

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE APANTALLAMIENTO, PUESTA A
TIERRA Y CÁMARA DE TRANSFORMACIÓN DEL CENTRO DE SALUD
N°1 “CENTRO HISTÓRICO” DEL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA.**

**AUTOR:
NICOLÁS MAXIMILIANO MÉNDEZ AÑASCO**

**TUTOR:
JORGE PAÚL MUÑOZ PILCO**

Quito, marzo del 2022

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Nicolás Maximiliano Méndez Añasco, con documento de identificación N° 1724769615, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: **DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE APANTALLAMIENTO, PUESTA A TIERRA Y CÁMARA DE TRANSFORMACIÓN DEL CENTRO DE SALUD N°1 “CENTRO HISTÓRICO” DEL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA.**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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



Nicolás Maximiliano Méndez Añasco
CI. 1724769615
Quito, marzo del 2022

DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, **DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE APANTALLAMIENTO, PUESTA A TIERRA Y CÁMARA DE TRANSFORMACIÓN DEL CENTRO DE SALUD N°1 “CENTRO HISTÓRICO” DEL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA.**, realizado por Nicolás Maximiliano Méndez Añasco, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.



Jorge Paul Muñoz Pilco
CI. 1719006189
Quito, marzo del 2022

DEDICATORIA

A mis antecesores y predecesores. Porque por ellos fui, soy y seré. En este largo camino que llamamos vida.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, a mis amigos, a mis profesores y a todos los que han estado en mi camino hasta este momento.

ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	i
DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Alcance	4
1.3. Objetivo Principal.....	5
1.4. Objetivos específicos	5
2. MARCO TEORICO	6
2.1. Riesgos eléctricos	6
2.1.1. Riesgos eléctricos internos.....	6
2.1.2. Riesgos eléctricos externos.....	10
2.2. Tipos de falla a tierra	13
2.2.1. Fallas simétricas.....	13
2.2.2. Fallas asimétricas.....	13
2.3. Diferencia entre Neutro y tierra.....	14
2.4. Impedancia y resistividad	14
2.5. Sistema de puesta a tierra.....	16
2.5.1. Definición de un SPAT.....	16
2.5.2. Importancia de un SPAT	16
2.5.3. Tipos de SPAT.....	17
2.5.4. Partes de un SPAT	18
2.5.5. Elementos de un SPAT	20
2.5.6. Resistividad del terreno	23
2.5.7. Resistencia promedio del ser humano	24
2.5.8. Corriente máxima que soporta un ser humano	25
2.5.9. Voltaje de Paso	25
2.5.10. Voltaje de Toque.....	25
2.6. Sistema de apantallamiento	26

2.6.1. Definición de un LPS.....	26
2.6.2. Importancia de un LPS	26
2.6.3. Tipos de LPS.....	26
2.6.4. Partes de LPS	27
2.6.5. Elementos del LPS.....	28
2.6.6. Tipos de apantallamientos	30
2.6.7. Cálculo de índice de riesgo.....	31
2.7. Cámaras de transformación	33
2.7.1. Definición de un CT	33
2.7.2. Partes de una cámara de transformación.....	34
2.7.3. Tipos de cámaras de transformación	35
3. MARCO METODOLOGICO	37
3.1. Criterio del diseño del SPAT con base en la normativa IEEE 80 2013.....	37
3.2. Criterios del diseño del LPS con base en la normativa IEC 62305	38
3.3. Criterios del diseño de la CT con base en la normativa EEQ Parte 2.....	39
4. INSPECCIÓN TÉCNICA	40
4.1. Inspección técnica.....	40
4.1.1. Sistema de iluminación.....	40
4.1.2. Sistema de fuerza	41
4.1.3. Sistema de puesta a tierra.....	41
4.1.4. Sistema de apantallamiento	41
4.1.5. Estudio de carga y demanda	42
4.1.6. Análisis de corrientes.....	43
4.1.7. Análisis de voltajes	44
4.1.8. Análisis de potencias	46
5. DISEÑO.....	50
5.1. Diseño de SPAT	50
5.1.1. Resistividad del suelo.	50
5.1.2. Cálculo de la corriente de corto circuito.....	52
5.1.3. Cálculo del conductor mínimo.....	52
5.1.4. Geometría de la malla.....	54
5.1.5. Cálculo de la resistencia del sistema.....	55
5.1.6. Cálculo de las tensiones de paso y toque	60
5.1.7. Criterios de Voltajes de malla.....	62
5.1.8. Cálculo de voltajes de malla	63
5.2. Diseño de LPS	65
5.2.1. Cálculo de índice de riesgo.....	66
5.2.2. Cálculo del conductor	67
5.2.3. Método del cono	67
5.2.4. Puesta a tierra del LPS	70
5.3. Dimensionamiento estructural de CT	70
6. ANÁLISIS	74
6.1. Análisis del SPAT.....	74
6.1.1. Resistividad del terreno	74
6.1.2. Calibre del conductor.....	75

6.1.3. Resistencia de la malla.....	75
6.2. Análisis del LPS	77
6.2.1. Calibre del conductor.....	77
6.2.2. Método del ángulo	77
6.2.3. Puesta a tierra.....	78
6.3. Ubicación de la CT	79
7. CONCLUSIONES	80
8. RECOMENDACIONES.....	83
9. BIBLIOGRAFÍA	84
10. ANEXOS	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Centro de salud n.º 1 “centro histórico”.....	4
Figura 2. Porcentaje de contacto eléctricos en el cuerpo humano.....	8
Figura 3. Suma fasorial de la impedancia.....	15
Figura 4. Diagrama simple de las partes de un spat.	19
Figura 5. Representación del voltaje de paso.	25
Figura 6. Representación del voltaje de toque.....	26
Figura 7. Representación de los elementos de un lps.	30
Figura 8. Mapa del nivel ceraurico dele ecuador.....	32
Figura 9. Flujograma del diseño de un spat.....	37
Figura 10. Flujograma del diseño de un lps.....	38
Figura 11. Flujograma de la diagramación de una ct.....	39
Figura 12. Iluminación del centro de salud.	40
Figura 13. Estado de los toma corrientes.....	41
Figura 14. Medición transformador bifásico de 75 kva.....	42
Figura 15. Medición transformador trifásico de 100 kva.	43
Figura 16. Corrientes transformador de 75 kva línea 1 y 2	44
Figura 17. Corrientes transformador de 100 kva línea 1, 2 y 3	44
Figura 18. Voltajes del transformador de 75 kva línea 1 y 2.....	45
Figura 19. Voltajes del transformador de 100kva línea 1, 2 y 3.....	45
Figura 20. Potencia activa transformador de 75 kva.	46
Figura 21. Potencia reactiva transformador de 75 kva.	46
Figura 22. Potencia aparente transformador de 75 kva,	47
Figura 23. Potencia activa transformador de 100 kva.	48
Figura 24. Potencia reactiva transformador de 100 kva.	48
Figura 25. Potencia aparente transformador de 100 kva.	49
Figura 26. Curva de tiempo de falla tolerable.	53
Figura 27. Representación de malla a tierra.	55
Figura 28. Curvas a, b, c para el cálculo del coeficiente k1.	57
Figura 29. Curvas a, b, c para el cálculo del coeficiente k2.	58
Figura 30. Longitud mínima del electrodo de tierra	70
Figura 31. Planta de la ct.	71
Figura 32. Seccion a-a de la ct.....	72
Figura 33. Seccion b-b de la ct	72
Figura 34. Puerta de la ct.....	73
Figura 35. Sección c-c de la ct.....	73
Figura 36. Área de la ubicación del spat.....	76
Figura 37. Área de cobertura del lps.....	78
Figura 38. Ubicación de la ct.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficiente ‘b’ del índice de riesgo	32
Tabla 2. Coeficiente ‘c’ del índice de riesgo	33
Tabla 3. Datos técnicos del transformador.	50
Tabla 4. Resistividad promedio de los suelos.....	51
Tabla 5. Constantes de materiales.....	52
Tabla 6. Calibre de conductores y su sección.....	54
Tabla 7. Valores existentes en el método del cono.....	68
Tabla 8. Datos del spat.....	74
Tabla 9. Datos del lps	77

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Analizador de red fluke 435.....	86
Anexo 2. Tranformador 75 kva	86
Anexo 3. Tranformador 100 kva.	87
Anexo 4. Planos los circuitor a implementarse.	87
Anexo 5. Malla simulada gymgrd.	88
Anexo 6. Dispersión malla simulada gymgrd.	88
Anexo 7. Voltajes malla simulada gymgrd.	88

RESUMEN

El presente documento trata sobre el estudio técnico del estado actual de las instalaciones eléctricas del centro de salud N.º 1 “Centro Histórico” ubicado en la ciudad de Quito provincia de Pichincha; junto con el diseño de los sistemas de puesta a tierra basado en la norma IEEE 80 2013, el sistema de apantallamiento basado en la norma IEC 62305 y el diseño de la parte civil de la cámara de transformación basado en la norma de la empresa eléctrica Quito. El estudio se realiza debido a varios inconvenientes que se ha presentado en los últimos años en el sistema eléctrico los cuales han desencadenado averías de equipos electrónicos de computación.

Tras la realización del estudio técnico se constató el estado actual del sistema eléctrico y se analizó la demanda del mismo con lo que se pudo concluir que requería de un diseño de los sistemas de puesta a tierra, apantallamiento y la reubicación de la cámara de transformación junto con una mejor distribución de carga a las líneas del transformador. Los diseños pretenden brindar una solución con una posible futura implementación con el objetivo de mejorar el sistema eléctrico del centro de salud.

Palabras clave: Norma IEEE 80 2013, Norma IEC 62305, Norma EEQ Parte A-B - C, Sistema de puesta a tierra, Sistemas de apantallamiento, Cámara de transformación.

ABSTRACT

This document deals with the technical study of the current state of the electrical installations of the health center No. 1 "Centro Histórico" located in the city of Quito, province of Pichincha; together with the design of the grounding systems based on the IEEE 80 2013 standard, the shielding system based on the IEC 62305 standard and the design of the civil part of the transformation chamber based on the standard of the Quito electric company. The study is carried out due to several problems that have occurred in recent years in the electrical system which have triggered failures of electronic computer equipment.

After conducting the technical study, the current state of the electrical system was verified and its demand was analyzed, which led to the conclusion that it required a design of the grounding and shielding systems and the relocation of the transformation chamber, together with a better load distribution to the transformer lines. The designs are intended to provide a solution with a possible future implementation with the objective of improving the electrical system of the health center.

Key words: IEEE 80 2013 Standard, IEC 62305 Standard, EEQ Part A-B-C Standard, grounding system, Shielding systems, Transformer chamber.

1. INTRODUCCIÓN

El diseño de un sistema eléctrico para un centro de atención de salud pública conlleva varios aspectos técnicos de suma importancia, para lo cual será necesario realizar varios cálculos enfocados en los distintos subsistemas que componen al mismo, adicional a esto el diseño abarca algunas estructuras civiles que van a ser empleadas para su funcionamiento.

Entre los subsistemas que se podrían mencionar se encuentran los sistemas de iluminación, fuerza, puesta a tierra, apantallamiento, generación de emergencia entre otros y al hablar de las estructuras civiles se podrían destacar la cámara de transformación, cámara de sistema de equipos autógenos.

El presente documento se enfoca en los diseños de los sistemas de puesta a tierra y apantallamiento, con la finalidad de brindar la protección adecuada a los equipos y sobre todo para el personal de un centro de atención de salud pública en el caso de presentarse algún evento que pueda afectar la integridad o funcionamiento de los mismos; junto a estos sistemas se realizará el diseño para la reubicación de la cámara de transformación.

Los diseños deberán cumplir las normas indicadas para cada uno, asegurando de esta manera un correcto funcionamiento en los sistemas de puesta a tierra y apantallamiento tomando en cuenta las normas nacionales e internacionales.

- IEEE 80-2013 Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- IEEE 81-2012 Guide for Measuring Earth Resistivity, Grounding Impedance, and Earth Surface potentials of a Grounding System.
- IEEE 3003.1-2019 Recommended Practice for System Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.
- IEEE 3003.2-2014 Recommended Practice for Equipment Grounding and Bonding in Industrial and Commercial Power Systems.

- IEC 62305-2011 Protección Contra el Rayo Partes 1, 2, 3 y 4.
- NEC SB IE Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Para el diseño de la cámara de transformación se debe asegurar la maniobrabilidad en el momento de la manipulación y brindar las protecciones adecuadas para el personal que ingrese a realizar trabajos en ellas teniendo presente las normas pertinentes.

- NFPA 70 National Electrical Code.
- NEC SB IE Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- NEC Cap. XV Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Normas para Sistemas de Distribución EEQ Partes A, B y C.

Para este caso en particular el estudio se realizará en el Centro de Salud N.º 1 “Centro Histórico” el cual ha presentado varios problemas en el sistema eléctrico, por los mismos se han manifestado en la actualidad varias fallas que han afectado el desempeño de distintas áreas, con el fin de solventar los inconvenientes se procede a buscar y brindar una posible solución la cual se estima mejore su funcionamiento y prolongue su integridad.

1.1. Planteamiento del problema

El Centro de Salud N.º 1 “Centro Histórico” fue fundado en el año 1945; debido a la antigüedad de la edificación y que en el pasado no se dio la importancia necesaria a las normas sobre la instalación de los sistemas eléctricos el Centro de Salud N.º 1 “Centro Histórico” actualmente presenta varios inconvenientes; por la importancia e impacto que tiene en la comunidad a medida que el centro de salud ha ido creciendo sus servicios han tenido que adaptarse creando una necesidad de expandir e instalar nuevos equipos haciendo que estas adecuaciones eléctricas fueran instaladas de forma empírica acorde a lo que se necesitaba en ese momento provocando una sobre carga y

desbalance en la red existente dichas adecuaciones también han ido disminuyendo el espacio físico el cual desemboca en otros inconvenientes.

El problema principal radica en la falta de protección que se brinda al personal y a los equipos, por eso se requiere la instalación de sistemas complementarios como una adecuada puesta a tierra y apantallamiento para precautelar de una manera óptima el bienestar del personal y de los equipos del centro de salud, debido a que en la actualidad el sistema de puesta a tierra es únicamente un electrodo aterrado el cual no es una protección adecuada y en años anteriores una descarga atmosférica impacto en el sistema de apantallamiento desencadenando una serie de fallos los cuales persisten hasta la actualidad.

Adicional la mala ubicación de las cámaras de transformación del centro de salud ha creado inconvenientes por el tema del acceso para labores de medición y mantenimiento debido a las gestiones administrativas previas que se deben realizar para ingresar, ya que estas se encuentran compartiendo espacio físico en otro predio perteneciente al Museo de la Ciudad a aproximadamente 30 metros del predio perteneciente al centro de salud.

A esto cabe mencionar que no se han realizado mantenimientos correctivos ni preventivos en los sistemas eléctricos y no se conoce el estado actual de los mismos. No obstante, el centro de salud tuvo una remodelación que se puede considerar más estética que técnica la cual se realizó en los años 2010-2011 con un convenio entre el FONSAD y la Unión Europea, ya que esta edificación es considerada como patrimonio cultural, en esta remodelación no se tomó especial énfasis en las instalaciones eléctricas, porque no hubo mayores cambios los cuales a largo plazo han ocasionado varios incidentes que por el momento no han sido de gravedad y más han afectado a los equipos electrónicos.

Dichos inconvenientes han hecho que el Centro de Salud N.º 1 “Centro Histórico”, solicite se realice un estudio el cual pueda brindar soluciones a los problemas suscitados en el sistema eléctrico con el fin de disminuir los inconvenientes y de esta manera poder brindar una atención adecuada a los usuarios que día a día acuden en busca de atención médica y un bienestar para los trabajadores.



Figura 1 Centro de Salud N.º 1 “Centro Histórico”.

Fuente: Autor.

1.2. Alcance

En el diseño eléctrico se integran muchas ramas de estudio no solo dedicado al aspecto eléctrico este también comprende la elaboración de planos civil y eléctricos, tipos de materiales, equipos electrónicos, tipos de conexiones, etc.

