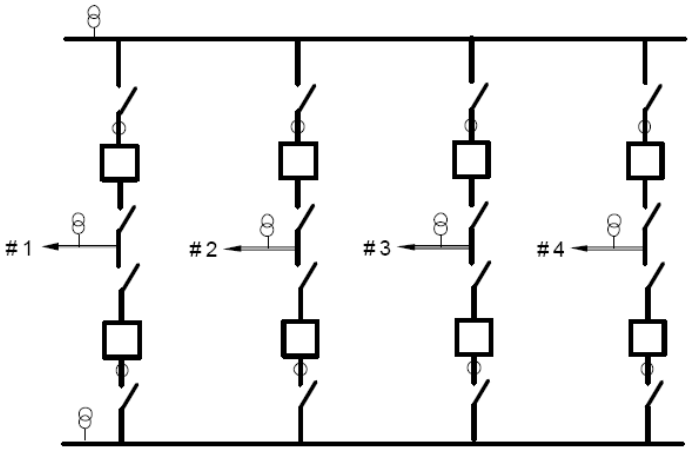
2.11.5. Interruptor y medio

- 1+ ½ Interruptores por circuito
- 3 Seccionadores por circuito
- Fallo en barra: Continuidad de servicio
- Fallo de interruptor en barra: Continuidad de servicio
- Fallo de interruptor central: Se pierde un circuito
- Mantenimiento de interruptor: Continuidad de servicio
- Posible operación con 2 nudos eléctricos



2.11.6. Interruptor doble – barra doble

- 2 Interruptores por circuito
- 4 Seccionadores por circuito
- Fallo en barra: continuidad de servicio
- Fallo de interruptor: continuidad de servicio
- Mantenimiento de interruptor: continuidad de servicio
- Flexibilidad interconexiones



2.12. MALLA DE PUESTA A TIERRA

La malla de tierra es un conjunto de conductores desnudos que permiten conectar los equipos que componen una instalación a un medio de referencia, en este caso la tierra. Tres componentes constituyen la resistencia de la malla de tierra:

- La resistencia del conductor que conecta los equipos a la malla de tierra.
- La resistencia de contacto entre la malla y el terreno.
- La resistencia del terreno donde se ubica la malla.

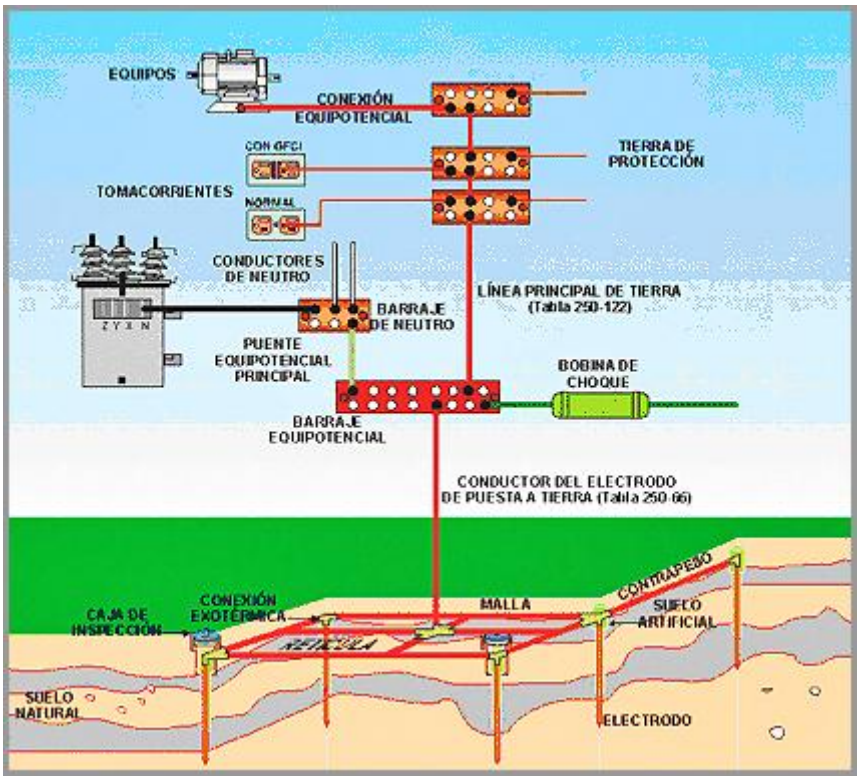


Figura 2.27. *Estructura de una Malla de puesta a tierra*

2.12.1. Alta Tensión

Nivel subtransmisión.- valores de tensión eléctrica mayores a 35kV y menores a 230kV.

Nivel transmisión.- valores de tensión eléctrica mayores o iguales a 230kV.

2.12.2. Aterrizamiento

Conector a tierra de Sistemas, circuitos o aparatos con el propósito de establecer un circuito de retorno por el suelo y para mantener su potencial al potencial del suelo.

2.12.3. Conductor de Puesta a Tierra

Conductor utilizado para conectar una estructura metálica, un equipo o el circuito puesto a tierra (que puede ser el neutro de un transformador o de un generador) al electrodo para tierra.

2.12.4. Corriente a Tierra

Corriente que fluye hacia o fuera de la tierra o sus equivalentes que sirven como tierra.

2.12.5. Electrodo Artificial

Cuerpo metálico o de material conductor de fabricación especial que puede contener componentes químicos.

2.12.6. Electrodo Auxiliar para Tierra

Elemento conductor cuya función primaria es conducir la corriente de falla a tierra, hacia el suelo.

2.12.7. Electrodo para Tierra

Conductor embebido en el suelo y utilizado para p colectar la corriente a tierra o para disipar la corriente de tierra hacia el suelo.

2.12.8. Electrodo Primario para Tierra

Electrodo específicamente diseñado o adaptado, para descargar las corrientes de falla a tierra, hacia el suelo, frecuentemente en patrones de descarga específicos según requiera el diseño del sistema de Tierra.

2.12.9. Elevación del Potencial de Tierra (GPR)

Es el máximo potencial eléctrico que una rejilla para tierra en una subestación puede alcanzar con relación a un punto de tierra distante, asumiendo que esté

al potencial de la tierra remota. Este potencial GPR es igual a la corriente máxima de rejilla multiplicada por la resistencia de rejilla.

2.12.10. Media Tensión

Valores de tensión eléctrica mayores a 1kV e iguales o menores a 35kV.

2.12.11. Rejilla para tierra

Sistema de electrodos horizontales para tierra, que consiste de un número de conductores desnudos interconectados, enterrados en el suelo, proporcionando una tierra común para los dispositivos eléctricos o estructuras metálicas, usualmente ubicados en un lugar específico.

2.12.12. Resistencia Eléctrica del Cuerpo Humano

Es la resistencia eléctrica medida entre extremidades, esto es, entre una mano y ambos pies, entre ambos pies o entre ambas manos.

2.12.13. Sistema de Tierra

Comprende a todos los dispositivos de tierra interconectados dentro de un área específica.

2.12.14. Tapete para Tierra

Placa metálica sólida o un sistema de conductores desnudos separados a poca distancia, conectados. Y frecuentemente colocados a poca profundidad por encima de la rejilla para tierra del sistema de tierra o en otra parte en la superficie del suelo, con el propósito de obtener una medida de protección extra para minimizar el peligro de exposición a valores elevados de tensiones de paso o de contacto en un área de operación crítica o en lugares utilizados frecuentemente por la gente. Enrejados metálicos de tierra, colocado arriba de

la superficie del suelo o una malla de conductores directamente bajo el material superficial.

2.12.15. Tensión Transferida

Es un caso especial de tensión de contacto en donde una tensión es transferida hacia el interior o la parte de afuera de la subestación desde un punto externo remoto.

2.12.16. Tierra

Conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por la cual un circuito eléctrico o equipo está conectado al suelo o algún cuerpo conductor de gran extensión y que sirve en lugar del suelo.

2.12.17. Tensión de Contacto (Vc)

Es la diferencia de potencial entre la elevación del potencial de tierra (GPR) y el potencial superficial en el punto en donde una persona esta parada, mientras al mismo tiempo tiene una mano en contacto con una estructura metálica aterrizada.

2.12.18. Tensión de Paso (Vp)

Es la diferencia de potencial superficial que puede experimentar una persona con los pies separados a 1 metro de distancia y sin hacer contacto con algún objeto aterrizado.

2.12.19. Tensión de Malla (Vm)

Es la máxima tensión de contacto dentro de una malla en una rejilla para tierra.

2.13. FUNCIONES DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA

Las plantas y subestaciones deben contar con un sistema de tierra al cual se conecta a todos y cada uno de los elementos de la instalación, entre las más importantes se tienen:

a. Evitan sobrevoltajes producidos por descargas atmosféricas, operación o maniobras de disyuntores.
b. Proporcionar una vía rápida de descarga de baja impedancia con el fin de mejorar y asegurar el funcionamiento de protecciones.
c. Proporcionar seguridad al personal de la subestación.
d. Proveer un medio de descarga y desenergización de equipos, antes de proceder a las tareas de mantenimiento.
e. Dar mayor confiabilidad y seguridad al servicio eléctrico.

2.14. REQUISITOS DE UNA MALLA A TIERRA

Los requisitos que debe cumplir una malla de puesta a tierra son los siguientes:

a. Debe tener una resistencia tal, que el sistema se considere sólidamente puesto a tierra.
b. La variación de la resistencia, debido a cambios ambientales, debe ser despreciable de manera que la corriente de falla a tierra, en cualquier momento, sea capaz de producir el disparo de las protecciones.
c. Impedancia de onda de valor bajo para fácil paso de las descargas atmosféricas.
d. Debe conducir las corrientes de falla sin provocar gradientes de potencial peligrosos entre sus puntos vecinos.

e. Al pasar la corriente de falla durante el tiempo máximo establecido de falla, (es decir disparo de respaldo), no debe haber calentamientos excesivos.

f. Debe ser resistente a la corrosión.