El presente proyecto se focaliza en la elaboración de un estudio técnico basado en el estado actual del sistema eléctrico del Centro de Salud N.º 1 “Centro Histórico” con especial énfasis en el diseño del sistema de puesta a tierra basándonos en la norma IEEE 81 - 2012, el diseño del sistema de apantallamiento basados en el estándar IEC 62305 - 2011 y la reubicación de la cámara de transformación basándonos en la norma de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ), buscando que cumplan con los requisitos mínimos de seguridad.

Como resultado se espera obtener diseños adecuados y que estén en la capacidad de ser implementados según el criterio del personal encargado del sistema eléctrico del Centro de Salud N.º 1 “Centro Histórico”.

Los diseños eléctricos deben como objetivos principales brindar:

- Seguridad

- Confiabilidad

Para el diseño de los diferentes sistemas se tomará en cuenta varios factores de importancia como el tipo del terreno, la localización de los mismos, estructuras a utilizarse con el fin de evitar accidentes eléctricos que afecten directa o indirectamente al personal, material y equipos del Centro de Salud N.º 1 “Centro Histórico”.

1.3. Objetivo Principal

- Realizar un estudio del estado actual del sistema eléctrico del centro de salud N.º 1 “Centro Histórico” perteneciente a la Zonal N.º 9 del Ministerio de Salud Pública y presentar una propuesta de diseño de los sistemas de apantallamiento, puesta a tierra y cámara de transformación.

1.4. Objetivos específicos

- Verificar y constatar el estado operativo del sistema eléctrico del centro de salud No 1, mediante inspección técnica, de la cámara de transformación, los sistemas de apantallamiento y puesta a tierra.
- Medir la demanda y parámetros de calidad del producto del servicio de energía eléctrica en la cámara de transformación del centro de salud utilizando el analizador de red FLUKE 435 por un mínimo de 7 días para proponer estrategias de gestión.
- Realizar la propuesta de diseño del sistema de apantallamiento, puesta a tierra y cámara de transformación del centro de salud.

2. MARCO TEORICO

Al realizar un estudio eléctrico, el diseño o la implementación de los sistemas eléctricos se debe tener en cuenta un aspecto fundamental, la seguridad; esta engloba muchos puntos a tomarse en cuenta, tales como: las protecciones eléctricas, los sistemas de puesta a tierra y apantallamiento, la señalética, los espacios adecuados de trabajo, etc.

Por tal motivo se debe brindar suma importancia a este aspecto con el fin de proveer una protección adecuada a los seres vivos, equipos, máquinas y materiales; en la rama de la ingeniería eléctrica se conoce que existen factores de riesgo tanto internos como externos; por medio de la investigación y a través de la experiencia en las últimas décadas se ha ido creando numerosas normas, manuales, estándares y reglamentos que ayudan a sustentar este aspecto tan importante y con la creación de estos se pretende evitar o disminuir los accidentes causados en los sistemas eléctricos [1].

2.1. Riesgos eléctricos

2.1.1. Riesgos eléctricos internos

Existe la posibilidad de que una corriente eléctrica recorra el cuerpo de un ser humano; el riesgo eléctrico es intangible por lo cual no se puede prever de manera anticipada, pero si se puede prevenir; este no solo afecta a las personas que laboran en esta área, sino que al público en general también llega a afectar a todos los equipos eléctricos y electrónicos que hacen uso de la energía eléctrica para su funcionamiento [2].

2.1.1.1. Contacto eléctrico directo

El contacto generado por la persona al tocar consciente o inconscientemente partes energizadas eléctricamente [3].

- Contacto fase-tierra.
- Contacto fase-neutro.

- Contacto fase-máquina con puesta a tierra.
- Contacto con una máquina sin puesta a tierra.

2.1.1.2. Contacto eléctrico indirecto

El contacto generado por la persona al tocar una masa expuestas de manera accidental a tensión [3].

- Contacto con máquinas con fugas eléctricas.
- Contacto con máquinas con mal aislamiento.

2.1.1.3. Principales peligros de un contacto eléctrico

Se sabe que la tensión eléctrica no es lo que provoca los efectos fisiológicos en el cuerpo humano, sino que es la corriente eléctrica al atravesarlo debido a que el cuerpo humano actúa como un circuito eléctrico al tener contacto dos puntos con diferente potencial eléctrico.

La corriente eléctrica no es perceptible a los sentidos humanos a menos que se generen ciertos fenómenos como la ionización del aire formando ozono, un arco eléctrico o una descarga eléctrica [3].

2.1.1.4. Factores que interfieren en el riesgo eléctrico interno

- Diferencia de potencial.
- Frecuencia de la corriente.
- Tipo de corriente eléctrica.
- Intensidad de corriente eléctrica.

- Condiciones fisiológicas de la persona.
- Tiempo de contacto al paso de corriente.
- Impedancia de los cuerpos que entran en contacto.
- Trayectoria o recorrido de la corriente a través del cuerpo.

2.1.1.5. Accidentes por contacto directo

Son accidentes provocados por el paso de corriente eléctrica a través del cuerpo de un ser humano con la posibilidad de provocar electrocución, quemaduras, etc.

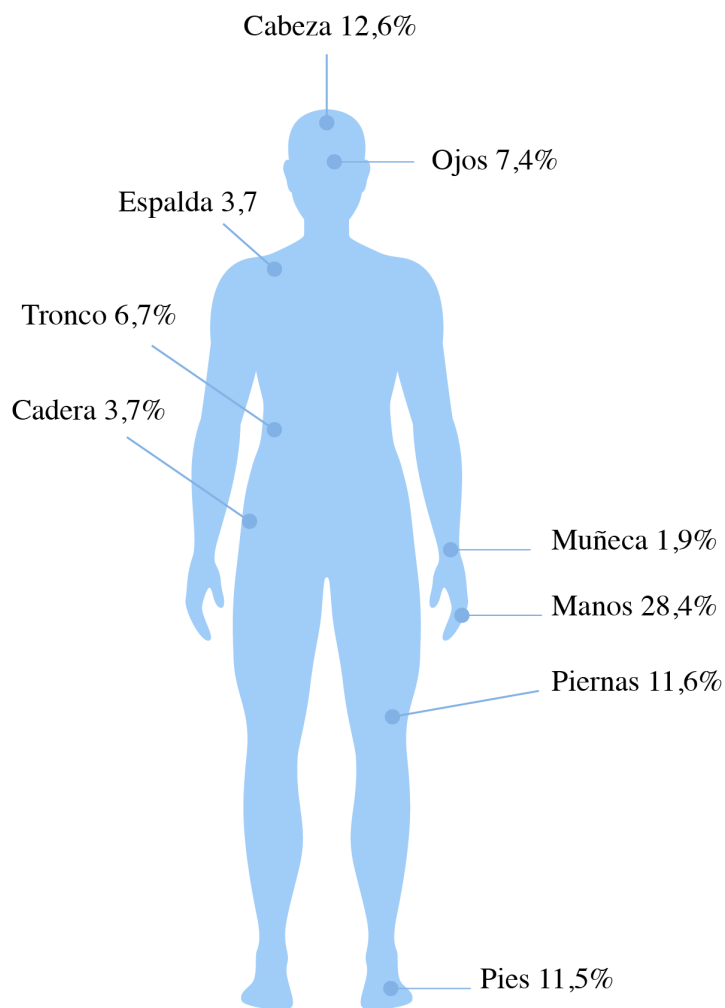


Figura 2 Porcentaje de contacto eléctricos en el cuerpo humano.

Fuente: [3]

2.1.1.6. Accidente por contacto indirecto

Son accidentes derivados de un contacto directo.

- Riesgo de caída por electrocución.
- Quemaduras por incendio con causa eléctrica.
- Contingencia por fuga de corriente de su circuito eléctrico.
- Sobrecalentamiento, inflamación o estallido de la instalación eléctrica.

2.1.1.7. Efectos del flujo eléctrico a través del cuerpo humano

La corriente eléctrica al fluir por el cuerpo de un ser humano generar variados efectos provocando lesiones físicas como contracciones musculares, dificultad respiratoria, quemaduras de distintos grados, paro cardíaco con la consecuencia más grave que es el fallecimiento por fibrilación ventricular [4].

Asfixia: al verse afectado el centro nervioso encargado de controlar la respiración se puede generar un paro respiratorio.

Electrización: al momento que un ser humano toca parte del circuito eléctrico con un punto de entrada y otro punto de salida.

Electrocución: deceso de una persona debido al paso de la corriente en el cuerpo del ser humano.

Fibrilación ventricular: es una arritmia cardíaca causada por la corriente eléctrica con la posibilidad de ocasionar fallecimiento.

Tetanización: es la contracción involuntaria de los músculos del cuerpo causado por el paso de la electricidad a través del mismo con pérdida de control generalmente de las extremidades.

La norma resalta los siguientes efectos fisiológicos en el cuerpo humano al paso de corriente eléctrica.

De 0 a 0,5 [mA]: No se presenta sensación alguna, debido al umbral de percepción establecido en 0,5 [mA].

De 0,5 a 10 [mA]: Amortiguación junto con movimientos reflejos de los músculos. El umbral de no soltar 10 [mA]

De 10 a 25 [mA]: Contracción muscular. Entumecimiento de los brazos y las piernas, dificultad de soltar objetos. Elevación del ritmo cardiaco y presión arterial junto a dificultad al respirar.

De 25 a 40 [mA]: Tetanización severa, arritmia cardiaca. Quemaduras. Asfixia después de 4 segundos.

De 40 a 100[mA]: Efectos similares a los anteriores, pero de mayor intensidad y gravedad. Fibrilación ventricular y arritmia cardiaca.

A partir de 1 [A]: Fibrilación ventricular y paro cardiaco. Quemaduras de segundo y tercer grado con alto riesgo de deceso.

2.1.2. Riesgos eléctricos externos

Existe la probabilidad de que cualquier tipo de estructura sean alcanzadas por descargas atmosféricas las mismas no se pueden prever, pero se pueden prevenir pues estas causan averías en los equipos eléctricos y electrónicos, incluso representan un peligro para los seres vivos por los efectos de la corriente eléctrica y por los efectos que esta puede causar a las estructuras.

2.1.2.1. Formación de descargas atmosféricas

Las descargas atmosféricas son un fenómeno natural que se producen en las nubes debido al viento que circula en ellas lo que provoca que cristales de hielo que se hallan

en su interior se friccionen generando electricidad estática separando las cargas positivas de las negativas, debido a la diferencia de potencial que existe y la carga eléctrica almacena en las nubes la energía almacenada se descarga a través del aire logrando generar por el flujo de electrones de una zona a otra las cuales poseen una diferencia de potencial eléctrico formando un rayo eléctrico.

Los tipos de descargas atmosféricas se pueden dar de cuatro tipos:

- Descargas Intranube.
- Descargas Nube – Nube.
- Descargas Nube – Tierra.
- Descargas Nube – Ionosfera.

Para el estudio de descargas atmosféricas hay un apartado llamado sobre voltajes; estos sobre voltajes dependen de su duración por lo que pueden ser sobretensión transitoria de frente lento o de frente rápido [5].

2.1.2.2. Principales peligros de las descargas atmosféricas

Las descargas atmosféricas principalmente afectan a las estructuras de manera directa a esto cabe mencionar los efectos derivados pueden llegar a ocasionar daños considerables a las estructuras, no obstante, una descarga atmosférica no deja de representar un peligro para los seres vivos, puesto que no se puede predecir donde y cuando una descarga atmosférica se hará presente.

2.1.2.3. Factores que interfieren en el riesgo eléctrico externo

- Topografía de la zona.
- Variaciones climáticas.

- Diferencia de potencial.
- Duración de la descarga.

2.1.2.4. Accidentes por incendios

Se puede generar un incendio tras el impacto de una descarga atmosférica en las instalaciones eléctricas, zonas propensas o materiales inflamables por este motivo es la mayor amenaza debido a los riesgos que pueden causar pérdidas materiales comprometiendo la vida y seguridad de las personas [6].

2.1.2.5. Accidentes por sobre carga de energía

Es inusual que una descarga atmosférica impacte de manera directa en los dispositivos eléctricos o electrónicos, pero los impactos en líneas de energía incrementan el voltaje de las líneas de transmisión por lo que causan daños en ellos también puede ser causado por tensiones inducidas causando caídas de voltaje en cualquier caso los equipos conectados a la red eléctrica pueden sufrir averías [6].

2.1.2.6. Accidentes asociados a las ondas de choque

Es conocido que una descarga eléctrica genera una onda de choque al calentar el aire y los percibimos como truenos estos tienen la capacidad de fracturar el concreto, bloques de hormigón, romper vidrios, crear grietas y zanjas en el suelo [6].

2.1.2.7. Efectos de las descargas eléctricas en las estructuras.

Los diferentes efectos de una descarga atmosférica dependen de la intensidad de estas causando diferentes efectos.

- Daño de elementos.
- Deformación de elementos.

- Daño de equipos electrónicos.
- Envejecimiento prematuro de elementos.

2.2. Tipos de falla a tierra

Todo sistema eléctrico debe operar de manera equilibrada cuando existe un corto circuito o cualquier tipo de fallas en las líneas por lo que el sistema se desequilibra, dichas fallas pueden estar causados por un aislamiento defectuoso o contactos vivo en cualquier punto incluso perturbaciones naturales pueden llegar afectar el equilibrio del sistema de electricidad.

Son múltiples los tipos que pueden existir, pero se pueden encasillar en dos grupos: fallas simétricas y fallas asimétricas.

2.2.1. Fallas simétricas

Involucra a las tres fases conectadas o a las tres fases conectadas a tierra al producirse el corto circuito por lo cual se deduce que la falla está equilibrada debido a que el sistema no pierde su simetría, las líneas conservan su desfase de 120 grados.

Estas fallas son de gran magnitud, pero tienen una incidencia baja en los sistemas eléctricos por lo que se debe realizar el cálculo de un cortocircuito balanceado para obtener las corrientes de falla simétricas [1].

2.2.2. Fallas asimétricas

Involucran dos fases o menos las que pueden estar conectadas a tierra al producirse el corto circuito por lo cual se deduce que la falla está desequilibrada debido a que el sistema pierde su simetría, las líneas tienen un desfase distinto a 120 grados.

Estas fallas son de menor magnitud, pero tiene mayor incidencia en los sistemas eléctricos para el cálculo se utiliza la potencia máxima que el transformador

suministrara a nuestro sistema eléctrico, dicho de otra manera, la potencia aparente máxima de cortocircuito que involucra al tipo de falla simétrica [1].

- Falla monofásica – tierra.
- Falla bifásica.
- Falla bifásica – tierra.

2.3. Diferencia entre Neutro y tierra

El conductor de Neutro posee una potencia eléctrica de 0 [V] debido a esto es el conductor que permite que exista la diferencia de potencial requerida con el fin de generar el flujo de corriente eléctrica desde el conductor de fase a través de la carga y cierre el circuito.

De manera idea no hay diferencia de potencial con tierra por lo que su fin sería un retorno de corriente a la fuente de generación por lo general esto se suscita en sistemas eléctricos balanceados con un adecuado sistema de protección debido a que el neutro necesita un sistema de puesta a tierra.

El conductor de Tierra no debe tener una circulación corriente eléctrica en un funcionamiento adecuado, debido a que su función únicamente es proteger, como tiene una potencia de 0 [V] es la referencia para las sobre tensiones y en caso de fallas o fugas de corrientes donde debe actuar por la baja impedancia proporcionando un camino de circulación hacia donde pueden ser disipadas [1].

2.4. Impedancia y resistividad

La impedancia es la medida física cuya magnitud está medida con ohmios representados con la letra omega, es la oposición al flujo de corriente eléctrica que tiene una cantidad de sustancia cuando se le aplica cierto voltaje, puedes ser una impedancia fija o una impedancia variable la que depende del tipo de corriente que circula por dicha sustancia.

$$Z = \frac{V}{I} [\Omega] \quad (1)$$

La impedancia variable es conocida como reactancia 'X' la cual puede ser inductiva o capacitiva y la impedancia fija como resistencia 'R', la suma fasorial de ambas da como resultado la impedancia compleja 'Z'.

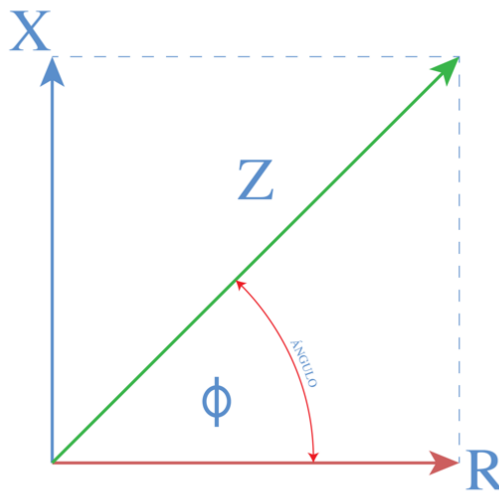


Figura 3 Suma fasorial de la impedancia.
Fuente: Autor.

La impedancia fija conocida como óhmicas no varía con el tipo de corriente, la resistencia se ve afectada directamente por la longitud 'l' del material e inversamente a la sección transversal de la materia conductora 'a'.

$$R \propto \frac{l}{a} \Rightarrow R = \rho \frac{l}{a} [\Omega] \quad (2)$$

Generamos el concepto de resistividad siendo esta la resistencia específica que posee cualquier material que posee las dimensiones de 1 [m] de longitud 'l' y 1 [m²] de sección transversal [1].

$$\rho = \frac{R * a}{l} [\Omega * m] \quad (3)$$

2.5. Sistema de puesta a tierra

Se puede abreviar un sistema de puesta a tierra como SPAT.

2.5.1. Definición de un SPAT

Es un sistema de protección eléctrica el cual es la conexión física entre los circuitos eléctricos y la tierra física, esta conexión no tiene ningún tipo de protección como fusibles interruptores diferenciales o interruptores térmicos; este sistema se conecta al terreno a través de un electrodo o varios electrodos enterrados en el suelo.

Se considera que el SPAT es un buen conductor por lo que su impedancia debe ser lo más baja posible esta depende de los materiales y el terreno. Se lo toma como punto de referencia, ya que posee una diferencia de potencial aproximada a cero. Para su diseño se toma en cuenta la impedancia de la malla de puesta a tierra y la resistividad que presenta el terreno [7].

2.5.2. Importancia de un SPAT

El SPAT ofrecer protección y seguridad al sistema eléctrico, debido a las funciones que cumple sus objetivos principales son:

- Brindar seguridad personas para mantener su integridad.
- Proveer protección a los equipos y a las estructuras.

Para cumplir estos objetivos el sistema debe cumplir algunos requisitos:

- No debe existir variación de la impedancia del suelo a cambios de ambiente.

- Poseer una conducción capaz de disipar de corrientes de falla.
- Permitir un pronto desvío de fallas por parte de los equipos.
- Debe construirse con material que soporte la corrosión.
- Evitar los probables ruidos de la red eléctrica.
- El mantenimiento debe ser ágil y accesible.

Los sistemas eléctricos van conectados a tierra para limitar a los sobre voltajes provocados por las descargas eléctricas, transitorios en la red, fallas en la red y estabilizar la diferencia de potencial a tierra durante su funcionamiento, ofreciendo una vía para disipar las corrientes de fuga y que ayuda al funcionamiento de las protecciones contra sobre corrientes en caso de falla a tierra. Por tal motivo evitando las corrientes de efecto o de falla.

Por lo tanto, los SPAT tiene dos funciones principales:

- Descarga las corrientes de falla a tierra.
- Evitar sobre voltajes que afecten la red.

2.5.3. Tipos de SPAT

Generalmente, existen tres tipos de SPAT, pero las exigencias actuales han creado una más siendo en la actualidad cuatro tipos de SPAT.

2.5.3.1. SPAT de seguridad, protección o “Safety Ground” (PE)

Principalmente, se encarga de proteger al ser humano de un posible “Shock eléctrico” por medio de una resistencia baja a la corriente de falla o fuga. Se conecta directamente a las carcasas de los equipos, paneles, gabinetes de tableros equipos eléctricos, etc. Protegiendo a los equipos eléctricos y electrónicos de las corrientes de falla.

2.5.3.2. SPAT de señales, servicio o “Signal Ground” (FE)

Principalmente, se encarga de ofrecer un paso con baja impedancia a la corriente eléctrica que posee diferentes frecuencias las cuales son distintas a la que el sistema eléctrico que está protegiendo. Generalmente, esta empleado en las antenas de telecomunicaciones para brindar una protección adecuada a los equipos.

2.5.3.3. SPAT de rayos o “Lightning Ground”

Principalmente, se encarga de ofrecer un paso con baja impedancia a las descargas atmosféricas que impactan en el LPS disipándolas en el terreno de forma ágil evitando causar daños a los seres humanos ya las instalaciones eléctricas existentes

2.5.3.4. SPAT de Protección y Servicio. (FEP)

Actualmente, no se concibe un SPAT específico para los SPAT PE y SPAT FE, por lo cual una línea a tierra capta ambas conexiones o de cualquier tipo siendo una red de tierra general convirtiéndose en una SPAT FEP.

El sistema de puesta a tierra genera el concepto de voltaje o potencial de toque y voltaje o potencia de paso debido a que las descargas atmosféricas son el peor caso de falla a tierra [7].

2.5.4. Partes de un SPAT

2.5.4.1. Terreno

Es la base para lograr un buen SPAT el cual depende de muchos factores como temperatura, humedad, salinidad, etc.

Un factor de suma importancia es realizar las mediciones de resistividad del mismo ya que este influye directamente en la resistencia de la malla. Pero también se pueden realizar estimaciones con las peores condiciones.

2.5.4.2. Tomas de tierra

Constituye los elementos en contacto directo con la tierra física es decir el suelo del terreno, con la finalidad de reunir y disipar las corrientes de fuga junto a los sobre voltajes.

Entre los elementos necesarios se destacan los electrodos, las sueldas y los cables elementos que están enterrados a una profundidad no menor de 0.5 [m] los cuales deben ser resistentes a la humedad, corrosión y otros factores climáticos que afecten al valor de resistencia la que debe estar dentro de los valores recomendados para el diseño por tal motivo deben realizarse chequeos periodicos con el fin de comprobar sus parámetros de funcionamiento [1].

2.5.4.3. Línea principal de tierra

Principalmente, está compuesta de los conductores que salen desde el punto principal de puesta a tierra y al cual se conectan las derivaciones que se dirigen hacia las instalaciones eléctricas las cuales se conectan las masas o equipos.

2.5.4.4. Derivación de las líneas principales de tierra:

Formada por los conductores eléctricos los cuales se encuentran unidos a la línea principal de tierra junto a los conductores que protegen los equipos y que reúnen eléctricamente las distintas masas o conjuntos de ellas [7].

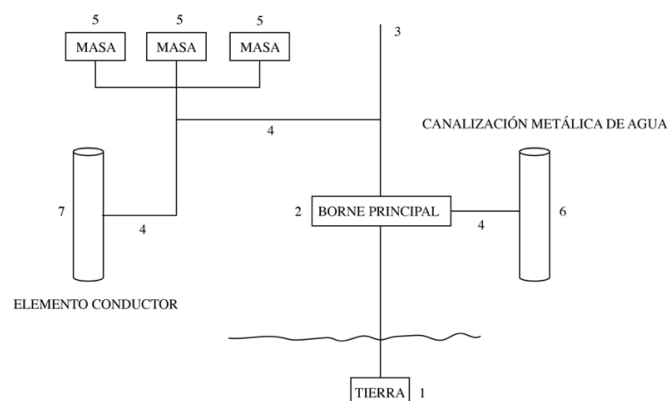


Figura 4 Diagrama simple de las partes de un SPAT.
Fuente: Autor.

Donde:

- 1 Malla de puesta a tierra.
- 2 Borne principal de tierra.
- 3 Línea principal de tierra.
- 4 Líneas secundarias de tierra.
- 5 Masas y equipos eléctricos.
- 6 Tuberías de agua.
- 7 Estructuras metálicas.

2.5.5. Elementos de un SPAT

2.5.5.1. Electrodo a tierra

Aquel elemento que entra en contacto directo con el terreno un electrodo debe presentar baja resistencia al flujo de corriente, una alta durabilidad y soportar la corrosión; su función principal es disipar las corrientes de defecto.

Al estar en contacto con el terreno se generan tres resistencias la resistencia interna del electrodo, la resistencia de la unión electrodo–suelo y la resistencia del suelo; por su magnitud baja las dos primeras se desprecian siendo así la resistencia del terreno la más importante y de la cual se debe realizar un estudio para determinar su valor [8].

2.5.5.1.1. Electrodo no fabricados

Se consideran electrodos no fabricados a todo elemento que se pueda emplear como un electrodo de aterramiento sin que dicho elemento no haya sido fabricado e instalado con ese propósito, este tipo de electrodos debe interconectarse con el fin de tener el nivel equipotencial adecuado.

2.5.5.1.1.1. Tubería metálica

Pueden emplearse como un electrodo si su superficie de contacto es mínima 3 [m], debe tener continuidad eléctrica hasta poderse conectar con los conductores de conexión equipotencial, se deben complementar con un electrodo fabricado y conectado a través de un puente de conexión equipotencial.

2.5.5.1.1.2. Estructuras conductoras de la edificación

Se utilizará como electrodo siempre que las estructuras metálicas estén conectadas adecuadamente a tierra y de una manera que no represente un riesgo para el ser humano.

2.5.5.1.1.3. Electrodo empotrado en el concreto

Se puede usar como electrodo una varilla de acero desnudo o con algún tipo de recubrimiento el cual debe estar empotrado en una superficie.

2.5.5.1.2. Electrodo fabricados

Son fabricados para fin en específicos los cuales no poseen recubrimiento alguno que pueda limitar la conductividad del mismo, no está permitido usar o instalar electrodos de aluminio, los electrodos deben estar instalados a un nivel inferior al nivel freático del terreno.

2.5.5.1.2.1. Electrodo de barras

Los electrodos de barras deben ser fabricados con una longitud mínima de 2,40 [m] generalmente son fabricados con un material de acero inoxidable, posee un diámetro que cambia según el material de 15,87 [mm] para el acero inoxidable y de 12,7 [mm] para otros materiales.

Deben estar enterrados a no menos de 2,40 [m] debido a su longitud, cuando el suelo es duro o rocoso es recomendable que penetre en 45° respecto al eje horizontal del terreno caso contrario va paralelo al suelo a una profundidad de 0,75 [m].

2.5.5.1.2.2. Electrodo de placa

Los electrodos de placa deben ser fabricados con un área 0,2 [m²] si el electrodo es de hierro o acero deben poseer un espesor mínimo de 6 [mm] caso ser de material ferroso

su espesor debe ser 1,5 [mm]. Este electrodo debe estar permanecer en unión con el suelo a una profundidad mínima de 0.8 [m].

2.5.5.1.2.3. Electrodo de Anillo

Los electrodos de anillo esencialmente son de fabricados son de cobre desnudo con una sección mínima de 33,62 [mm²] y con una longitud de 6 [m].

Este electrodo debe estar enterrado el suelo a una profundidad mínima de 0.75 con un empalme directo a tierra [1].

2.5.5.1.2.4. Cables de tierra

También denominados como líneas de enlace que son de cobre o de aluminio, generalmente de cobre debido a que tiene mejor conductividad y también el calibre del conductor se reduce, encargado de empatar el borne principal de tierra con la toma a tierra.

El calibre se calcula con la norma IEEE 80 2013 para calcular la sección transversal en función a las corrientes de falla y tiempo de duración de falla [1].

2.5.5.2. Conectores

Al diseño de este sistema por regla general debe minimizar empalmes y uniones debido a que suelen ser defectuosas al momento de su realización por falta de conocimiento técnico aumentando la resistencia de contacto donde no se pueden evitar es en la unión del electrodo y el conductor debido a que son elementos distintos.

Tenemos distintos métodos para realizar uniones entre los cables del SPAT, la unión física y la soldadura exotérmica la cual posee más ventajas a la unión mecánica debido a que es una unión molecular y que se funden los dos materiales [1].

Pero se puede elegir la unión física por motivos de costo, ya que estos disminuyen.

2.5.5.3. Borne de puesta a tierra

Es el elemento al cual se empata la toma aterrada, es la estructura metálica formada por una placa y tornillos las cuales están físicamente conectadas a la línea principal de tierra, los cables de protección y conductores de unión equipotencial [1].

2.5.5.4. Conductores de protección

Engloba las líneas de tierra con las derivaciones de la línea principal el cual une los circuitos de las instalaciones y las masas al conductor de tierra, las masas podrían ser estructuras metálicas que están de manera accidental bajo tensión [1].

2.5.5.5. Barra y conductores equipotenciales

Los conductores equipotenciales son los cables que están empataados a las estructuras metálicas de la edificación evitando una diferencia de potencial que pueda existir entre ellas [1].

2.5.6. Resistividad del terreno

Existen distintos factores que interfieren en la resistividad de un terreno los cuales mejoran o empeoran la calidad del suelo para instalar un SPAT no existe una homogeneidad en los terrenos se usa un promedio del área [8] [9].

Pero también se pueden realizar estimaciones con las peores condiciones.

2.5.6.1. Temperatura

Se conoce que en termodinámica a mayor movimiento de las partículas mayor temperatura por ende se supone que los electrones de un material se verán afectados y la resistividad del terreno disminuirá al aumentar la temperatura, la temperatura afecta la resistividad de un terreno a menor temperatura resistividad aumenta cuando la temperatura es elevada la resistividad no varía [8].

2.5.6.2. Humedad

Favorece de manera positiva a la resistividad del terreno debido a que si la humedad es elevada la resistividad es disminuye. En el caso opuesto, si el terreno posee baja humedad aumenta la resistividad por esto la humedad está estrechamente emparejada con la salinidad debido a que la sales se disuelven más fácilmente [8].

2.5.6.3. Estratificación

En la mayor parte de ternos están compuestos de varias capas de tierra con diferentes espesores de una manera paralela no uniforme, estudia los componentes de cada capa del terreno de estudio dependiendo de las capas y sus características dependerá la resistividad. Obteniendo una resistividad promedio [8].

2.5.6.4. Compactación

Actúa directamente en la resistividad del terreno debido a que si la compactación del terreno es mayor la resistividad será menor, si un terreno no es compacto y tiene espacios pequeños por donde circula aire la resistividad aumenta [8].

2.5.6.5. Salinidad

Las sales son los principales conductores del suelo debido a la abundancia que estos tienen, se encuentran con más frecuencia sales tipo cloruro de sodio y cloruro potasio las cuales al ser mezcladas con agua conducen de mejor manera la electricidad y ayuda a disminuir la resistividad del suelo [8].

2.5.7. Resistencia promedio del ser humano

La resistencia de un ser humano varía entre los 300 y 4000 ohmios los cuales dependen de la trayectoria que el flujo de corriente eléctrica tome, pero la norma regula un valor de 1000 ohmios valor utilizado en las anteriores ecuaciones simbolizando la resistencia mano-pie, mano-mano o pie-pie [7] [9].

2.5.8. Corriente máxima que soporta un ser humano

La corriente que se puede tolerar se da en relación al tiempo de duración de la falla (t_f) debido a que mayor duración más peligros presenta. A mayor duración tenga dicha falla el módulo de la corriente que tolera el cuerpo del ser humano será menor.

Esta corriente depende del factor 'k' el cual se da con base a la masa del ser humano el estándar de este factor se encuentra especificado en la norma IEEE 80 - 200 sección 6.1 [9].