2.15. ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA MALLA A TIERRA

Los elementos principales del sistema de tierra son:

a. Rejilla para tierra enterrada, a una profundidad que usualmente varía de (0,3 – 1,5) m, sin ser esto limitativo puesto que puede depender del tipo de terreno.

b. Electrodos verticales (varillas para tierra) conectados a la rejilla para tierra y clavados verticalmente en el terreno, se recomienda al menos una Electrodo vertical (varilla para tierra) en cada esquina de la rejilla para tierra. La definición de las fórmulas de cálculo especificadas en esta norma, no considera electrodos artificiales.

c. Conductores de puesta a tierra, a través de los cuales se hace la conexión a tierra de las partes de la instalación y del equipo, que deban ser puestos a tierra incluyendo estructuras metálicas. Las características de éstos conductores no se establecen en esta norma de referencia.

d. Conectores aprobados de acuerdo a IEEE que pueden ser soldables, mecánicos o a compresión. De tal forma que la temperatura de fusión en la unión no sea menor a la temperatura de fusión del conductor que se conecte y que la unión no se deteriore por el medio ambiente en que se instale.

2.15.1. Puesta a Tierra de Cercas Metálicas

• Las cercas metálicas pueden ocupar una posición sobre la periferia del sistema de tierra.

a. Si la cerca se coloca dentro de la zona correspondiente a la Rejilla para tierra, debe ser puesta a tierra, recomendando que la cerca se instale al menos a un metro del límite exterior de la Rejilla para tierra.
b. Si la cerca se coloca fuera de la zona correspondiente a la Rejilla para tierra debe colocarse por lo menos a 2 m del límite de la Rejilla para tierra.

2.15.2. Medición de la Resistividad del Terreno

Se deben llevar a cabo las mediciones de la resistividad del terreno en el área donde se instalará el sistema de tierra, determinando la resistividad de la o las capas de terreno que deban aplicarse en los cálculos del sistema de tierra.

Se deben realizar dos mediciones: Una de resistividad cuyos resultados permitirán establecer el diseño de la red de Tierra. Y otra medición de resistencia posterior a la construcción del sistema de Tierra a fin de verificar si se cumplió con los parámetros de diseño esperados.

2.16. DISEÑO DEL SISTEMA DE TIERRA

El diseño de una malla a tierra está afectado por las siguientes variables:

- Tensión Permisible de Paso.
- Tensión Permisible de contacto.
- Configuración de la malla.
- Resistividad del terreno
- Tiempo máximo de despeje de la falla.
- Conductor de la malla.

- Profundidad de instalación de la malla.

2.16.1. Selección del conductor de la Malla

Para calcular la sección del conductor se aplica la siguiente ecuación:

$$Ac = I\left(\frac{33t}{\log\left(\frac{Tm - Ta}{234 + Ta} + 1\right)}\right)^{1/2} ; \qquad \textit{Ecuación 2.1}$$

En donde:

- Ac = Sección del conductor (CM).
- I = Corriente máxima de falla (Amp.)
- Tm = Temperatura máxima en los nodos de la malla (450°C con soldadura y 250°C con amarre pernado.)
- Ta = Temperatura ambiente (°C).
- t = Tiempo máximo de despeje de la falla (seg).

Sin embargo, la sección mínima recomendable es 2/0 AWG para la malla y 5/8" para las varillas, estos valores mínimos están de acuerdo con prácticas internacionales.

2.16.2. Tensiones Reales de Paso y de contacto

La tensión de paso real en una subestación está dada por:

$$E_p = k_s k_i . \frac{\rho I}{L} ; \qquad \textit{Ecuación 2.2}$$

En donde:

- Ep = Tensión de paso real en voltios.
- ks = Coeficiente que tiene en cuenta, la influencia combinada de la profundidad y del espaciamiento de la malla.

- ki = Coeficiente de irregularidad del terreno.
- ρ = Resistividad del suelo (Ω-m)
- I = Corriente máxima de falla (Amp)
- L = Longitud total del conductor (m)

La tensión de contacto real está dado por:

$$E_t = k_m k_i \frac{\rho I}{L};$$ *Ecuación 2.3*

Donde:

- Et = Tensión de contacto en voltios.
- k m = Coeficiente que tiene en cuenta las
- características geométricas de la malla.

2.16.3. Determinación de los coeficientes km, ki, ks.

Para la determinación de los coeficientes es necesario tener en cuenta las siguientes definiciones:

- A= Longitud de la malla (m).
- B= Ancho de la malla (m).
- L= Longitud total del conductor (m).
- n= Número de conductores en paralelo de longitud A
- m= Número de conductores en paralelo de longitud B.
- D= Espaciamiento entre conductores (m).
- h= Profundidad de enterramiento (m).
- d= Diámetro del conductor (m)

La longitud total del conductor está dada por:

L= n*A +m*B; *Ecuación 2.4*

km es:

$$k_m = \frac{1}{2\pi}\ln\left(\frac{D^2}{16hd}\right) + \frac{1}{\pi}\ln\left(\frac{3}{4}.\frac{5}{6}.\frac{7}{8}....\right)_{\text{n-2 términos}}; \qquad \textit{Ecuación 2.5}$$

ki es:

$$k_i = 0.65+0.172n \qquad n\leq 7; \qquad \textit{Ecuación 2.6}$$

$$k_i = 2.0 \qquad n>7 \qquad \textit{Ecuación 2.7}$$

ks es:

$$k_s = \frac{1}{\pi}\left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{3D} + ...\right); \qquad \textit{Ecuación 2.8}$$

2.16.4. Valor de la resistencia de Puestas a Tierra.

El cálculo de la resistencia de puesta a tierra se puede hacer por el método de Laurent y Niemann o por método de Dwinght.

2.16.5. Método de Laurent y Niemann

Este método es bastante aproximado y la expresión para el cálculo es:

$$R = O.443\rho\left(\frac{1}{\sqrt{A\gamma}} + \frac{1}{L}\right); \qquad \textit{Ecuación 2.9}$$

Donde:

- R = Resistencia en ohmios.
- Aγ = Área de la malla de puesta a tierra en m²
- ρ = Resistividad del suelo (Ω-m)
- L = Longitud total del conductor (m).

La ecuación (2.9) es una aproximación y su resultado siempre es mayor que el valor real.

2.16.6. Método de Dwight

Este método es mucho más largo pero es mucho más exacto que el anterior. El primer paso consiste en hallar la resistencia de un conductor de la malla.

$$Rs=\frac{\rho}{2\pi L'}\left(\ln\left(\frac{2L'}{r}\right)+\ln\left(\frac{L'}{h}\right)+\frac{2h}{L'}-\frac{h^2}{(L')^2}-2\right); \qquad \textit{Ecuación 2.10}$$

Donde:

- Rs = Resistencia de puesta a tierra de un solo conductor
- en Ω
- ρ = Resistividad en (Ω-m)
- L′ = Longitud del conductor (m)
- h = Profundidad de enterramiento del conductor (m)
- r = Radio del conductor en m.

Una vez calculada esta resistencia, se procede al cálculo de las resistencias debidas a las interferencias mutuas entre los conductores, tal resistencia es:

$$R_a=\frac{\rho}{2\pi L'}\left(\ln\left(\frac{4L'}{E}\right)+\ln\left(\frac{E}{2L}\right)\frac{E^2}{16(L')^2}-1\right); \qquad \textit{Ecuación 2.11}$$

Donde:

- Ra = Resistencia mutua en Ω
- E = Espaciamiento equivalente entre un conductor y los demás en m.

La resistencia total de un conductor es:

Donde:

Ra = Resistencia mutua en Ω

E = Espaciamiento equivalente entre un conductor y los demás en m.

La resistencia total de un conductor es:

$$R_c=R_s+(n-1)R_a; \qquad \textit{Ecuación 2.12}$$

La resistencia de n conductores es:

$$R_{cn} = \frac{R_c}{n};$$ *Ecuación 2.13*

También en forma análoga se determina la resistencia de los conductores transversales de unión.

La resistencia “mutua” de los componentes de unión incluyendo la interferencia debida a los conductores transversales a los cuales se encuentran unidos es:

$$R_{am} = (m-1)R_{au} + (n-1)R_a;$$ *Ecuación 2.14*

- Rau = Resistencia mutua de conductores de unión (Ω)

La resistencia total de un solo conductor de unión es:

$$R_{cu} = R_{su} + R_{am};$$ *Ecuación 2.15*

- Rsu = Resistencia de un solo conductor de unión (Ω)

La resistencia de los *m* conductores es:

$$R_{cm} = \frac{R_{cu}}{m};$$ *Ecuación 2.16*

La resistencia total de la malla está dada por:

$$R = \frac{R_{cn} * R_{cm}}{R_{cn} + R_{cm}};$$ *Ecuación 2.16*

III. MATERIALES

3.1. MATERIALES

A continuación se detallan todos los materiales utilizados inevitablemente, en el reconocimiento físico de las instalaciones de la Subestación de Vilcabamba, para la descripción de su funcionamiento y operación además de su malla de puesta a tierra.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Computador Portátil
1	Cargador para portátil
1	Cámara Fotográfica
1	Cargador de cámara
1	Cable de datos (Cámara-PC)
1	Cuaderno de Apuntes
1	Lapicero
1	Lápiz
1	Casco de Protección
1	Chaleco reflectivo
1	Par de zapatos con piso de cuero aislante
1	Planos de Subestación

IV. PROCESO METODOLÓGICO EMPLEADO

4.1. DESCRIPCIÓN SUBESTACIÓN VILCABAMBA

La subestación Vilcabamba con niveles de tensión de 69 kV a 13,8 kV y con una potencia de 2,5 MVA perteneciente a la Empresa Eléctrica Regional del Sur S. A. **(**EERSSA).

Se encuentra ubicada junto a la vía que une las poblaciones de Malacatos y Vilcabamba en el Cantón Loja. Instalada desde el año 1997, en una extensión de terreno de 200 m^2.

Figura 4.1. *Toma de la Entrada a la Subestación Vilcabamba.*

Las coordenadas geográficas aproximadas: Latitud 4°13´36´´sur, longitud 79°14´14´´oeste. Altura geográfica aproximada 1.696m.s.n.m.

La subestación Vilcabamba se encuentra constituida por las siguientes partes:

- Líneas de subtransmisión
- Líneas de transmisión
- Estructura AAR
    - Conductores
    - Cable de Guarda
- Patio de 69 kV a 13.8 kV

    - Estructuras
    - Herrajes y accesorios
    - Aisldores
- Seccionadores
    - De barra del transformador 2Q2
    - De barra del transformador 3Q2
    - De barra del transformador 3Q3
- Disyuntor 3Q1
- Transformador
    - De potencia
    - Autotransformadores
- Recloser general y alimentadores
- Relés o Relays del Recloser
- Tablero de Servicios Auxiliares
- Sistema de Puesta a tierra

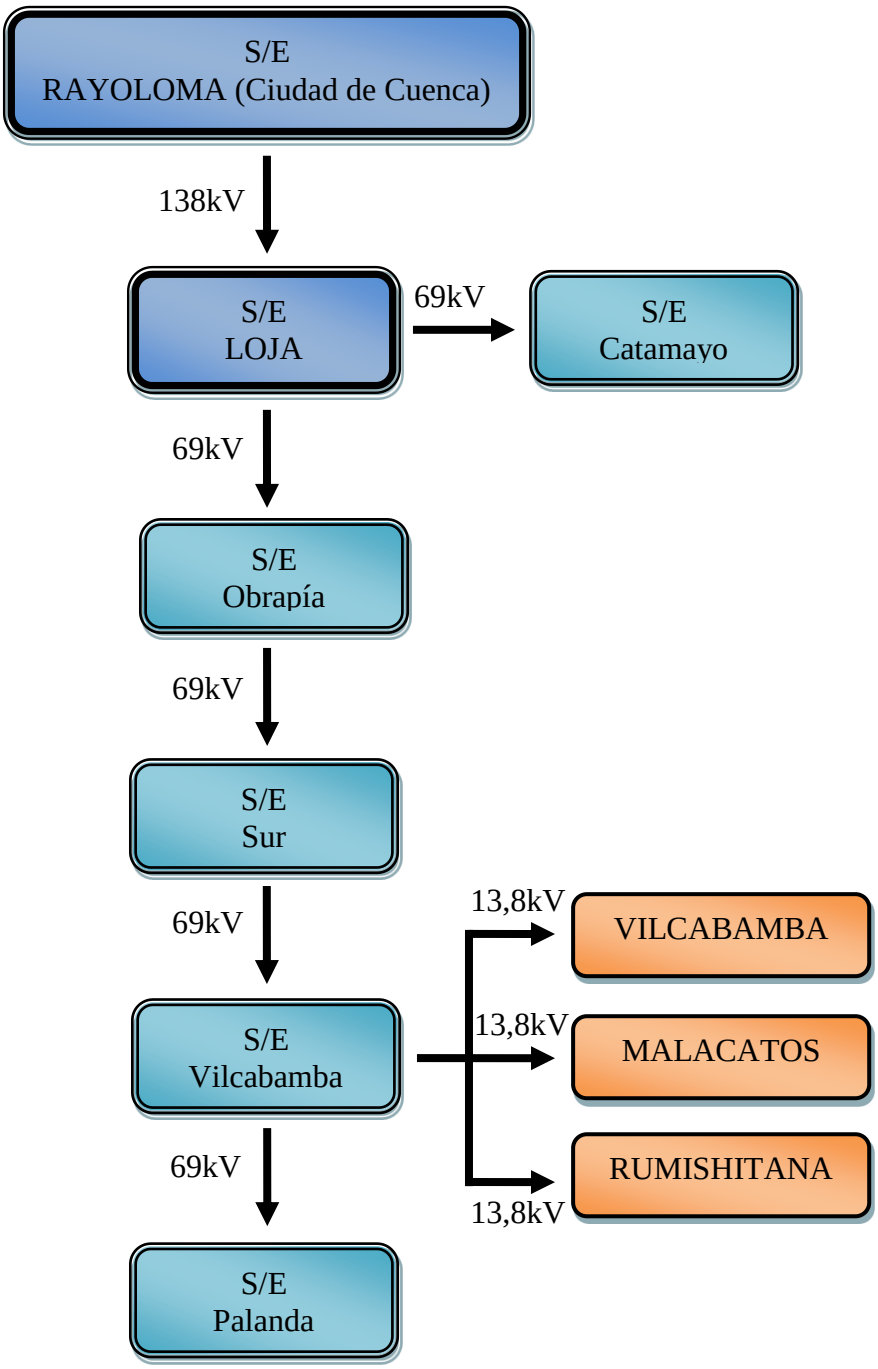
4.2. LÍNEAS DE SUBTRANSMISIÓN

Las largas líneas de transmisión presentan inductancia, capacitancia y resistencia al paso de la corriente eléctrica. El efecto de la inductancia y de la capacitancia de la línea, es la variación de la tensión si varía la corriente, por lo que la tensión suministrada varía con la carga acoplada.

Actualmente existe la línea de subtransmisión a 69 kV, que parte desde S/E Loja hasta la subestación Vilcabamba, y pasa para la S/E Palanda que son de propiedad de la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A. Esta subestación está ubicada aproximadamente 26 Km de la cuidad de Loja cuenta con un

transformador de 2,5 MVA para el suministro de energía a las parroquias Vilcabamba, Yangana, Rumishitana y Malacatos.

4.3. DIAGRAMA DE FLUJO DE VOLTAJE DE TRANSELECTRIC



4.4. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

La alimentación principal se realiza a través de la línea de subtransmisión (L/S/T), que parte de la S/E a 69KV y continúa hacia la S/E de Palanda.

Figura 4.2. *Líneas de distribución.*

4.5. ESTRUCTURA ARR

La estructura tipo ARR retiene la línea que llega a la S/E de Vilcabamba, recibe la alimentación de 69kV desde la subestación Sur, por medio de una línea de 26Km de longitud, se conecta al Patio a través de un seccionador de 3ϕ 4QJ, que llega a los seccionadores de barras de la subestación. De estas barras salen alimentaciones para la subestación Palanda y para el transformador de Potencia T1 de 2,5MVA, con una relación de 69kV a 13,8kV.

Desde éste transformador, se alimenta las barras de 13.8KV de donde salen tres alimentadores de distribución 21-11, 21-12, 21-13.

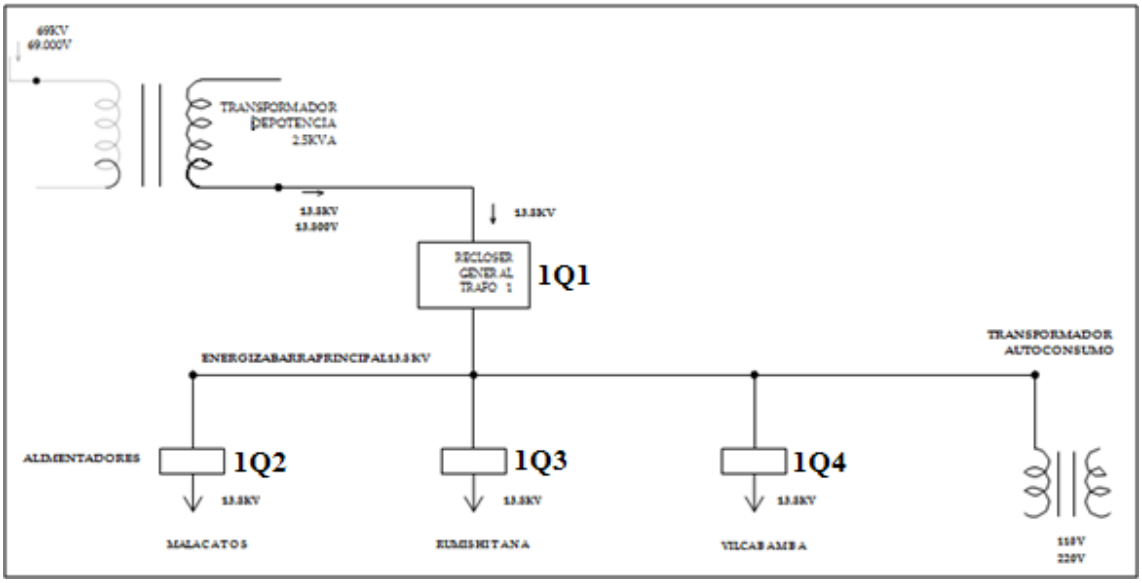


Figura 4.3. *Diagrama unifilar de barras a 13.8KV.*

El transformador Trifásico de servicios auxiliares es de 50KVA se conecta a barras de 13.8KV, de manera de tener 208 - 120V hacia la sala de control.