2.5.9. Voltaje de Paso

El Voltaje de paso (Step) se define como la diferencia de potencial existente entre el pie derecho y pie izquierdo del ser humano con una distancia de separación de 1 [m] al permanecer en una superficie con un determinado potencial [10] [14].

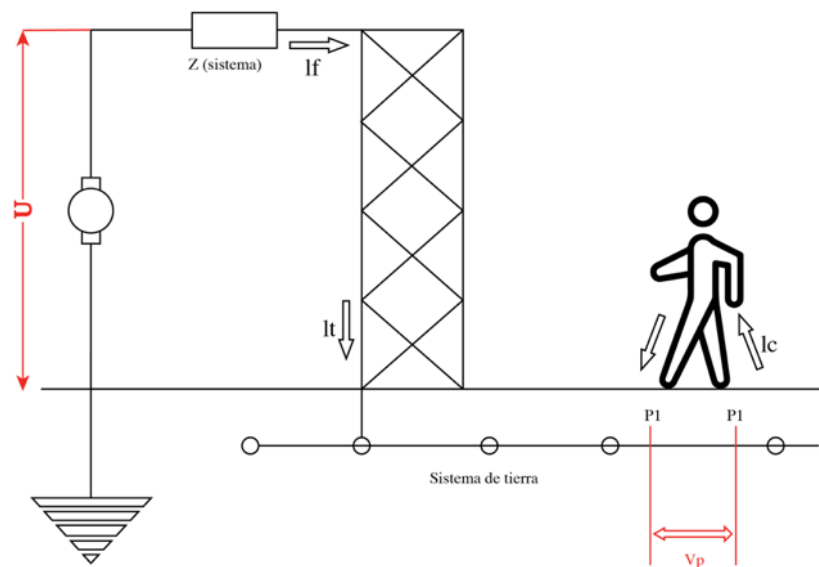


Figura 5 Representación del voltaje de paso.
Fuente: Autor [10].

2.5.10. Voltaje de Toque

El Voltaje de toque (Touch) se define como la diferencia de potencial que experimenta una persona al estar en contacto con una estructura energizada puesta a tierra y la superficie en la que está el ser humano.

La tensión de contacto con la superficie entre la estructura y el suelo a una distancia de 1 [m] [10] [14].

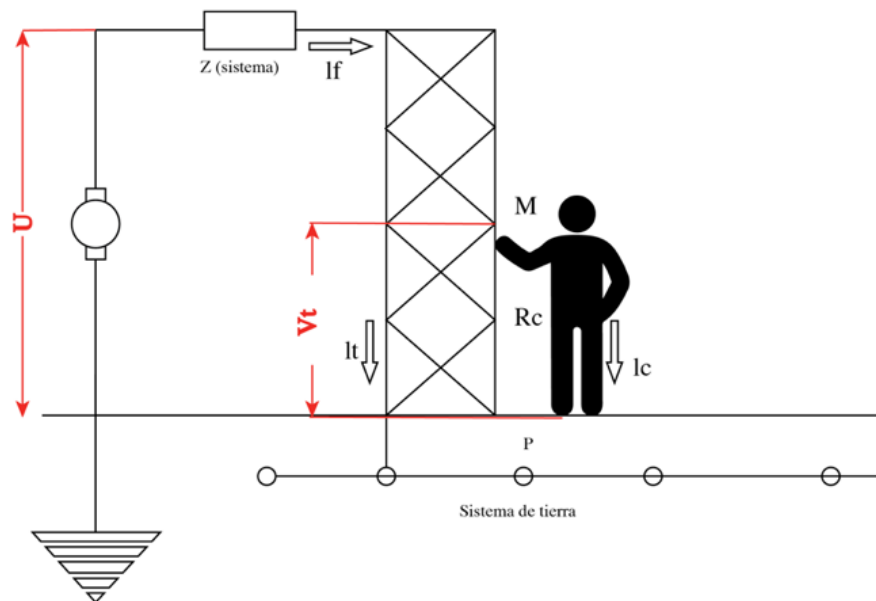


Figura 6 Representación del voltaje de Toque.
Fuente: Autor [10].

2.6. Sistema de apantallamiento

Se puede abreviar como LPS por sus siglas en inglés de Light Protection System.

2.6.1. Definición de un LPS

Es un sistema de protección eléctrica que protege al sistema eléctrico de descargas atmosféricas se conecta al SPAT y como elemento principal tenemos la cabezada captación [11].

2.6.2. Importancia de un LPS

La importancia de un LPS es evitar sobre tensiones en el sistema eléctrico los cuales afectan a los equipos y puede causar fallas a tierra.

Está encargado de brindar un camino seguro para las descargas atmosféricas, evitando que suceda algún evento que pueda afectar a las personas y equipos.

2.6.3. Tipos de LPS

El primer punto a considerar es el efecto térmico y explosivo al momento de una descarga atmosférica impactar sobre la estructura dependiendo el caso se puede elegir entre LPS externos.

- LPS Asilado.
- LPS no Aislado.

2.6.4. Partes de LPS

2.6.4.1. Punta de captación

El fin principal es captar la descarga atmosférica, deben ser resistentes a la oxidación con un recubrimiento anticorrosivo el cual asegure su adecuado funcionamiento. Poseen una rosca la cual permite unir la pieza de adaptación a través de una soldadura aluminotermia. Está puede ser de distintos tipos.

2.6.4.2. Línea principal de tierra

Los elementos que se encargan de unir la punta de captación con el sistema de puesta a tierra con el fin de desviar la descarga atmosférica que se haya producido brindando un camino de baja impedancia.

La instalación debe ser visible desde la punta de captación hasta el punto de puesta a tierra la bajante no debe tener curvas pronunciadas y su trayectoria debe ser vertical buscando la ruta óptima. Está conformada por distintos elementos los cuales tiene el fin de mantener la bajante en buen estado.

2.6.4.3. Toma de tierra

Es la parte esencial del sistema de apantallamiento, para el SPAT se tiene dos opciones crear una puesta a tierra nueva o tomar la puesta de tierra existente en la edificación en caso de ser una nueva se debe unir al sistema ya existente para asegurar un buen

equipotencial evitando saltos de chispas al paso de la descarga atmosféricas, es donde se va a disipar la descarga atmosférica.

2.6.5. Elementos del LPS

2.6.5.1. Punta de captación

Es el elemento principal el cual permite captar las descargas atmosféricas para desviarlas al SPAT, evitando que impacten en otras estructuras adyacentes a la construcción.

2.6.5.2. Pieza de adaptación

Es el elemento que permite acoplar la punta de captación al mástil para mantenerlo firme y evitando su desacople, evitando que la punta se desprenda o se caiga al momento de recibir una descarga atmosférica.

2.6.5.3. Mástil

Elemento encargado de dar altura a la punta de captación para cubrir el área de acción y zona de protección, la misma que influye directamente en la altura de la punta y es necesaria para el cálculo del área de protección.

2.6.5.4. Protector mástil antena

Elemento encargado de proteger el mástil de la antena al presentarse una descarga atmosférica evitando chispas.

2.6.5.5. Anclaje mástil

Elemento encargado de fijar y sujetar el mástil, la sujeción puede ser mediante un tornillo o empotrado, con el fin de evitar que esta se desprenda brindando una sujeción adecuada para el mástil.

2.6.5.6. Conductor Bajante

Elemento conductor encargado de desviar la corriente producida por la descarga atmosférica a la puesta a tierra del sistema de apantallamiento, este se debe dimensionar de tal manera que soporte altas corrientes.

2.6.5.7. Soportes cable

Elementos encargados de fijar el conductor bajante en todo su camino con el fin de evitar movimientos, fijando al conductor de bajante a una superficie estable para evitar que se desprenda por cualquier motivo.

2.6.5.8. Contador descargas

Elemento encargado de indicar la cantidad de impactos de descargas atmosféricas que ha recibido el sistema.

2.6.5.9. Junta de control y manguitos de unión

Elemento que permite desconectar el SPAT del sistema de apantallamiento con el propósito de efectuar mediciones de resistencia.

2.6.5.10. Tubo de protección

Elemento con enchapado galvánico cuyo objetivo es evitar golpes físicos que se pueden dar contra el conductor bajante.

2.6.5.11. Puesta a tierra

Sistema encargado de desviar las descargas atmosféricas a tierra con el fin de disiparlas en el suelo.

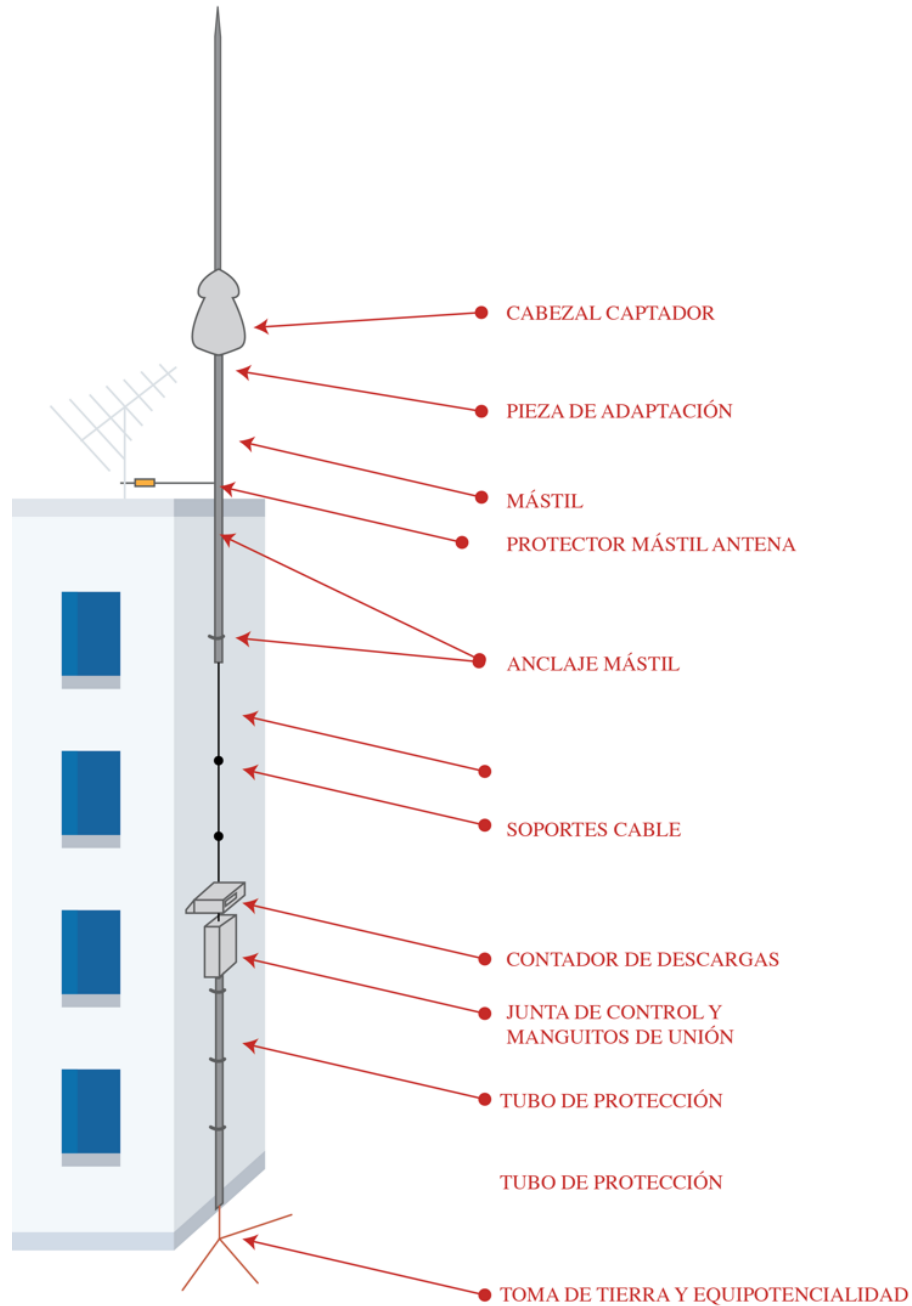


Figura 7 Representación de los elementos de un LPS.
Fuente: Autor.

2.6.6. Tipos de apantallamientos

Los elementos pasivos encargados de proteger el sistema eléctrico de descargas eléctricas captan a las mismas más no se puede determinar el punto de impacto de una existen diferentes tipos como lo son las puntas franklin jaulas de Faraday por citar ejemplos, pero estos no han evolucionado desde su creación. Por tal motivo el estudio de los LPS es de fácil entendimiento.

2.6.6.1. Puntas franklin

La punta Captadora se eleva por encima de la estructura a proteger, dependiendo del modelo de esta punta la altura a la que se debe fijar considerando la geometría de la estructura se calcula el radio de protección. A mayor altura mayor radio de cobertura.

El área de cobertura de este tipo de pararrayos se toma como un cono donde la altura es la distancia de la altura de la edificación más la altura de la punta captadora tomando como referencia al terreno, la superficie del cono es círculo cuyo radio dependería del ángulo de protección tomando con centro en la punta de captación.

2.6.6.2. Con dispositivos de cebado

La característica principal es responder al acercamiento de la descarga atmosférica, desviándolo al SPAT de manera segura. Este tipo de apantallamiento emite descargas eléctricas de polaridad opuesta a la descarga atmosférica, atrayendo a la descarga atmosférica a un punto de impacto por encima de la estructura creando una mayor zona de cobertura en la base.

Con el fin de optimizar este tipo de apantallamiento se debe asegurar sus certificaciones internacionales debido a que debe mantenerse activo y operativo en condiciones meteorológicas adversas, debido a que puede cortocircuitarse perdiendo su eficacia.

2.6.6.3. Jaula de Faraday o malla captadora

El sistema de apantallamiento más tradicional contra descargas atmosféricas es adecuados y más usados junto con las puntas simples para estructuras donde predomina la superficie de la planta sobre la altura de la misma.

2.6.7. Cálculo de índice de riesgo

Para obtener el índice de riesgo se debe sumar los coeficientes a, b y c donde el coeficiente 'a' está determinado por las coordenadas geográficas en el mapa

isoceraunico y por las condiciones climáticas, el coeficiente ‘b’ se determina mediante el tipo de estructura y el coeficiente ‘c’ mediante las condiciones topográficas donde se encuentra la estructura [13].

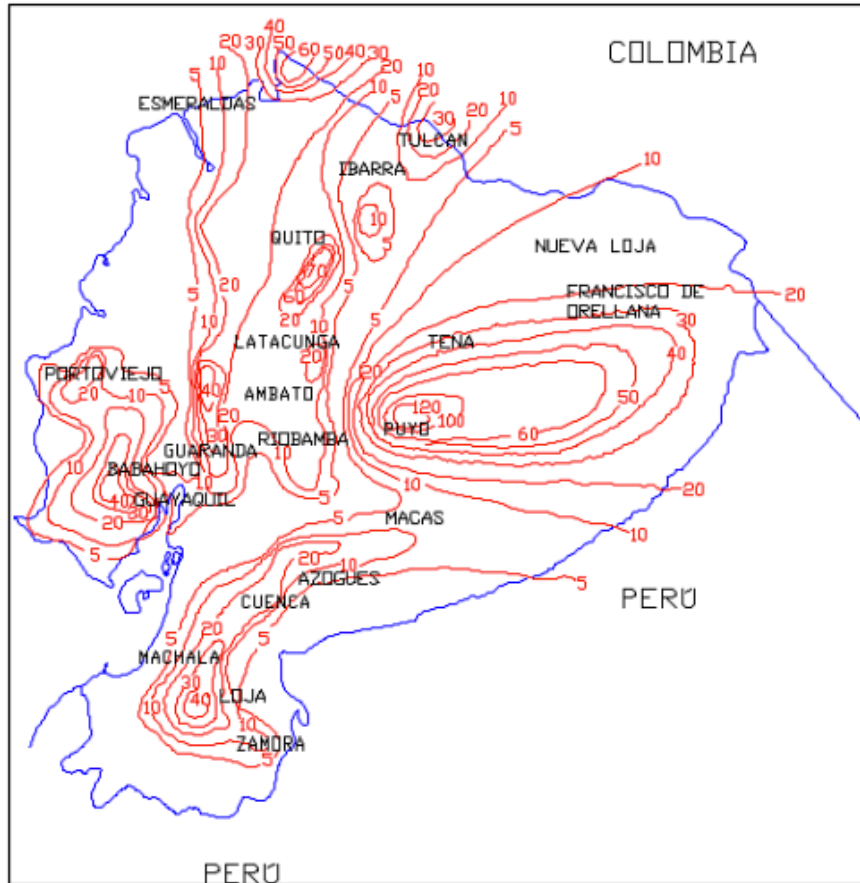


Figura 8 Mapa del nivel ceraurico de Ecuador.
Fuente: Echeverría, Nivel Isoceraunico del Ecuador, 2008.