4.5.1. CONDUCTOR

La línea de transmisión Loja – Vilcabamba está diseñada, mediante conductor desnudo de aleación de aluminio tipo ACAR, calibre 2/0. El tipo y calibre del conductor fue determinado en base a un análisis técnico – económico, Las características del conductor utilizado son las siguientes:

Tabla 4.1. *Características del conductor utilizado.*

Tipo	**ACAR**
Calibre	276,66 MCM
Composición	18/19
Diámetro (mm)	25,32
Sección total (mm2)	380
Resistencia (Ohm/Km)	0,0817

Peso (Kg/Km):	1.048
Tensión de rotura (Kg)	8.651
Módulo de elasticidad (Kg/mm^2)	6.400
Coeficiente de dilatación lineal (1/ºC):	2,30E-05

Esta línea tiene una longitud de 26 Km, está conformada por un circuito simple trifásico, con conductores de aleación de aluminio tipo ACAR, calibre 2/0, que están montados a través de cadenas de aisladores sobre postes de hormigón, 11R/14R, estructuras metálicas (torres), las que a su vez se asegurarán con pernos y herrajes a las estructuras.

Figura 4.4. *Muestra de las líneas de la Subestación.*

Para atenuar las vibraciones se instaló amortiguadores del tipo stock bridge, utilizando armaduras de protección en los puntos de suspensión de los conductores.

4.5.2. CABLE DE GUARDIA

Debido a la gran importancia de esta línea dentro del sistema eléctrico y para mejorar su confiabilidad, es necesaria la instalación de un hilo de guardia en la parte superior de los postes, torres metálicas, de manera que el ángulo vertical que se forme entre este y los conductores (ángulo de protección) no sea mayor a 30°. El cable de guardia es del tipo OPGW de 10mm de diámetro, 12 fibras grado alta resistencia (4900 Kg de esfuerzo a la rotura); de nomenclatura 5/16 acero.

4.6. EQUIPAMIENTO DE LA SUBESTACIÓN VILCABAMBA

La subestación consta de un patio de 69kV, para maniobras de líneas de su transmisión de reducción de 69kV a 13,8kV, que es el de interés.

4.7. PATIO 69kV a 13,8kV

4.7.1. Estructuras:

Sobre una torre de 7,24m de altura, se encuentra instalada una bandeja en su parte superior, para soportar el seccionador de 69kV con cuchilla de tierra y aisladores de 69kV. La torre está hecha de hierro ángulo de 3_x3_x 1/4" para los largueros y de 2_x2_x 1/4" para los tirantes. Las estructuras descansan sobre bases de hormigón armado, y están sujetas con pernos de acero empotrados.

Sobre una torre de 7,24m de altura, se encuentra instalada una bandeja en su parte superior, para soportar:

- 2 Seccionadores 3ф con cuchilla en tierra.
- 2 Seccionadores 3ф Simples.
    - 1 Seccionador 3ф, entra en el patio con 69kV.
    - 1 Seccionador 3ф, sale a S/E de Palanda.
    - 1 Seccionador, energiza en disyuntor SFG de Palanda.

- 1 Seccionador, energiza el transformador de potencia de 2,5MVA.

Figura 4.5. *Muestra de la torre de la Subestación Vilcabamba.*

4.7.2. Herrajes y Accesorios

Estos elementos corresponden a aquellos necesarios para la fijación de los aisladores a la estructura y al conductor, los de fijación del cable de guardia a la estructura y los elementos de protección eléctrica. Todos estos elementos deberán ser de un material resistente a la corrosión, que en forma general se limita al uso de materiales galvanizados, serán de diseño adecuado a su función mecánica y eléctrica y deberán ser prácticamente inalterables a la acción corrosiva de la atmósfera.

Los pernos, adaptadores, grilletes, grapas de suspensión y retención para el hilo de guardia, pernos U, adaptadores tipo “Y”, adaptadores tipo socket, rótulas y otros serán de acero o de hierro protegidos contra la corrosión mediante galvanizado por inmersión en caliente. Los materiales deben ser de tal manera que no se presente peligro de destrucción por corrosión galvánica.

Las uniones de los conductores y del cable de guardia serán del tipo compresión.

Las grapas de suspensión y anclaje para ser usadas con el cable de guardia (OPGW), serán hierro galvanizado.

Las grapas de suspensión y de anclaje para los conductores serán construidas con el cuerpo de aluminio, los pasadores y los elementos de ajuste serán de acero galvanizado.

Las grapas de retención (anclaje) serán del tipo compresión y la resistencia de estos elementos será igual o superior a la resistencia electromecánica de los aisladores utilizados. En las grapas de suspensión, los conductores estarán protegidos mediante varillas de armar.

Tanto los aisladores como los accesorios de sujeción a la estructura, deberán ser diseñados de forma que puedan ser reemplazados usando equipo convencional para trabajo en línea energizada.

4.7.3. Aisladores

Los aisladores utilizados serán de porcelana o vidrio, del tipo suspensión, clase ANSI 52-3, con resistencia electromecánica mínima de 15.000 libras, con acoplamiento “socket ball”.

Los aisladores deberán tener sus partes metálicas de material ferroso y estarán protegidos adecuadamente contra la acción corrosiva de la atmósfera, mediante galvanizado por inmersión en caliente.

Tabla 4.2. *Características descriptivas de los aisladores.*

Descripción	**Cantidad**
Aisladores 69KV tipo polímero	18
Aisladores de suspensión	3
Aisladores 69KV de 6 discos para estructura terminal	3
Grapa terminal	9
Terminales tipo talón 4/0 cu	6

La línea de 69KV llega al patio sujetada y aislada por aisladores tipo polímero pasando seguidamente al seccionador tripolar de 69kv energizando de esta forma al patio.

Figura 4.6. *Tipos de aisladores.*

4.8. SECCIONADORES

Elemento de desconexión cuya función es aislar físicamente un circuito su principal característica es su incapacidad de abrir o cerrar un circuito con carga, por carecer de un medio idóneo para extensión del arco por su velocidad de apertura.

Tabla 4.3. *Características generales de los seccionadores.*

Seccionadores motorizados	3
Seccionadores de cuchillas de puesta a tierra	2
Seccionador de fusible	3
Seccionador tripolar	4

Se puede apreciar tres entradas a barras de 69kV que tienen seccionadores motorizados, los seccionadores de línea con cuchilla de puesta a tierra tienen contactos para indicar el estado, que son comandados desde el patio y la barra principal de 69kV.

Figura 4.7. *Modelo de seccionadores empleados.*

La señal de voltaje pasa a la barra principal de 69kV, las líneas están sujetadas a aisladores de suspensión que sirven para mantener las distancias mínimas de seguridad (1cm/c 1000V), para evitar que la línea choque con la estructura por efectos del viento o por alguna fuerza suave.

4.8.1. El Seccionador de Barra del Transformador 2Q2

Figura 4.8. *Seccionador de Barra del Transformador 2Q2*

El seccionador de barra y de puesta a tierra sur, 4q3-4q5 o seccionador tripolar, se encuentra ubicado en el patio de 69kV el cual tiene como función abrir o cerrar líneas desenrizadas o sin carga (muerta) además funciona como

seccionador de puesta a tierra (cortocircuita las tres fases y las conecta a la malla de puesta a tierra) esto lo realiza cuando la línea está sin carga, está compuesto por partes aislantes y un brazo mecánico que va directamente a un tablero de control diferente para cada uno de sus dos funciones ya mencionadas de donde se puede maniobrar mediante el accionamiento de un motor eléctrico de corriente continua controlado por contactores y botoneras o en forma manual en caso que no se disponga de la corriente continua.

Figura 4.9. *Seccionador de Línea y de Puesta a Tierra 4Q3-4Q5*

4.8.2. Seccionador de Barra salida a Palanda3Q2

Es un elemento especial cuya finalidad es conectar la barra de 69kV al disyuntor o interruptor de 69kV, la conexión del seccionador se realiza para trabajos de mantenimiento y aislamiento de equipos.

Figura 4.10. *Seccionador de Barra Palanda 3Q2*

4.8.3. Seccionador de Línea Palanda 3Q3

Este seccionador es el encargado de conectar las salidas del disyuntor a las de Alta Tensión (AT) que van a la S/E Palanda, posee un sistema de operación manual en grupo montaje horizontal apertura vertical apropiado para instalación a la intemperie y de ruptura en aire este equipo está provisto de un seccionador para puesta a tierra y los respectivos interbloqueos mecánicos, éste seccionador será capaz de interrumpir la corriente en vacío de la línea.

Figura 4.11. *Seccionador de Línea Palanda 3Q3*

El Seccionador Tripolar Plomo SF1, el cual energiza el transformador dé Potencia.

Luego de la barra principal pasa a los seccionadores tipos fusible, uno por cada fase; este seccionador es el encargado de proteger de sobrecorrientes al transformador.

4.9. DISYUNTOR 3Q1

Elemento de aislamiento cuya principal función es aislar un circuito con carga o con condiciones de fallas se diferencia de un seccionador porque su condición no es fácilmente apreciable y porque contiene un medio o mecanismo de extensión de arco permite abrir o cerrar líneas con gran

cantidad de carga, en el momento de la apertura o cierre en las puntas conectoras se genera un arco voltaico el mismo que es anulado por el gas Hexafluoruro de Azufre (SF6).

- Relé F650 del Disyuntor 3q1 de la Línea a Palanda
- El relé F650 cumple con la función de relé de sobrecorriente el cual:
    - Censa o registra las fallas que se suscitan a lo largo de toda la línea.
    - Clasifica la falla en falla instantánea o en falla temporizada.
    - Conecta o desconecta el Disyuntor, dependiendo de la gravedad de la falla y del seteo del relé.