Tabla 1 Coeficiente ‘b’ del índice de riesgo

Tipo de estructura	Tipo de cubierta	Altura del edificio en metros																			
		4	9	12	15	18	20	22	24	26	28	30	31	33	34	36	38	39	40	42	43
Metálica o de hormigón armado	No metálica	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	Metálica	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
De ladrillo, hormigón en masa o mampostería	No metálica	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	Metálica	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	...	...	...	...
De madera	No metálica	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	...	...	...
	De ramaje vegetal	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	...	...	...	...	...

Nota: Fuente: Instalación de Pararrayos, Norma Tecnológica de la Edificación, IPP-1973

Tabla 2 Coeficiente ‘c’ del índice de riesgo

Condiciones topográficas		Árboles y edificios circundantes		Tipo de edificio		
Terreno	Altitud	Altura respecto del edificio	Numero	Vivienda unifamiliar	Bloques de viviendas u oficinas	Otros edificios
		Igual o Mayor	Abundante	0	5	8
Llano	Cualquiera	Igual o Mayor	Escaso	3	8	11
		Menor	Cualquiera	8	13	16
		Igual o Mayor	Abundante	4	9	12
Ondulado	Cualquiera	Igual o Mayor	Escaso	7	12	15
		Menor	Cualquiera	12	17	20
		Igual o Mayor	Abundante	6	11	14
	300 a 900 m	Igual o Mayor	Escaso	9	14	17
Montañoso		Menor	Cualquiera	14	19	22
	Mayor a 900 m	Igual o Mayor	Abundante	8	13	16

Nota: Fuente: Instalación de Pararrayos, Norma Tecnológica de la Edificación, IPP-1973

2.7. Cámaras de transformación

Se puede abreviar como CT también es conocido como centro de transformación.

2.7.1. Definición de un CT

Una cámara de transformación es el corazón del sistema eléctrico debido a que es aquí donde los voltajes de alta o media tensión son reducidos para poder proveer un voltaje a las edificaciones. Se puede clasificar de distintas maneras según la potencia que vayan a manejar y según el tipo de cámara, estas están conformadas por distintas partes [12] [13].

2.7.2. Partes de una cámara de transformación.

En la mayoría de cámaras de transformación existen las mismas partes cuyos diseños dependen de varios factores a considerar como la ubicación, tipos de cámara, etc.

2.7.2.1. Acometida

Se define como la derivación de cables eléctricos, que van desde la red de distribución urbana la cual es proporcionada por la empresa que suministra el servicio eléctrico hasta las protecciones y después la cual se conecta al transformador.

2.7.2.2. Cámara

Estructura física donde se instalará el transformador y los demás elementos para poder suministrar el servicio eléctrico a la edificación. Está varía según el tipo de cámara y según la potencia eléctrica que se va a suministrar.

2.7.2.3. Transformador

El transformador es el elemento más importante de las cámaras de transformación debido a que este es el que va a disminuir el voltaje recibido por la empresa eléctrica para a su salida tener un voltaje adecuado para el uso doméstico o comercial. Este debe ser dimensionado con base a la demanda de la edificación.

2.7.2.4. Puesta a tierra

Toda Cámara de transformación debe tener su propio SPAT debida que este ayuda disipar los armónicos de la red sobre voltaje y fugas que pueden presentarse en el caso de algún tipo de falla o mal funcionamiento. La norma establece que esta debe ser menor de 5 [Ω].

2.7.2.5. Ventilación

Debido al transformador pierde cierta potencia en forma de calor la cámara debe tener una ventilación constante con el fin de disminuir la temperatura en la misma.

De esta manera lograr una mayor eficiencia energética y aprovechar la potencia total.

2.7.2.6. Iluminación

Debido a que la mayoría de cámaras de transformación son subterráneas o en la planta baja de la edificación y por sus modelos estructurales no poseen una iluminación natural por tal motivo la iluminación debe ser adecuada para realizar trabajos.

2.7.2.7. Puertas

El ingreso a la cámara de transformación esta debe estar siempre cerradas y solo el personal autorizado puede abrir las mismas para poder ingresar a realizar manteamientos o trabajos en la cámara de transformación deben estar con señalética.

2.7.3. Tipos de cámaras de transformación

2.7.3.1. Según el voltaje que maneja

- Primera categoría maneja tensiones superiores a 66 [kV].
- Segunda categoría maneja tensiones entre 30 y 66 [kV].
- Tercera categoría maneja tensiones entre 1 y 30 [kV].

2.7.3.2. Según a la ubicación

- Cámara de transformación subterránea.
- Cámara de transformación en planta baja.

- Cámara de transformación en azotea.

3. MARCO METODOLOGICO

Todo proyecto eléctrico debe empezar con el análisis de los aspectos técnicos con revisiones previas de los lugares donde van a ser diseñados cualquier tipo de subsistema eléctrico, con el fin de dimensionar de manera adecuada.

3.1. Criterio del diseño del SPAT con base en la normativa IEEE 80 2013

En la Norma IEEE 80 se define un método específico de trabajo o pasos a seguir para el desarrollo el cual se puede resumir en los siguientes puntos [10].

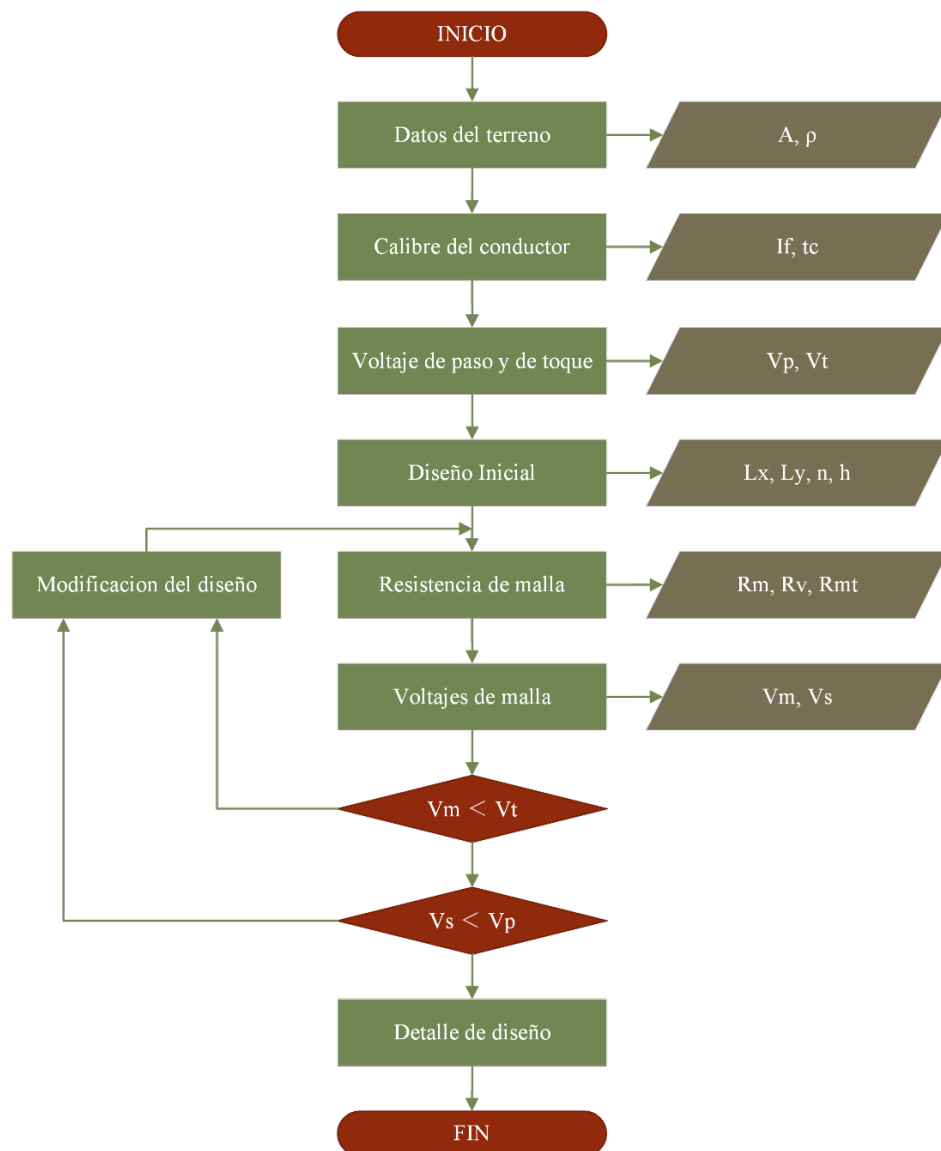


Figura 9 Flujograma del diseño de un SPAT.

Fuente: Autor.

3.2. Criterios del diseño del LPS con base en la normativa IEC 62305

La norma IEC 62 305 está esta dividida en 5 partes donde se detalla los principios generales para una adecuada protección contra descargas atmosféricas [11].

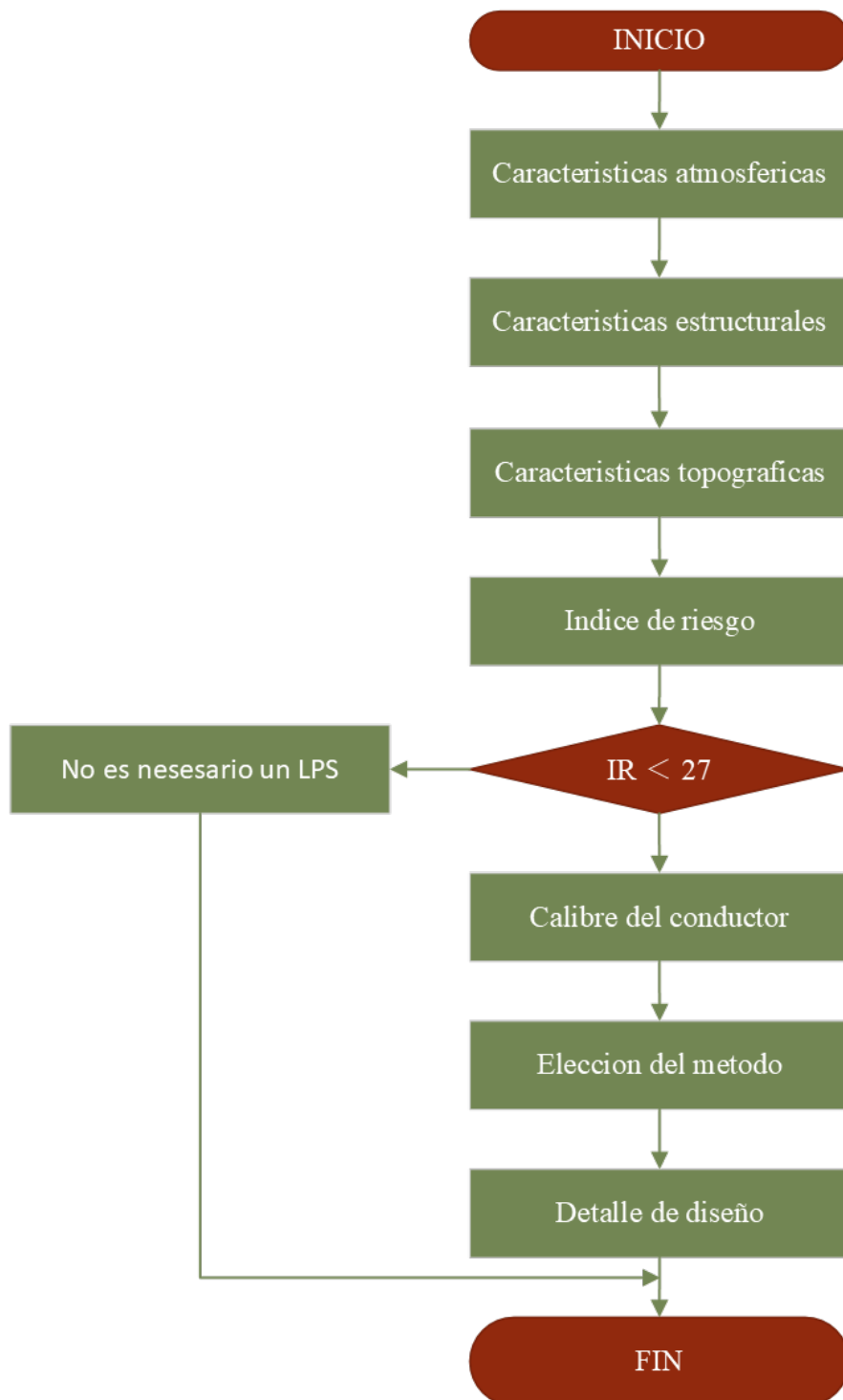


Figura 10 Flujograma del diseño de un LPS.

Fuente: Autor.

3.3. Criterios del diseño de la CT con base en la normativa EEQ Parte 2

Para este caso en particular se tomará en cuenta únicamente las dimensiones de la cámara de transformación, pero resumiendo de manera el proceso: [13]

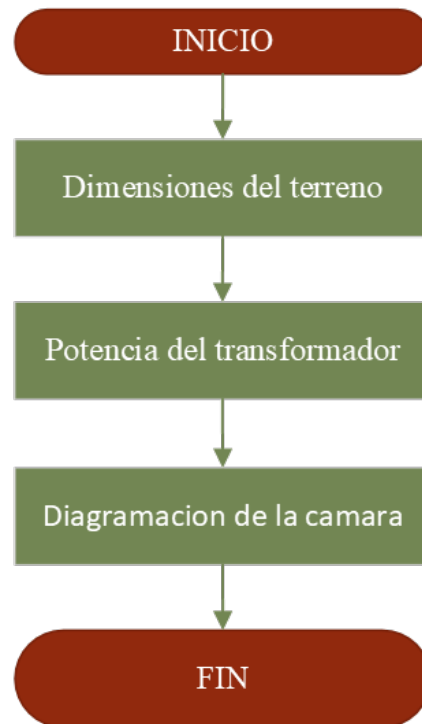


Figura 11 Flujograma de la diagramación de una CT.
Fuente: Autor.

4. INSPECCIÓN TÉCNICA

4.1. Inspección técnica

A través de una inspección técnica y visual se logró constatar el estado actual del sistema eléctrico del Centro de Salud N.º 1 “Centro Histórico” en el cual se encontraron varios inconvenientes los cuales afectan el funcionamiento de varios equipos y que a largo plazo han generado daños y averías.

El problema principalmente se engloba en la falla de los equipos computacionales, mala iluminación, el mal criterio de ubicación de componentes eléctricos, deterioro de las canaletas por mencionar algunas irregularidades, adicional se inspeccionó el sistema de puesta a tierra el mismo que no es un sistema adecuado junto a un sistema de apantallamiento obsoleto porque tiene una avería, a esto cabe mencionar la mala ubicación de la cámara de transformación.

4.1.1. Sistema de iluminación

El sistema de iluminación en la actualidad presenta varios inconvenientes entre los cuales podemos destacar la mala iluminación que brindan debido a que no se ha hecho un dimensionamiento para ofrecer la iluminación necesaria a cada área, también se presentan varios puntos obsoletos o que están fuera de servicio adicional a esto la distribución de iluminación no es la adecuada.



Figura 12 Iluminación del centro de salud.

Fuente: Autor.

4.1.2. Sistema de fuerza

El sistema de fuerza en la actualidad presenta varios inconvenientes entre los cuales podemos destacar el aumento de puntos sin un estudio de cargas previo lo cual causa un desbalance entre las fases del sistema, también tiene puntos obsoletos o que tiene cierto nivel de deterioro adicional a esto las tomas no cuentan con un cable de tierra por lo cual se han generado los distintos inconvenientes en los equipos de cómputo.



Figura 13 Estado de los toma corrientes.

Fuente: Autor.

4.1.3. Sistema de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra en la actualidad no existe en el centro de salud por este motivo se han presentado tantos inconvenientes con los equipos electrónicos por lo cual se ha sugerido implementar un sistema el cual pueda brindar una protección al personal y a los equipos.

4.1.4. Sistema de apantallamiento

El sistema de apantallamiento en la actualidad presenta una avería la cual fue causada por el impacto de una descarga atmosférica la cual daño todo el sistema y por dicha avería no presenta ninguna protección contra futuras descargas, tras la inspección técnica se constató que la bajante del sistema tenía una avería la cual imposibilitaba

que el sistema cumpla con la función necesaria adicional a esto la puesta a tierra del sistema de apantallamiento era únicamente un electrodo aterrado el cual también servía de tierra para todo el sistema eléctrico del centro de salud.

4.1.5. Estudio de carga y demanda

El Centro de Salud N.º 1 “Centro Histórico” cuenta con dos transformadores los cuales brindan el servicio eléctrico, el primer transformador es bifásico con una potencia aparente de 75 [kVA] el que suministra la energía eléctrica al cuarto de Rayos X; el segundo transformador es trifásico con una potencia aparente de 100 [kVA] el cual suministra la energía eléctrica a todo el centro de salud.

El estudio carga y de demanda de ambos transformadores se realizó a través del uso del analizador de red FLUKE 435, el equipo estuvo conectado por un periodo de tres días desde el día lunes 22 de febrero de 2021 a las 12 p.m. hasta el día jueves 25 de febrero del 2021 a las 12 p.m. este análisis se lo realizó en el transformador de bifásico de 75 [kVA], luego el equipo estuvo conectado por un periodo de siete días desde el día jueves 25 de febrero del 2021 a las 12 p.m. hasta el día jueves 4 de marzo del 2021 a las 12 p.m. este análisis se lo realizó en el transformador trifásico de 100 [kVA], con lo cual se logró recopilar los datos de la demanda.



Figura 14 Medición transformador bifásico de 75 kVA.

Fuente: Autor.



Figura 15 Medición transformador trifásico de 100 kVA.
Fuente: Autor.

4.1.6. Análisis de corrientes

El transformador de 75 [kVA] que suministra la energía eléctrica al cuarto de Rayos X presenta consumos en el momento que los equipos de Rayos X son utilizados en horas específicas del día, por lo que se presentan picos de consumos que por lo general no superan los 100 [A] en la línea 1 y en la línea 2 del transformador, en la gráfica se puede apreciar que los equipos se utilizan en periodos cortos de tiempo por lo que no representan grandes consumos de energía.

El transformador de 100 [kVA] que suministra la energía eléctrica a todo el centro de salud presenta una curva característica la cual tiene sus valores máximos de consumo en los horarios de trabajo desde las 7 a.m. hasta las 6 p.m., se evidencia picos de consumo y una actividad regular; las líneas no están correctamente balanceadas, debido a que la línea 3 presenta picos de mayor consumo en comparación a las otras dos líneas los cuales superan en ciertos momentos del día los 150 [A] mientras que las otras líneas no superan los 100 [A] por esto se puede concluir que hay una sobre carga en una de las líneas del transformador.

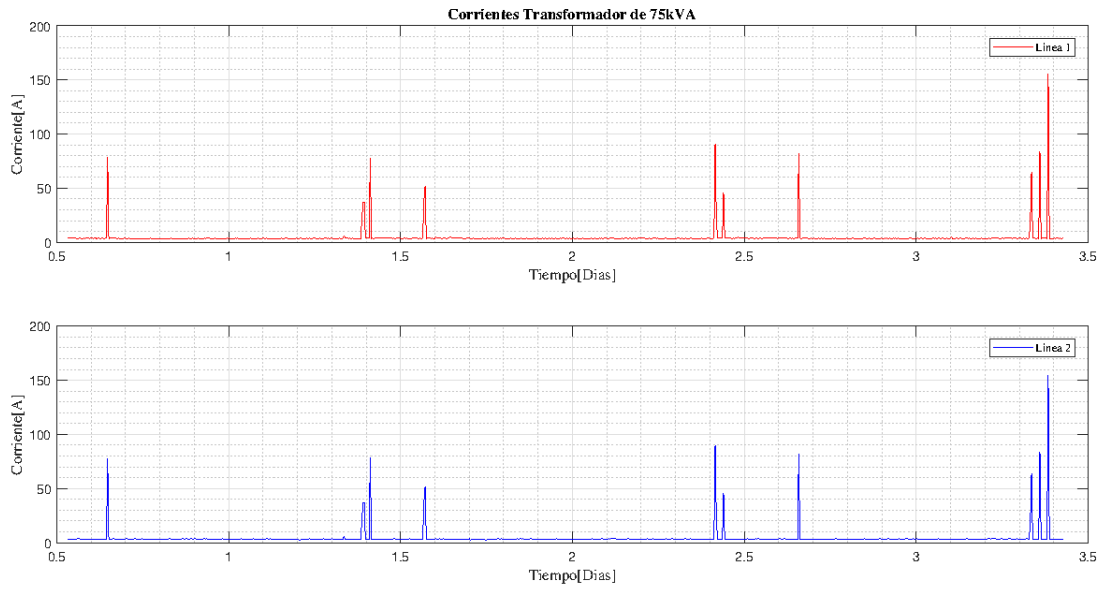


Figura 16 Corrientes transformador de 75 kVA línea 1 y 2
Fuente: Autor.

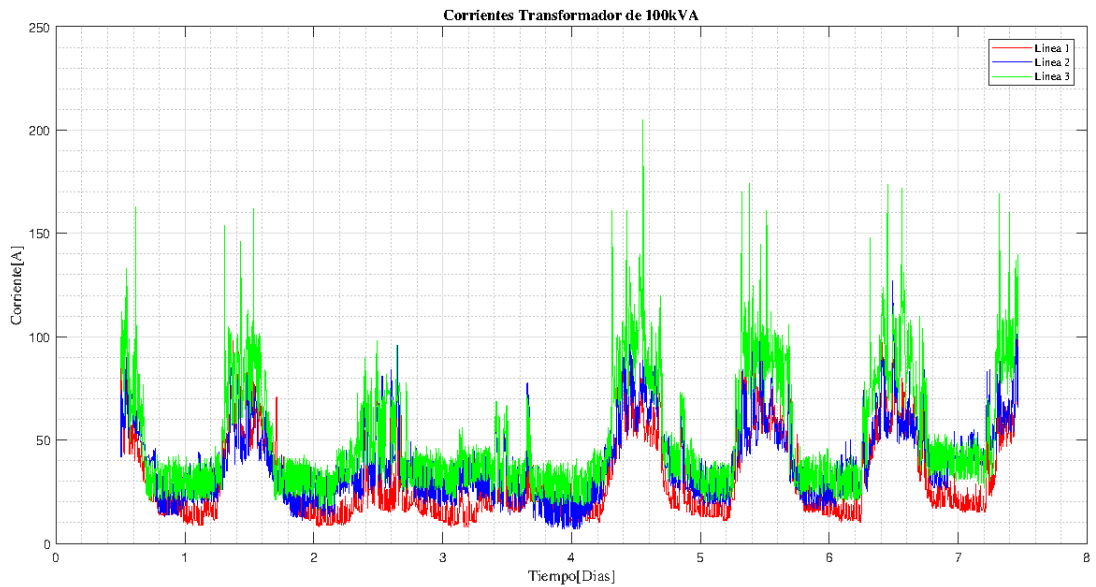


Figura 17 Corrientes transformador de 100 kVA línea 1, 2 y 3
Fuente: Autor.

4.1.7. Análisis de voltajes

Los voltajes que se evidencian en la gráfica del primer transformador están en el rango de 115 a 123 [V], obteniendo valores parecidos en las dos líneas del transformador por lo que las cargas se encuentran balanceadas en el transformador adicional a esto se puede notar las caídas de tensión que existen en el momento de hacer uso de los equipos de Rayos X.

Los voltajes que se muestran en la gráfica del segundo transformador están en el rango del voltaje está entre los 121 a 131 [V], la línea 1 y 2 generan valores similares mientras que la línea 3 presenta valores de mayor magnitud con respecto a las otras líneas lo que supone que las cargas en el transformador se hallan desbalanceadas adicional a esto se puede notar las caídas de tensión que existen en el horario de trabajo, ya que se conecta una gran carga eléctrica del centro de salud.

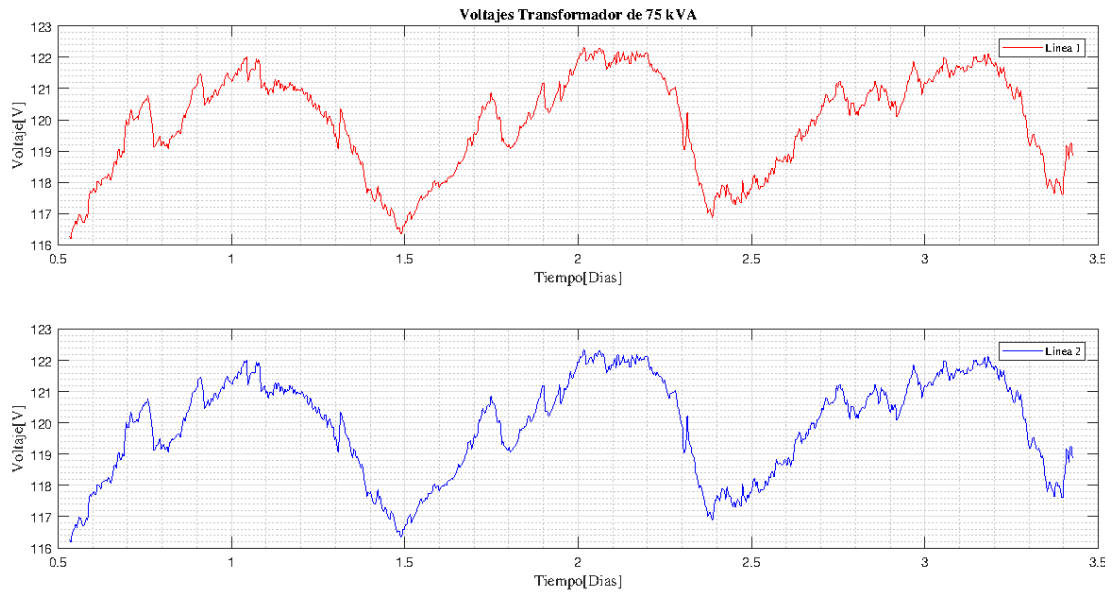


Figura 18 Voltajes del transformador de 75 kVA línea 1 y 2
Fuente: Autor.

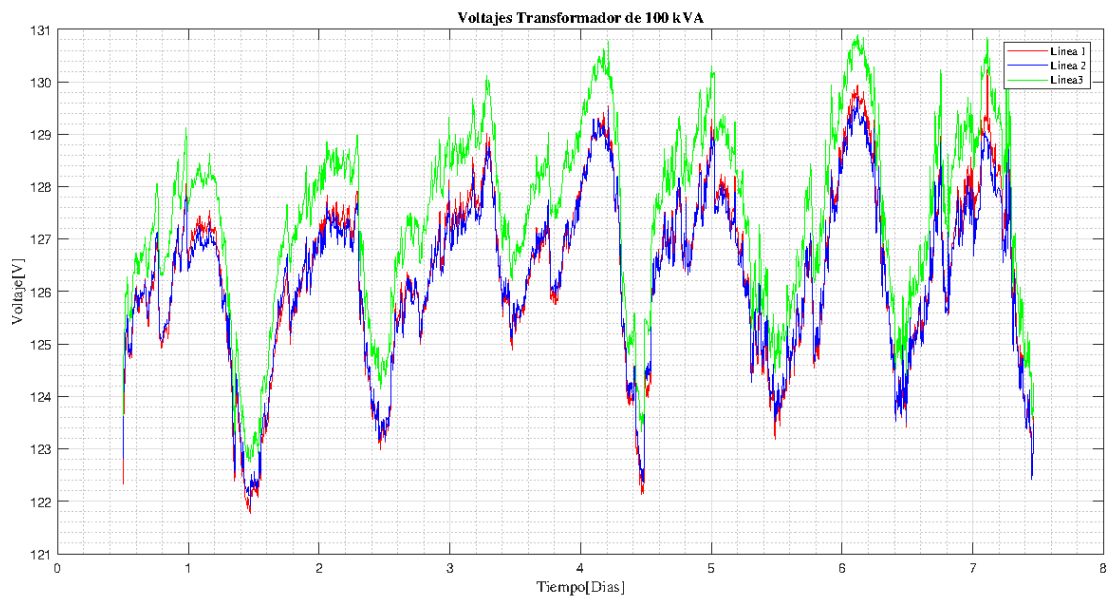


Figura 19 Voltajes del transformador de 100kVA línea 1, 2 y 3
Fuente: Autor.

4.1.8. Análisis de potencias

En el transformador de 75 [kVA] la potencia activa se presenta un pico de unos 13,2 [kW] en las dos líneas y la potencia activa total es de unos 27 [kW], la potencia reactiva presenta un pico de consumo de 18,2 [kvar] en las dos líneas y la potencia reactiva total es de unos 36,3 [kvar], la potencia aparente presenta un pico está de 12,6 [kVA] en las dos líneas y su potencia aparente total es de unos 25,1 [kVA], se evidencia que ambas líneas del transformador poseen un consumo parecido por lo tanto las gráficas similares y no tienen un desbalance en su consumo.

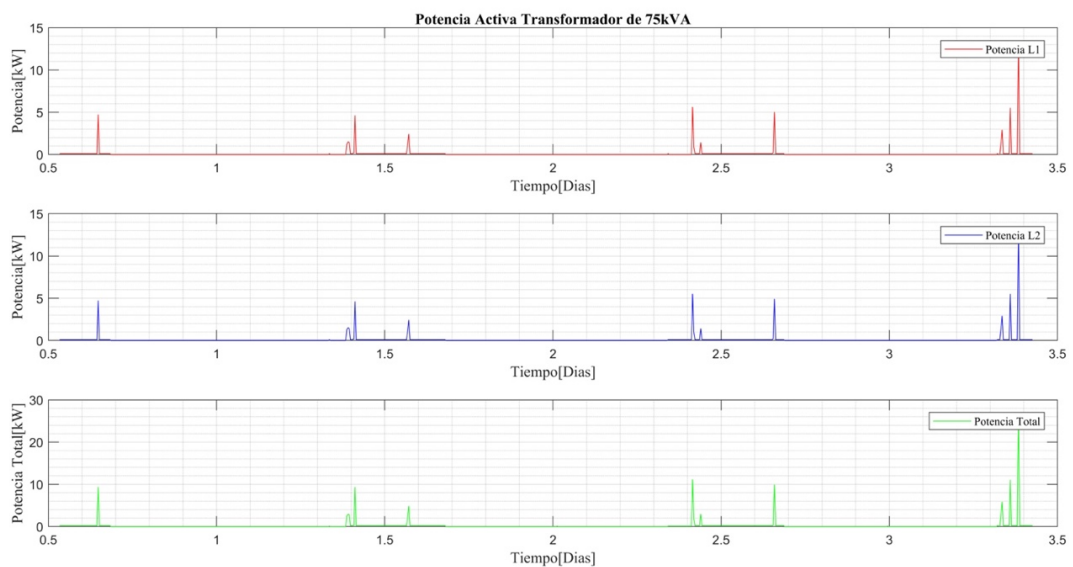


Figura 20 Potencia Activa transformador de 75 kVA.