4.10. TRANSFORMADOR

Es quizás el elemento más importante de una subestación, su principal función es elevar la tensión para facilitar la trasmisión de energía eléctrica o reducir el voltaje para la distribución de la misma.

En el sistema de trasmisión de energía eléctrica existen transformadores de potencia de dos tipos.

4.10.1. Transformadores de Potencia

Los Transformadores de potencia propiamente dichos, por lo general trifásicos constituidos en un solo cuerpo; tienen dos o tres bobinados por cada una delas fases AT, BT, TT independientes eléctricamente.

4.10.2. Autotransformadores

Su utilización se debe básicamente a la capacidad de carga normalmente se lo utiliza para cargas mayores a los 150 MVA.

Por el mismo hecho dichos autotransformadores son monofásicos y su principal característica es que tienen una sola bobina para la transformación de los voltajes principales y eventualmente una segunda bobina para disponer de un voltaje terciario para servicios auxiliares.

Cabe señalar que en la subestación Vilcabamba se encuentra instalado un transformador trifásico con una potencia instalada de 2,5MVA.

Figura 4.12. *Toma del transformador de la Subestación.*

Mediante el transformador, se reduce la tensión de 69kV a 13,8kV para suministrar energía eléctrica a los alimentadores 21-11 (Vilcabamba), 21-12 (Malacatos) y 2113 (Rumishitana).

Figura 4.13. *Transformador Trifásico de Potencia*

En la tabla 4.5, se presenta las características del Transformador Trifásico de Potencia.

POTENCIA	2500/3125KVA
ACEITE REFRIGERANTE	
TIPO	Acorazado
VOLTAJE AT	69000V
CORRIENTE	20.9 / 26.1A
VOLTAJE BT	13800V
CORRIENTE	105/131A

Tabla 4.4. *Características del Transformador Trifásico de Potencia.*

4.12. POSICIONES A 13.8KV

El patio tiene un sistema de barras simple, con una posición con interruptor automático enchufable (1Q1) para el transformador de 2.5MVA y otras tres (1Q2, 1Q3 y 1Q4) para alimentadores de distribución como se aprecia en el diagrama unifilar de la figura 4.4. Las salidas tienen interruptores y comandos

ubicados en las alas de control de la Subestación. Los alimentadores de distribución tienen protecciones de sobre corriente (relés F650), y equipos para mediciones de corriente, potencias y energía.

4.13. RECLOSER GENERAL Y ALIMENTADORES

La casa de control tiene 5 Paneles como se observa en la figura 18. El primer panel corresponde al Transformador, de entrada del Interruptor o Recloser General (1Q1), el 2do, 3ero y 4to panel corresponde a los Alimentadores Malacatos, Rumishitana y Vilcabamba (1Q3, 1Q4, 1Q2) o salida del Interruptor 1Q1,el 5to panel es el de Servicios Auxiliares.

La Barra Principal de 13,8kV, distribuye el voltaje a cada uno de los recloseres de los alimentadores.

El Interruptor General de 13,8kV con nomenclatura Trafo 1, es el encargado de energizar la barra principal de 13,8kV. Los Recloseres o Interruptores de 13,8kV permiten conectar o desconectar los alimentadores con moderada cantidad de carga, en el momento de la conexión o desconexión en las puntas conectoras se genera un arco voltaico, el mismo que es anulado por una cámara en vacío.

Figura 4.14. *Panelesa13.8KV*

Todos los alimentadores y el Recloser General están compuestos por dos celdas en cada panel de acuerdo a la figura 4.14, los cuales constan de:

- Parte Superior
- Parte Inferior

Los Paneles de cada alimentador y del Interruptor General de 13,8kV constan de dos partes:

En el Tablero de control se encuentran:

- Relé F650
- Elemento de control
- Tablero donde reposa el Recloser o Interruptor de 13,8kV.

Figura 4.15. *Parte Superior e inferior del Recloser General y Alimentadores*

4.13.1. Parte Superior

En la cual se encuentra el tablero de control, compuesto por los sistemas que a continuación detallamos:

Figura 4.16. *Equipos de Medición y Protección del Recloser General y Alimentadores*

4.13.2. Sistema de Medida

En este sistema de medida hay varios instrumentos analógicos y cada uno utiliza una unidad de medida, está conformado por: amperímetro (Amperio A), Mega-watímetro (Mega vatio MW), Mega-varímetro (Mega Var MVAR), Kilo-voltímetro (kilo voltio KV), Kilo-watihorímetro (Kilovatio-hora KW-h).

4.13.3. Sistema de Señalización

Dentro de este sistema se encuentran las luces piloto que nos indican si el alimentador se encuentra en estado abierto (verde) o cerrado (rojo).

4.13.4. Sistema de Control

En este sistema constan dos botoneras para abrir o cerrar el alimentador. También consta del selector el mismo que tiene dos posiciones.

4.13.5. Sistema de Protección

Dentro de este sistema están los relés, los mismos que están programados con datos propios de cada alimentador, salvo el caso del recloser general que contiene datos de todos los alimentadores.

4.13.6. Parte Inferior

La celda inferior del Panel en la cual se encuentran las barras a 13.8KV a las que se conectan el Interruptor del Transformador y de los Alimentadores.

En la figura 4.17, se observa los Transformadores de Corriente Tc´s que se encuentran en el patio y en la figura 24 se observa el Transformador de Potencial Tp´s, que se encuentra en el Tablero de Servicios Auxiliares, que permiten conectar los equipos de medición como Varímetro, Amperímetro, Watímetro, Vatihorímetro, y el equipo de protección (Relé F650) a los interruptores.

Figura 4.17. *Interruptor del Transformador y Transformador de Corriente*

Figura 4.18. *Transformador de Potencial*

4.14. RELÉS DEL RECLOSER GENERAL Y ALIMENTADORES

El Relé F650 del Recloser General o Trafo 1, es un Relé de respaldo de los alimentadores, además puede desconectar o no desconectar el recloser.

El Relé F650 de alimentadores cumple con dos funciones:

- Como relés de sobre corriente
- Como relés de re-cierre.

4.14.1. Relé de Sobrecorriente

Censa o Registra las Fallas que se suscitan a lo largo de todo el alimentador en cualquiera de las tres fases; las clasifica en falla instantánea o falla temporizada; Desconecta automáticamente el Recloser. Estos tres pasos los realiza en el mismo instante de tiempo (milisegundo).

4.14.2. Falla Instantánea

Posee corrientes de falla o de corto circuito grandes o elevadas, por lo general estas fallas se encuentran cerca de la subestación.

4.14.3. Falla Temporizada

Posee corrientes de falla o de corto circuito bajas o moderadas, por lo general estas fallas se encuentran lejos dela subestación.

4.14.4. Relé de Recierre

Examina los valores de corriente de corto circuito que censo el relé de sobre corriente si estos valores se encuentran dentro de los rangos programados, el relé de re cierre le ordena a la unidad de re cierre que realice intentos hasta 3 reconexiones automáticas dependiendo de la gravedad de la falla siempre y cuando la unidad de re cierre (43-79) este activada.

4.15. TABLERO DE SERVICIOS AUXILIARES

El Tablero de Servicios Auxiliares o Panel 5, contiene el conjunto de luces de señalización, así como 2 botoneras; una para prueba de luces y otra para reposición de los relés que se encuentran internamente, además tiene un amperímetro y un voltímetro que mide niveles de voltaje y corriente de salida del transformador de autoconsumo de la Subestación.

Figura 4.19. *Panel de Servicios Auxiliares*

En el mismo panel 5, en la parte posterior se encuentra el Tablero del Transformador de Servicios Auxiliares como se aprecia en la figura 25, para alimentar los circuitos en Vac de los elementos de la subestación.

Figura 4.20. *Tablero de Servicios Auxiliares*

4.15.1. Tablero del Cargador de Batería

El Tablero del Cargador de Batería, se encuentra en la parte posterior de los paneles y se lo utiliza para alimentar los circuitos en Vcc de los elementos de la subestación.

Figura 4.21. *Tablero del Cargador de Batería*

4.15.2. Banco de Baterías

Está compuesto por baterías de plomo-acido como se observa en la figura, cada una suministra un voltaje de 1.75V, están conectadas en serie; el voltaje total del banco es de 126V de corriente continua el mismo que sirve para iluminación de tableros, alimentación de bobinas, motores y luz de señalización y emergencia.

Figura 4.22. *Banco de Baterías*

El banco de baterías instalado en la subestación, que forman parte de los servicios auxiliares, tiene como función principal almacenar la energía para utilizarla en el disparo de los interruptores, por lo que deben hallarse en óptimas condiciones de funcionamiento.

Las baterías se utilizan para energizar:

- Protecciones.
- Lámparas piloto, aunque a veces se energizan con corriente alterna.
- Registrador de eventos.
- Circuito de transferencia.

El cargador de Baterías Mantiene el voltaje nominal o ideal del banco de baterías.

4.16. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT)

El sistema de puesta a tierra de la Subestación Vilcabamba, fue instalado en el año de 1997. Está compuesta por una malla de tierra, la misma que según recomendaciones técnicas nacionales e internacionales se encuentra interconectada con todos los equipos eléctricos y electrónicos, además de las estructuras presentes en el patio de la Subestación Vilcabamba.

Figura 4.23. *Conexión de estructura a SPT*

4.16.1. Estructura de SPT

La malla de puesta a tierra de la subestación Vilcabamba se encuentra estructurada con:

- Cable desnudo de cobre # 2/0.
- Una longitud de cable de 250 m incluido chicotes.
- Una profundidad de enterramiento de 0.5 m
- 14 varillas de cooperweld 5/8x6, ubicadas estratégicamente en los puntos de contacto en la malla.