Fuente: Autor.

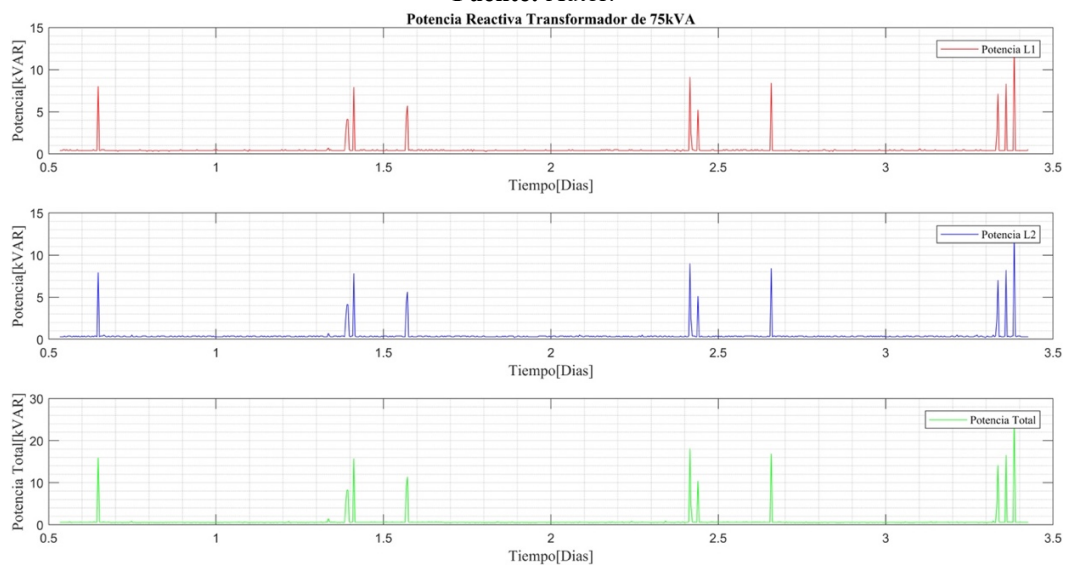


Figura 21 Potencia Reactiva transformador de 75 kVA.

Fuente: Autor.

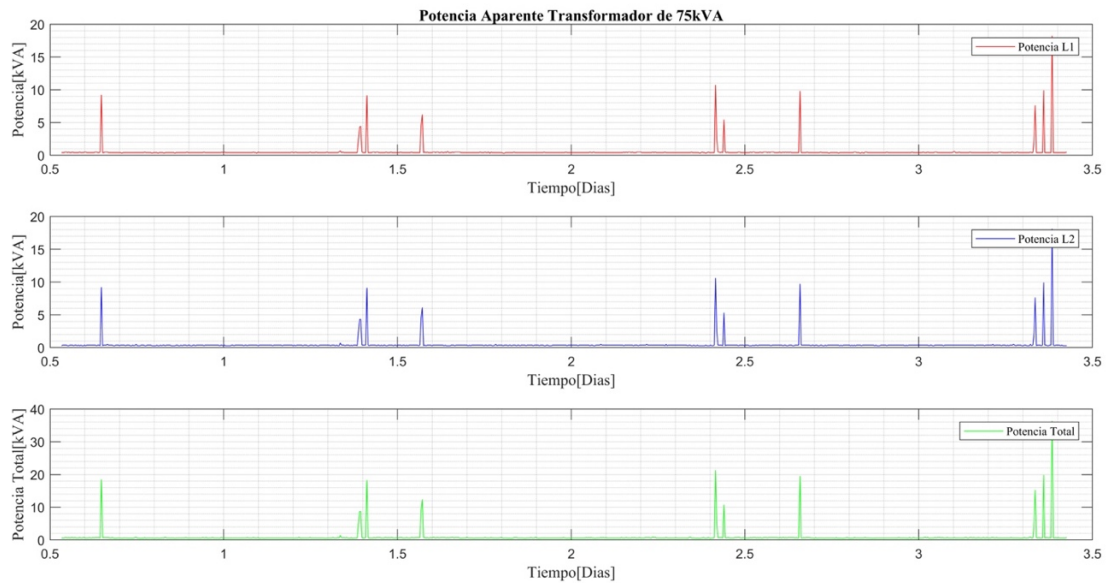


Figura 22 Potencia Aparente transformador de 75 kVA,
Fuente: Autor.

En el transformador de 100 [kVA] la potencia activa en la línea 1 presenta un valor pico de 9,0 [kW], la línea 2 tiene un valor de 9,7 [kW] y la línea 3 tiene un valor de 12,2 [kW], así tiene como consumo total un valor pico de 30,7 [kW], la potencia reactiva para la línea 1 presenta un valor pico de 2,5 [kvar], la línea 2 presenta un valor pico de 2,1 [kvar] y la línea 3 presenta un valor pico de 4,0 [kvar], como valor total de la potencia reactiva presenta un valor pico de 6,9 [kvar], la potencia aparente para la línea 1 existe un valor pico de 12,8 [kVA], la línea 2 tiene un valor pico de 15,6 [kVA] y la línea 3 un valor de 25,7 [kVA], el valor pico de la potencia aparente total es de 42,1 [kVA], por lo cual se logra evidenciar la existencia de un desbalance en todas las líneas siendo la línea 3 la que presenta un mayor consumo con respecto a las otras líneas del transformador.

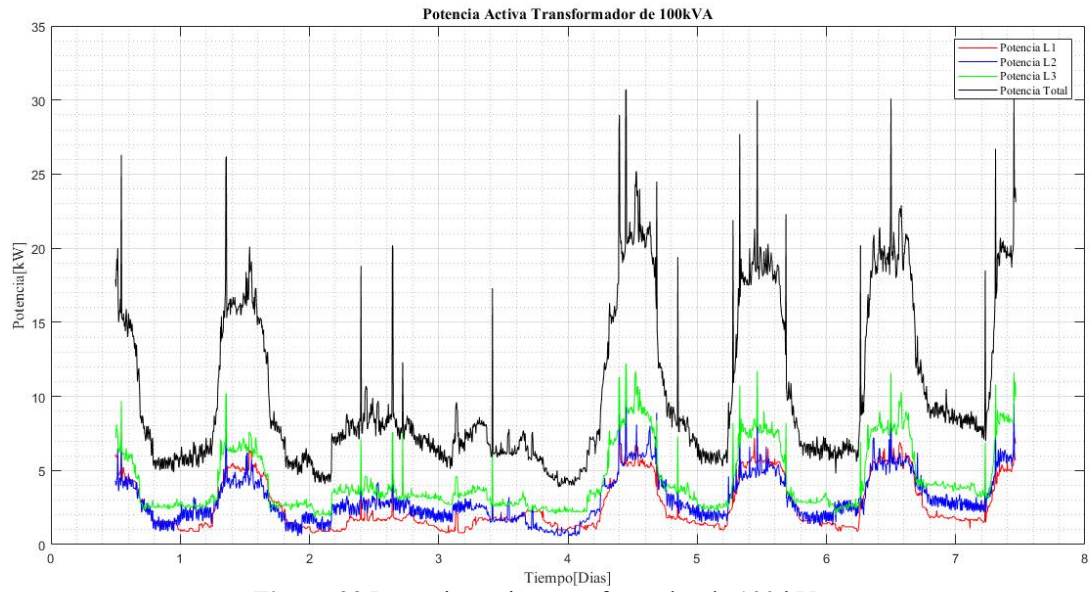


Figura 23 Potencia Activa transformador de 100 kVA.

Fuente: Autor.

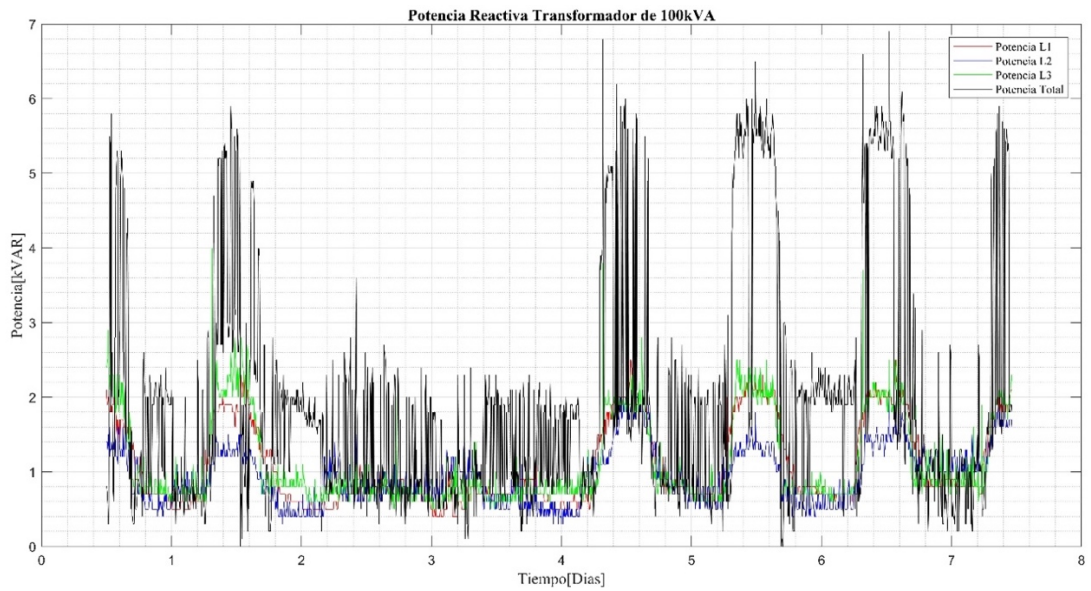


Figura 24 Potencia Reactiva transformador de 100 kVA.

Fuente: Autor.

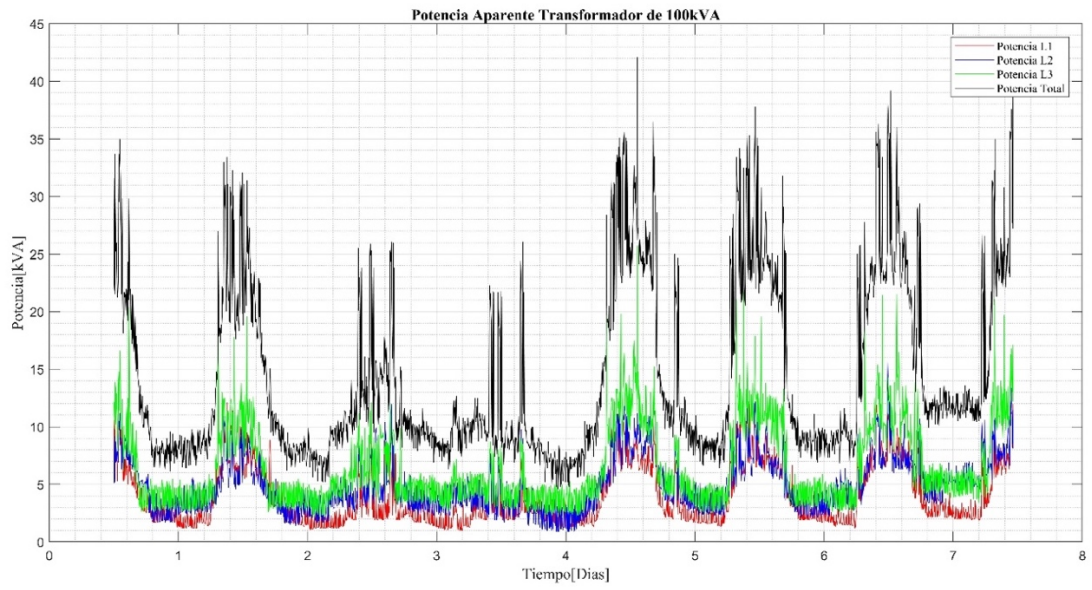


Figura 25 Potencia Aparente transformador de 100 kVA.
Fuente: Autor.

5. DISEÑO

Para el diseño de los SPAT, LPS y CT se debe considerar diversos factores como por ejemplo el terreno, espacio disponible, las corrientes de falla, tipos de electrodos por mencionar algunos de ellos, una vez adquiridos estos factores se procede al cálculo de los distintos elementos que interviene aplicando las normas.

5.1. Diseño de SPAT

El sistema de puesta a tierra será diseño para el Centro de Salud N.º 1 “Centro Histórico” ubicado en calle Rocafuerte y calle Venezuela en el centro histórico de la ciudad Quito, la edificación está compuesta por tres pisos en los cuales se distribuyen las distintas áreas que conforman el centro de salud las cuales están destinadas a distintos objetivos específicos dichas áreas se distribuyen en emergencia, consulta externa, administrativa, cuarto de máquinas, etc.

Existe un área abierta de aproximadamente 5 [m] de largo y 8 [m] de ancho donde está ubicado el equipo de generación de emergencia, dicha área es la más adecuada para poder implementar el SPAT. Las medidas de la edificación se pueden hallar en los distintos planos civiles.

Tabla 3 Datos técnicos del transformador.

Descripción	Valor
Conexión de fases	ABC
Voltaje operacional primario	6,3 [kV]
Voltaje operacional secundario	220/120 [V]
Potencia	100 [kVA]
% Impedancia a 85°C	4,5 %

Nota: Fuente: Autor.

5.1.1. Resistividad del suelo.

El Centro de Salud N.º 1 “Centro Histórico” no posee un área verde o un área donde se puedan tomar medidas de resistividad del suelo lo que representa un problema al momento de diseñar el sistema de puesta a tierra.

Por este inconveniente que se suscita no se puede realizar ningún tipo de estudio del suelo para el futuro SPAT debido a que cualquier remodelación o trabajo sin la previa autorización del ministerio de salud no está permitida, por lo que no se puede perforar la zona para obtener los valores de resistividad del suelo; por tales motivos se procede hacer una estimación de la resistividad del suelo basándonos en previos estudios realizados en los alrededores de la zona del centro histórico los cuales han determinado que el suelo que se encuentra en el centro histórico es un terreno donde se mezclan un suelo de arcillas, suelo de limo y suelo duro conocido como cangahua los mismos que están compactados en ciertas zonas del centro histórico de la ciudad de Quito [15] [16].

Con estos datos en específico y para el estudio según las tablas de la resistividad promedio según el tipo de suelo se decidió establecer la resistividad del suelo entre 100 [$\Omega \cdot m$] y 200 [$\Omega \cdot m$]. Para este caso en particular se realizará una adecuación del suelo haciendo que la resistividad existente disminuya a 10 [$\Omega \cdot m$] mediante el uso de tierra negra y geles que ayuden al suelo a tener la resistividad adecuada para el SPAT con el fin de mejorar la resistencia de la malla a tierra. Dichos geles contienen carbón mineral, carbón vegetal, sulfato de cobre y cemento portland.

Con estas aclaraciones previas al diseño del SPAT de centro de salud se procederá a realizar los cálculos necesarios para que los parámetros cumplan con la norma IEEE 80.

Tabla 4 Resistividad promedio de los suelos.

Naturaleza del terreno	Resistividad [$\Omega \cdot m$]
Terreno pantanoso	< 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	50 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcilla compacta	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena sílice	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 5000
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedentes de alternación	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterado	500 a 600

Nota: Fuente: [16].

5.1.2. Cálculo de la corriente de corto circuito

Para el cálculo de la corriente cortocircuito se deben conocer los datos del transformador los que fueron obtenidos por medio del WEBGIS de la Empresa Eléctrica Quito y los datos de placa del mismo.

$$I_{cc} = \frac{S_n}{\sqrt{3} * V_{ns} * \%Imp} [kA] \quad (4)$$

Por lo tanto:

$$I_{cc} = 5,8318 [kA]$$

5.1.3. Cálculo del conductor mínimo.

Basando en la norma se debe usar un cable calibre 4 AWG, pero siempre se debe realizar los cálculos para asegurar su correcto dimensionamiento.

$$A_{mm^2} = \frac{I_f * K_f * \sqrt{t_c}}{1,9740} [mm^2] \quad (5)$$

Basándonos en la tabla para obtener el parámetro kf de la ecuación se establece que kf tendrá un valor de 7, esto se deduce por medio del tipo de material de conductor y el calibre del mismo.