Toda la subestación se encuentra recubierta con una capa de grava (ripio) para poder evitar las tensiones por contacto con las partes metálicas que conforman el patio. Los detalles de las dimensiones de la estructura de la malla de puesta a tierra se encuentran en el Anexo C.

Además existen varillas de cooperweld instaladas en la subestación, que no forman parte de la malla, que se convierten en puntos de descarga para elementos electrónicos que realizan control, comunicaciones y telecomunicaciones.

4.16.2. Levantamiento del SPT

El levantamiento inicia con el reconocimiento de la ubicación exacta de los elementos que constituyen la malla de puesta a tierra en la subestación, entre los cuales se tiene: conductores de protección y conductores de servicio; en la planimetría proporcionada por la EERSSA, para posteriormente realizar la verificación en físico de la misma, y determinar el estado actual de funcionamiento, para efectos de realizar las recomendaciones de ser el caso, si se tiene que corregir o mejorar el SPT.

La malla de puesta a tierra se encuentra colocada en la Subestación Vilcabamba a una profundidad de 50cm y está constituida por:

a. **Conductor de tierra:** cable de cobre desnudo calibre #2/0AWG.
b. **Conductor de protección y de servicio:** cable de cobre desnudo calibre #1/0 AWG.
c. **Cable de Guarda:** Evita que las descargas atmosféricas caigan directamente sobre las fases (A, B, C).
d. **Descargador Valvular**: Absorbe la gran cantidad de corriente que posee una descarga atmosférica y la envía a la malla de puesta a tierra.

e. **Puntas Franklin:** Protege todos los equipos que se encuentran en el patio de 69KV, tienen un ángulo circular de protección de 30º.

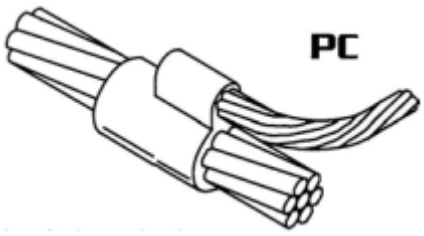
f. **Malla de Puesta a Tierra:** Se conectan todos los equipos de la subestación, así como el cable de guarda, descargador valvular y las puntas franklin. Es el lugar donde se disipan o anulan las sobre corrientes o corrientes de falla.

Pararrayo: Cabe indicar que el patio de 69KV cuenta con pararrayos los mismos que están conectados a un contador de descargas atmosféricas y directamente a una malla de puesta a tierra**.** La unión que se da entre los conductores de tierra está realizada mediante conexiones atornilladas. Desde el año en que fue diseñada la malla de tierra hasta el momento no se han realizado pruebas de campo que determinen el estado actual de funcionamiento de la malla de puesta a tierra. Además, solo se posee los planos de diseño de la malla de tierra en los cuales se describen la posición exacta de los conductores de tierra y el área cubierta por la malla dentro de la subestación.

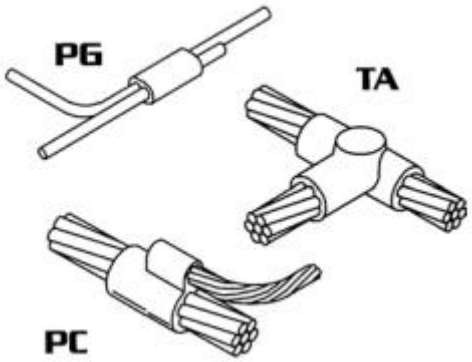
4.16.3. Tipos de Empalmes

A continuación se detalla los tipos de empalmes y conectores, utilizados en la malla de puesta a tierra de la Subestación Vilcabamba.

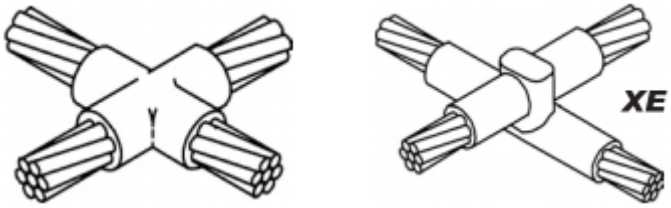
- Ducto de empalme paralelo:



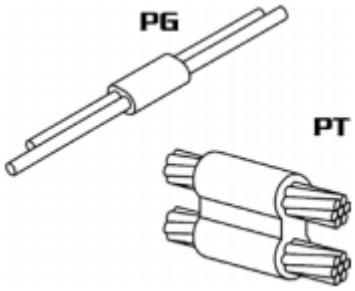
- Empalmes horizontales en “T”:



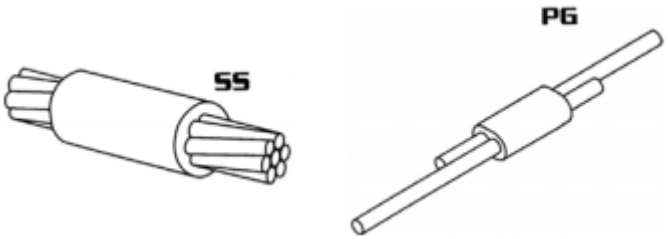
- Empalmes horizontales en “X”:



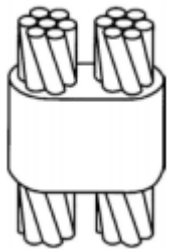
- Conductores horizontales en paralelo:



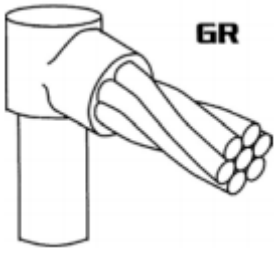
- Empalme horizontal:



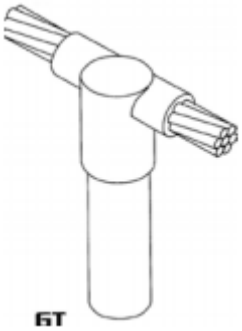
- Conductores verticales en paralelo:



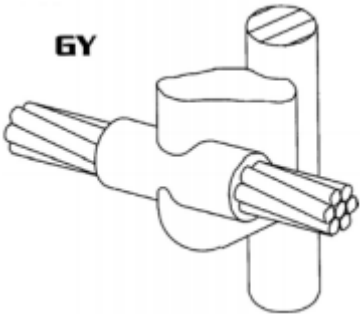
- Cable a varilla de tierra: *Único cable al extremo superior de la varilla de tierra.*



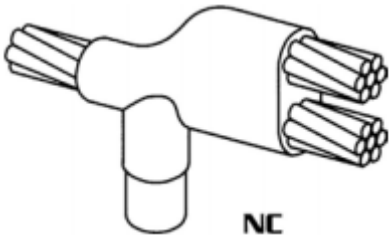
- Cable pasante a varilla de tierra:



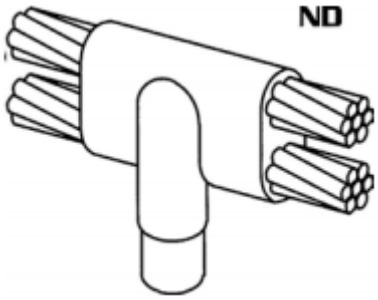
- Cable a varilla de tierra: *Cable a través de un lado de la varilla de tierra.*



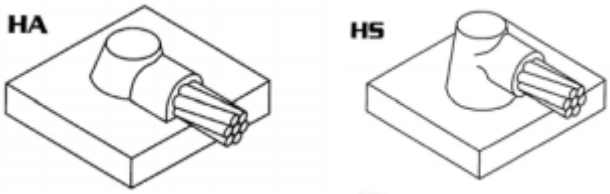
- Dos cables a varillas de tierra:



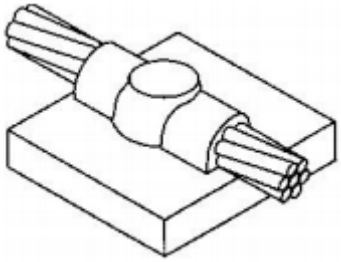
- Cables paralelos al extremo superior de la varilla de tierra:



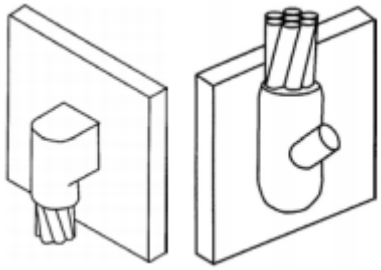
- Superficie horizontal de acero: *Conductor horizontal concéntrico de cobre en la parte superior del tubo horizontal.*



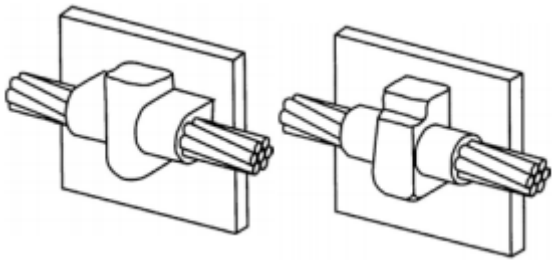
- Superficie horizontal de acero: *Cable en la parte superior del tubo horizontal de acero.*



- Superficie vertical de acero: *Empalme de un cable vertical con un lado del tubo horizontal de acero*



- Superficie vertical de acero: *Cadweld a través de empalmes con la superficie plana vertical de acero, cable a un lado del tubo horizontal de acero, cable al tubo vertical de acero.*



V. RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Debido a que la subestación Vilcabamba, es muy importante en la distribución de energía eléctrica en la parte sur de la cuidad de Loja, en la presente se analizara y detallara las condiciones actuales de funcionamiento.

La subestación Vilcabamba, recibe 69kV de las S/E Sur de Loja, y distribuye 69kV a la S/E de Palanda, además de 13,8kV a las parroquias de Vilcabamba, Malacatos y Rumishitana, tal como se describe el la figura del diagrama de flujo siguiente:

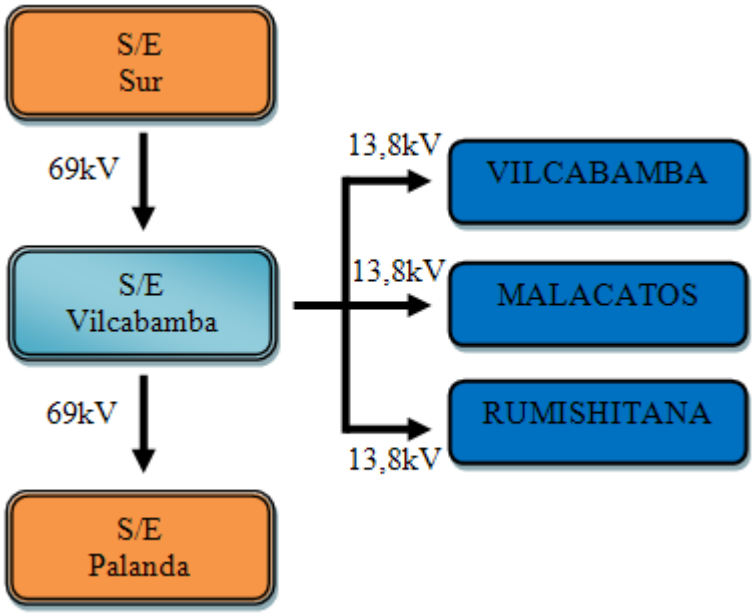


Figura 5.1. *Tensiones de S/E de la Subestación Vilcabamba.*

La Subestación está compuesta por un transformador principal y los respectivos elementos de seccionamiento y protección. El lado primario del transformador estará alimentado desde la salida de la S/E Sur, con un nivel de tensión de 69kV, para reducirlo hasta 13,8kV, para los alimentadores que van a las parroquias de Malacatos, Vilcabamba y Rumishitana.

Los componentes que intervienen en la distribución de energía eléctrica de la subestación Vilcabamba, se encuentran operativos y en buenas condiciones

para continuar en funcionamiento, respetando las respectivas normas de seguridad.

5.2. ANÁLISIS DEL SPT

El reconociendo el estado de los elementos que componen el SPT en la Subestación Vilcabamba, se hicieron en referencia a la norma IEEES td.80-2000. Lo que permitió determinar que el sistema de puesta a tierra presenta los siguientes inconvenientes:

a. No todas las estructuras metálicas que se encuentran en la subestación, tienen su conductor de protección respectivo conectada a la malla de puesta a tierra (estructuras de soporte de los aisladores tipo campana para 69kV), como se puede apreciar en la figura siguiente:

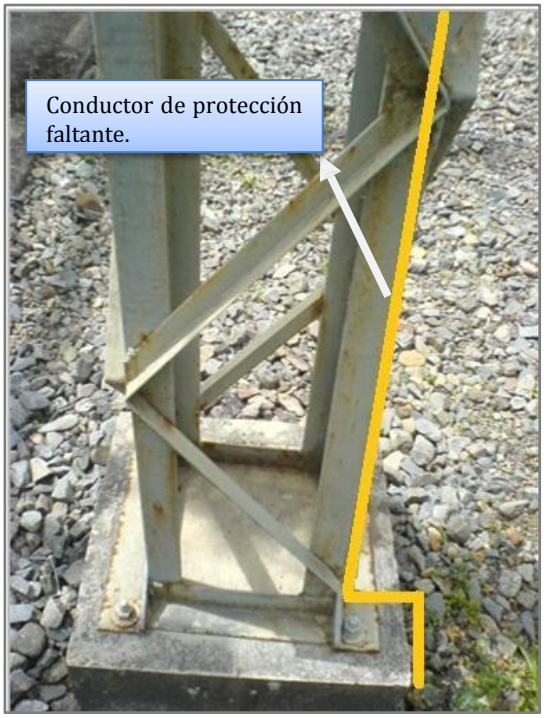


Figura 5.2. *Estructura metálica no aterrizada.*

b. La norma IEEES td.80-2000 dentro de la cláusula 9.4, se refiere a aspectos básicos del diseño de la malla de tierra, y propone en su inciso c), el incluir en la malla conductores de tierra calibre #4/0AWG de material de cobre desnudo. Ahora es necesario recalcar que la malla existente en la subestación Vilcabamba está construida con conductor # 1/0AWG, hecho fácilmente apreciable en la figura siguiente:

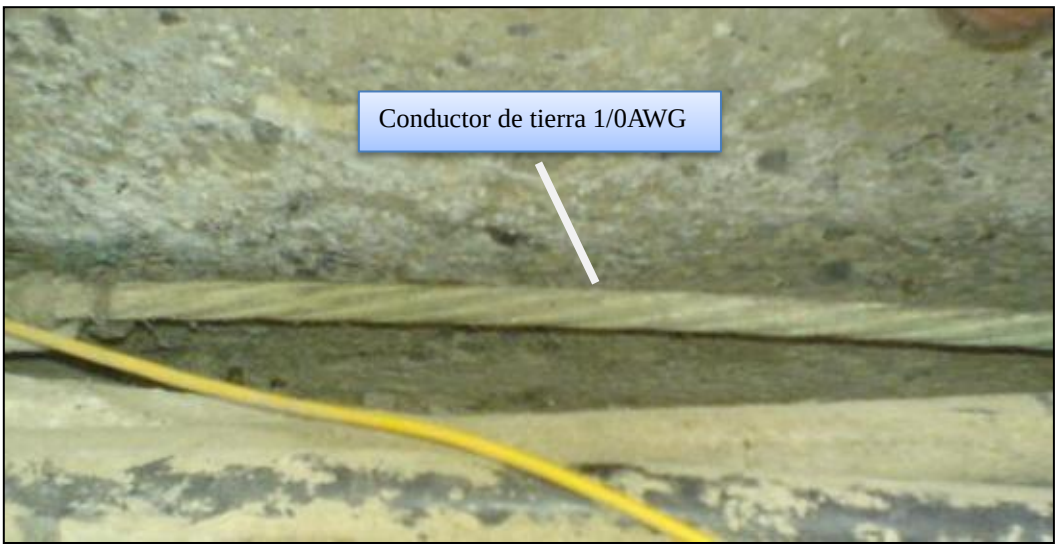


Figura 5.3. *Conductor de tierra existente en la malla.*

c. En la verificación y chequeo completo de todas las conexiones de puesta a tierra (conductores de protección y conductores deservicio), se detectó que los conectores de la puesta a tierra de los conductores de protección, se encuentran en mal estado (oxidados), convirtiéndose en un riesgo para el personal y equipos instalados, lo que se puede apreciar a continuación.

Figura 5.4. *Conexión del conductor de protección en mal estado.*

VI. CONCLUSIONES

6.1. CONCLUSIONES

- En la actualidad la Subestación, tiene 15 años de servicio, lo cual implica que la mayoría de los equipos y sistemas están a punto de cumplir con su tiempo de vida útil.
- El plan de mantenimiento actual de la Subestación Vilcabamba es obsoleto, y por la importancia que representa la misma en el desarrollo de las poblaciones de Vilcabamba, Malacatos, Rumishitana y parte sur oriental de la provincia de Zamora Chinchipe, es urgente su reestructuración y actualización para así no solo garantizar el correcto desempeño de los equipos que la constituyen, sino el servicio a la ciudadanía que es su razón misma de ser.
- Con el constante incremento poblacional y por ende el incremento de la demanda eléctrica que tienen las poblaciones a las que brinda el servicio de electricidad la Subestación Vilcabamba, es importante considerar el incremento de capacidad con la instalación de un nuevo transformador o en su defecto la sustitución de los transformadores por unos de mayor capacidad. Siendo más notoria esta situación en días festivos donde por el alto consumo eléctrico salta el alimentador.
- Es indispensable el considerar un estudio técnico de modernización, para la reposición y reemplazo de equipos en las etapas de repotenciación de la Subestación Vilcabamba, puesto que se encuentran a punto de cumplir la vida útil de funcionamiento para la cual fueron adquiridos.

- Además, es notable el deterioro de las conexiones en distintos contactos de equipos que son parte importante dentro del sistema de la Subestación.
- Los conectores, de las conexiones del sistema de puesta a tierra de los conductores de protección y conductores de servicio, se encuentran en mal estado (oxidados), por el tiempo de servicio que tiene la subestación además de factores ambientales, impidiendo que exista una buena superficie de contacto.
- Las condiciones ambientales pueden deteriorar la puesta a tierra con el tiempo, por lo que se debe, monitorear constantemente para verificar su estado y correcto funcionamiento.
- Para una Subestación Eléctrica la máxima resistencia de tierra no debe ser mayor a 5 ohmios.
- Las mallas se diseñan para fallas de baja frecuencia. No se consideran fallas de alta frecuencia como descargas atmosféricas para el diseño de las mallas, aunque también ayudan a disiparlas.
- La malla se diseña para ser capaz de disipar el 100% de la corriente de falla trifásica o de línea a tierra, la que resulte mayor.
- Se utiliza como referencia el estándar IEEE-80 vigente, para personas con un peso de 50 kg ó 110 lbs, para calcular los valores de voltajes de paso y de toque máximos permitidos en la subestación, hasta un metro fuera del perímetro o verja de ésta.
- Los bajantes a tierra de postes dentro de una subestación tienen que conectarse a la malla a tierra.

- Todo equipo se tiene que conectar en por lo menos dos puntos a la malla, con excepción de los bancos de capacitores que se conectan en un solo punto.
- Se requiere que los bajantes a la malla de todas las estructuras y equipos expuestos a fallas sean de cobre sin cubierta con un calibre mínimo de 4/0 AWG.

VII. RECOMENDACIONES

7.1. RECOMENDACIONES

- Es urgente la necesidad de estructurar un nuevo plan de mantenimiento para la Subestación Vilcabamba, puesto que las condiciones actuales en las que se encuentra dan a notar que el que se ejecuta actualmente no funciona y los equipos e instalaciones no se encuentra en condiciones ideales para su correcto desempeño.
- Puesto que la mayoría de los equipos se encuentran a punto de cumplir su vida útil, es importante e indispensable la modernización con equipos mejorados para garantizar la eficiencia y eficacia en su funcionamiento.
- Tomando en cuenta que la población de las parroquias de Vilcabamba, Malacatos y Rumishitana, son consideradas de gran importancia turística en la región sur, la demanda eléctrica ha incrementado considerablemente, de ahí que es necesario considerar el reemplazo de los transformadores actualmente existentes por unos de mayor capacidad, y así evitar posibles inconvenientes al momento de prestar el servicio.
- Como el sistema de puesta a tierra en las subestaciones es de gran importancia para garantizar la seguridad de las personas y equipos, es imperioso el reemplazo de conectores de los conductores de protección y conductores de servicio, debido a que por cuestiones ambientales se encuentran oxidados.
- Con el pasar de los años y el constante incremento de usurarios del servicio, es necesario realizar una ampliación en la subestación, y verificar como incrementa la corriente de cortocircuito y mediante equipos modernos se estudie si la malla que existe sería eficiente.

- Para una mejor reducción en el valor de la resistencia de puesta a tierra en la subestación Vilcabamba, se recomienda aplicar tratamiento químico del terreno sobre los electrodos que se encuentren en las zonas donde presentan los mayores valores de potenciales de contacto.
- Debido a que no todas las estructuras metálicas que se encuentran en la subestación tienen su conductor de protección respectivo, es necesario y urgente conectarlas a la malla de puesta a tierra para garantizar el correcto desempeño de los equipos y coincidan con la disposición de puesta a tierra indicada en el plano inicial de construcción de la malla.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

8.1. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS CONSULTADOS

[1] Caldera J. & Yánez H.; Las energías renovables como cuidado al medio ambiente; Editorial Oceánica; 2002.

[2] Frederick M. & Kenneth W.; Renewable energies: the next generation of energies; McGraw-Hill; 2003.

[3] George F.& Morrinson R.; Clean environment with renewable energies; McGraw-Hill; 2001.

[4] Guzmán T. & Suárez C.; Generación y uso de energías limpias: un avance tecnológico; Editorial Porrua, 2004.

[5] Hendrickson A.& Arvey S.; Renewable energies to best future; McGraw-Hill; 2001.

[6] Keith Johnson, Wind Shear: GE Wins, Vestas Loses in Wind-Power Market Race, Wall Street Journal, March 25th 2009, accessed on January 7th 2010.

[7] Mark Osborne, First Solar's market share set to soar, PV-Tech.org, September 7th 2009, accessed on January 7th 2010.

[8] Martínez G.; Luna H. & Arevalo P.; Las energías limpias para el progreso de la humanidad; Editorial Oceánica; 2002.

[9] Ramírez B., Magana J. & Hernández S.; Fuentes naturales de energía; Editorial Porrua, 2003.

[10] Renewables; REN21 (2008). 2007 Global Status Report; pag. 18.

[11] Robles F., Fernández H., Torres V. & Ramírez A; Generación de electricidad y calor con energías limpias; Editorial Porrua; 2001.

[12] Román A., Romo R. & Soto T.; Energías renovables y sus aplicaciones; Editorial Oceánica; 2005.

PÁGINAS WEB DE INTERÉS:

[13] ***Subestaciones Eléctricas.*** *Disponible en:* http://www.aiu.edu/publications/student/spanish/SUBESTACIONES-ELECTRICAS.html

[14] ***Subestación Eléctrica en Poste.*** *Disponible en:* http://www.bibliocad.com/biblioteca/subestacion-electrica-en-poste-25kva_9595

[15] ***Funcionamiento De Componentes Eléctricos De Una Subestación Eléctrica.*** *Disponible en:* http://www.buenastareas.com/ensayos/Funcionamiento-De-Componentes-Electricos-De-Una/697394.html

[16] ***Mantenimiento a Subestaciones.*** *Disponible en:* http://www.energizaonline.com/es/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=33&lang=es

[17] ***Descripción de los conceptos básicos de la subestación eléctrica.*** *Disponible en:* http://es.scribd.com/doc/126491368/Descripcion-de-los-conceptos-basicos-de-la-subestacion-electrica-docx

[18] ***Subestación Eléctrica.*** *Disponible en:* http://es.wikipedia.org/wiki/Subestaci%C3%B3n_el%C3%A9ctrica

[19] ***Subestaciones Eléctricas.*** *Disponible en:* http://www.grupoteimexico.com.mx/subestaciones_electricas.php

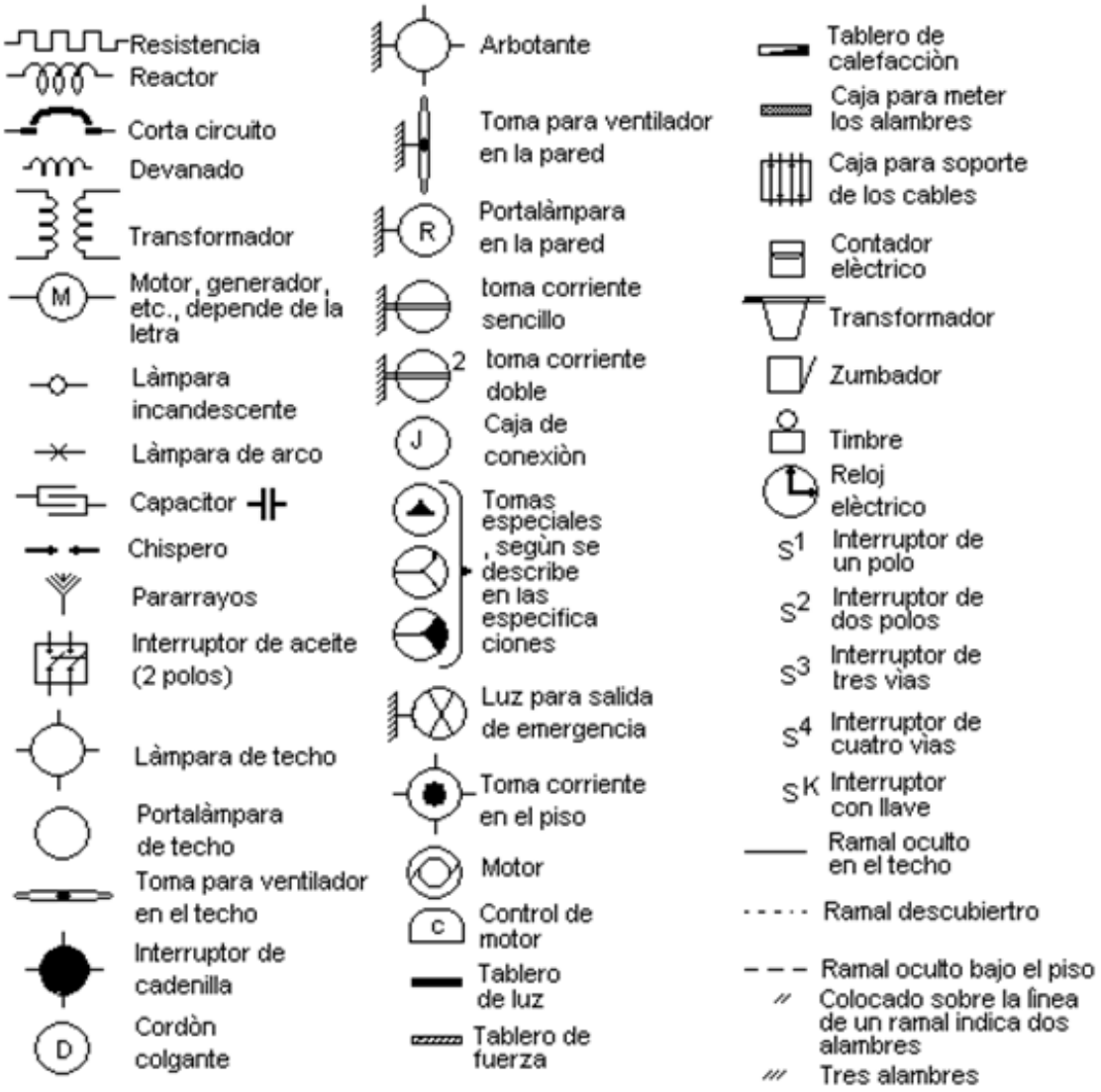
[20] ***Subestaciones Eléctricas.*** *Disponible en:* http://www.monografias.com/trabajos90/equipo-primario-subestacion-electrica/equipo-primario-subestacion-electrica.shtml

[21] ***Descripción de las subestaciones, funciones y cometidos.*** *Disponible en:* http://simasa.com.mx/blog/2011/10/19/descripcion-de-las-subestaciones-funciones-y-cometidos/

IX. ANEXOS

ANEXO A

9.1. Simbología en Instalaciones Eléctricas



ANEXO B

9.2. Planimetría Subestación Vilcabamba.

9.2.1. Diagrama unifilar

ANEXO C

9.3. Estructura de Malla de Puesta a Tierra