Tabla 5 Constantes de materiales

Material	Conductividad (%)	Tm (° C)	Kf
Cobre blando	100	1083	7
Cobre duro con suelda exotérmica	97	1084	7,06
Cobre duro con conexiones mecánicas a presión	97	250	11,78
Alambre de acero recubierto de cobre	40	1084	10,45

Alambre de acero recubierto de cobre	30	1084	14,64
Varilla de acero recubierta de cobre	20	1084	14,65
Acero 1020	10,8	1510	15,95
Varilla de acero galvanizado	9,8	1400	14,72
Varilla de acero con baño de zinc	8,6	419	28,96
Acero inoxidable 204	2,4	1400	30,05

Nota: Fuente: [10].

El t_c según la norma se puede considerar entre 0,03 y 3 segundos, este parámetro se lo establece por medio de las protecciones del transformador del lado de bajo voltaje el cual nos establece dicho valor que en este caso son fusibles NH con lo que se establece el tiempo de accionamiento en 0,5 segundos.

Según la norma de la EEQ el Fusible NH usado para un Transformador de 100 [kVA] es un fusible NH tipo 3NA1 basado en la norma VDE 01000/12.65. Para una corriente nominal de 274,92 [A] y un voltaje de línea de 210 [V].

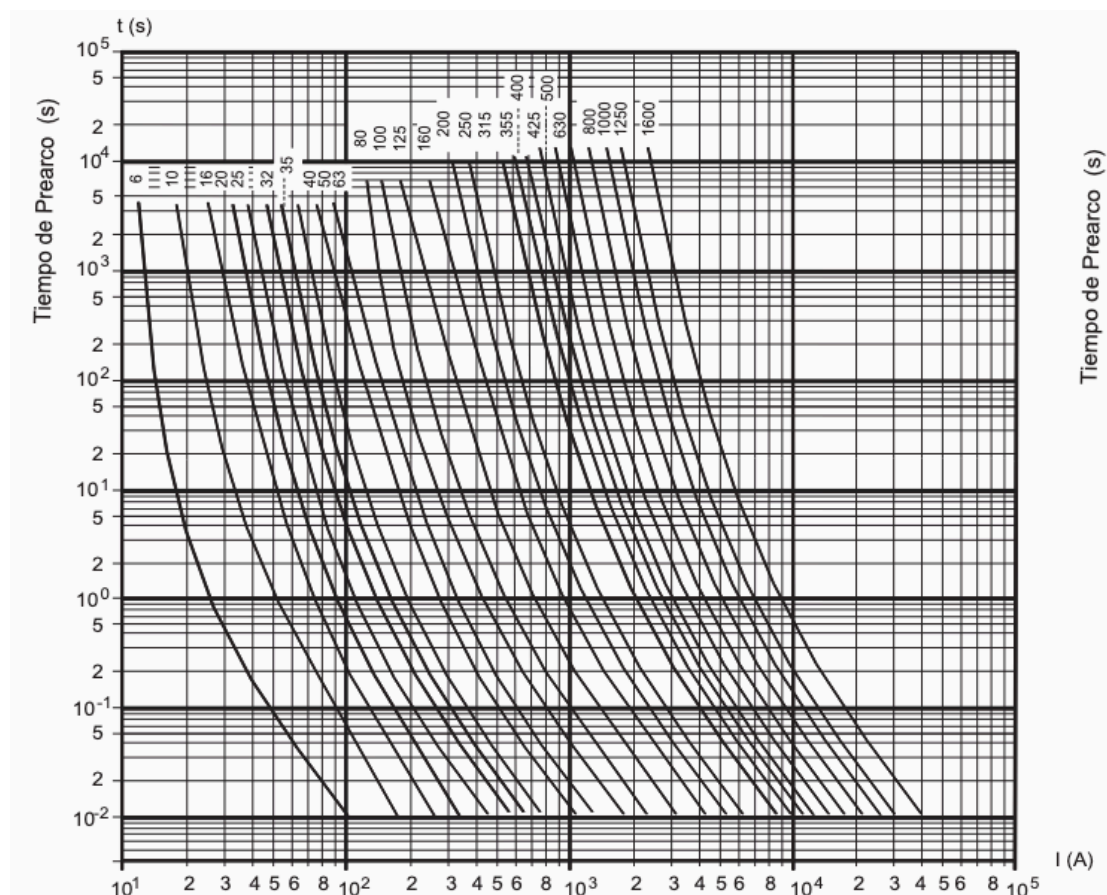


Figura 26 Curva de tiempo de falla tolerable.

Nota: Fuente: Autor.

También se toma en consideración que el Icc actúa aquí como If.

Por lo tanto:

$$A_{mm^2} = 14,6231 [mm^2]$$

Se compara con la tabla de para determinar el calibre del cable a usarse.

Tabla 6 Calibre de conductores y su sección.

Calibre AWG	# de hilos	Área [mm ²]	Diámetro Exterior ϕ_c [mm]	Peso aproximado [kg/km]
12	19	3,31	2,053	50
10	19	5,26	2,588	70
8	19	8,37	3,264	110
6	19	13,3	4,115	168
4	19	21,15	5,189	249
2	19	33,63	6,544	370
1/0	19	53,51	8,251	610
2/0	19	67,44	9,266	750

Nota: Fuente: [17]

Se tiene que el calibre del conductor debería ser 4 AWG la norma recomienda que se utilice mínimo un 4 AWG, para este diseño se usara un conductor 4 AWG.

5.1.4. Geometría de la malla

El área que comprende la malla es de 8 [m] de largo y 4 [m] de ancho con un espaciado de 1 [m] en los ejes longitudinal y latitudinal, la malla debe estar enterrada a una profundidad de 0,8 [m], se usara electrodos de 2,4 [m] basándonos en la norma de la EEQ.

Se colocará un total de 14 electrodos distribuidos uno en cada esquina, uno en la mitad de cada lado más largo y para ayuda al sistema se colocarán dos electrodos a una distancia de 1 metros de los electrodos de las esquinas tanto en el eje 'x' como en el eje 'y'.

La norma estipula que se deben colocarlos electrodos entre sí a una distancia no menor de la longitud del mismo, pero por motivos de diseño se coloca electrodos a una

distancia menor junto a las esquinas debido a que se requiere mejor conductividad en esos puntos para evitar diferencias de potencial que afecten a los usuarios.

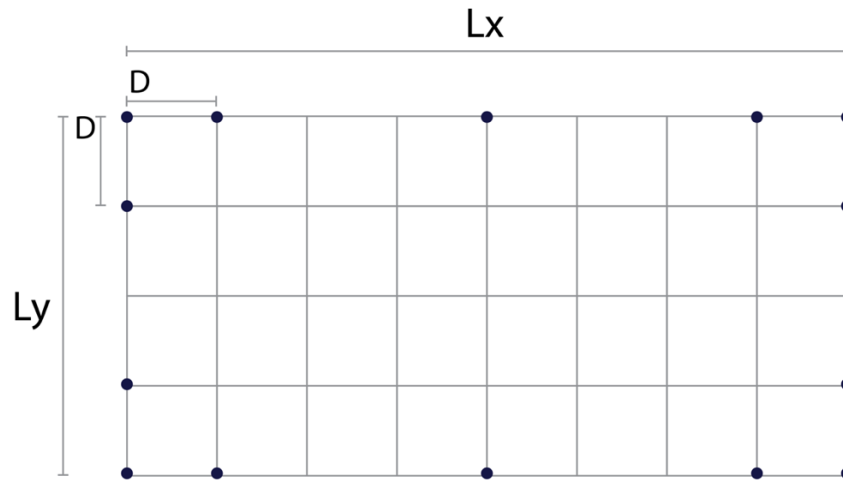


Figura 27 Representación de malla a tierra.
Fuente: Autor.

5.1.5. Cálculo de la resistencia del sistema

Dicha resistencia debe ser menor a 5 [Ω] según las recomendaciones para el tipo de estructura para lo cual se necesita distintos factores.

5.1.5.1. Cálculo de la superficie de la malla

El cálculo de la superficie de la malla y el coeficiente 'x' nos ayudará a calcular los valores de k_1 y k_2 .

$$S_m = L_x * L_y [m^2] \quad (6)$$

$$x = \frac{L_x}{L_y} \quad (7)$$

Por lo tanto

$$S_m = 32 [m^2]$$

$$x = 2$$

5.1.5.2. Cálculo de la longitud total de la malla

Para el cálculo debemos tomar en cuenta el espacio de separación longitudinal y latitudinal que seleccionamos para la malla que es 1 [m], también se toma en cuenta el largo y el ancho de la misma.

$$N_{cu} = \left(\frac{L_y}{D_t}\right) + 1 \quad (8)$$

$$N_{cp} = \left(\frac{L_x}{D_t}\right) + 1 \quad (9)$$

$$L_m = (L_x * N_{cu}) + (L_y * N_{cp}) [m] \quad (10)$$

Por lo tanto

$$N_{cu} = 5$$

$$N_{cp} = 9$$

$$L_m = 76 [m]$$

5.1.5.3. Cálculo de la resistencia de la malla

Para poder calcular la resistencia de la malla debemos calcular los coeficientes k1 y k2, mediante el análisis de las curvas cuyas ecuaciones definirán dichos factores según

la norma IEEE 80 estos valores dependen de la profundidad de enterramiento de la malla.

5.1.5.3.1. Cálculo del coeficiente k_1

Para el cálculo del coeficiente k_1 se debe basar en la figura a continuación.

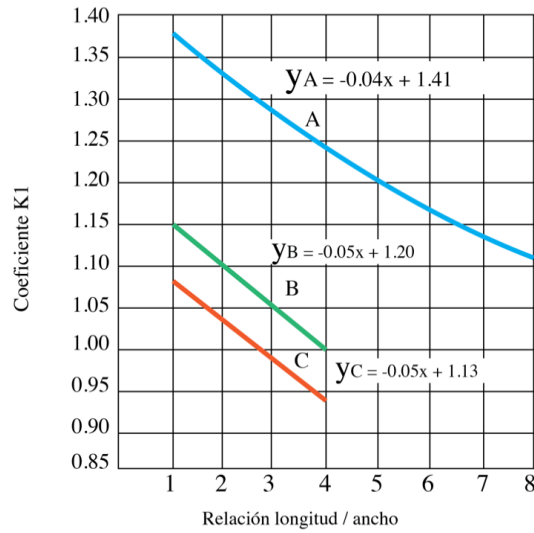


Figura 28 Curvas A, B, C para el cálculo del coeficiente k_1 .
Fuente: Autor. [10]

Curva A $h = 0$

$$\text{Curva B } h = \frac{\sqrt{S_m}}{10} = \frac{\sqrt{32}}{10} = 0,5656$$

$$\text{Curva C } h = \frac{\sqrt{S_m}}{6} = \frac{\sqrt{32}}{6} = 0,9428$$

El valor más próximo para nuestra profundidad de enterramiento de la malla será de 0,8 [m] y se acerca más al valor de la curva C, por lo tanto, la fórmula de k_1 sería.

$$k_1 = -0.05 * x + 1.13 \quad (11)$$

Por lo tanto:

$$k_1 = 1,03$$

5.1.5.3.2. Cálculo del coeficiente k2

Para el cálculo del coeficiente k2 se debe basar en la figura a continuación.

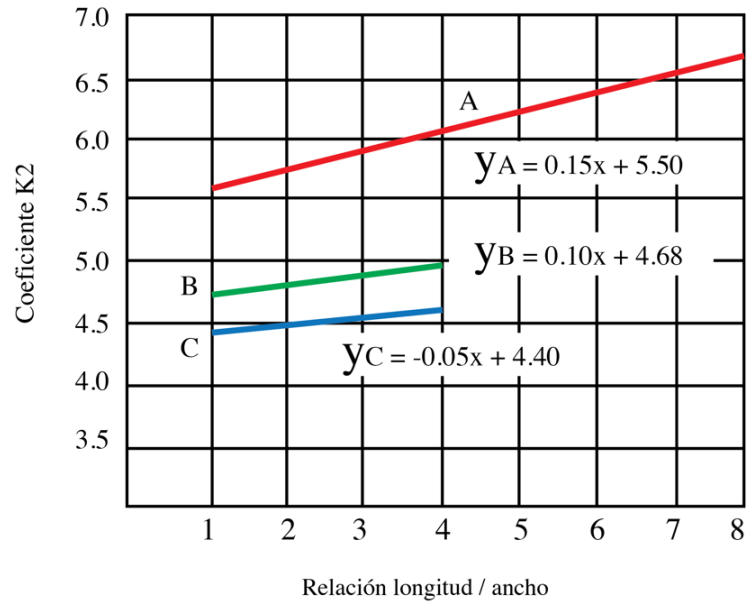


Figura 29 Curvas A, B, C para el cálculo del coeficiente k2.
Fuente: Autor. [10]

Curva A $h = 0$

$$\text{Curva B } h = \frac{\sqrt{S_m}}{10} = \frac{\sqrt{32}}{10} = 0,5656$$

$$\text{Curva C } h = \frac{\sqrt{S_m}}{6} = \frac{\sqrt{32}}{6} = 0,9428$$

El valor más próximo para nuestra profundidad de enterramiento de la malla será de 0,8 [m] y se acerca más al valor de la curva C, por lo tanto, la fórmula de k2 sería.

$$k_2 = -0.05 * x + 4.40 \quad (12)$$

Por lo tanto:

$$k_2 = 4,3$$

Una vez obtenidos estos factores procedemos al cálculo de la resistencia de la malla.

$$R_m = \frac{\rho_T}{\pi * L_m} \left[\ln \left(\frac{2 * L_m}{\sqrt{\phi_c * h}} \right) + \frac{K_1 * L_m}{\sqrt{S_m}} - K_2 \right] [\Omega] \quad (13)$$

Por tanto:

$$R_m = 0,724747 [\Omega]$$

5.1.5.4. Cálculo de la resistencia de los electrodos

Conociendo que L_r es la longitud de los electrodos y esta es de 2,4 [m] las cuales poseen un diámetro de 16 [mm] con un radio de 8 [mm] por lo que $b = 0.008$ [m] adicional a esto se conoce que la cantidad de electrodos es 14, por lo tanto, se conoce n_r .

$$R_v = \frac{\rho_T}{2 * \pi * n_R * L_r} \left[\ln \left(\frac{4 * L_r}{b} \right) - 1 + \frac{2 * K_1 * L_r}{\sqrt{S_m}} (\sqrt{n_R} - 1)^2 \right] [\Omega] \quad (14)$$

Por lo tanto:

$$R_v = 0,599651 [\Omega]$$

5.1.5.5. Cálculo de la resistencia mutua

Ya conocemos los datos a emplearse en esta ecuación se procede a calcular la resistencia mutua entre los elementos.

$$R_{mt} = \frac{\rho_T}{\pi * L_m} \left[\ln \left(\frac{2 * L_m}{L_r} \right) + \frac{K_1 * L_m}{\sqrt{S_m}} - K_2 + 1 \right] [\Omega] \quad (15)$$

Por lo tanto:

$$R_{mt} = 0,615113[\Omega]$$

Obteniendo ya los valores de R_m , R_v y R_{mt} se tiene los datos suficientes para poder calcular la resistencia del sistema.

$$R_s = \frac{R_m * R_v - (R_{mt})^2}{R_m + R_v - 2 * R_{mt}} [\Omega] \quad (16)$$

Por lo tanto:

$$R_s = 0,597047[\Omega]$$

El valor de la R_s es menor a 5 $[\Omega]$ por lo que cumple el parámetro.

5.1.6. Cálculo de las tensiones de paso y toque

Para poder verificar la eficacia del diseño de la malla del sistema de puesta tierra se debe verificar que los voltajes de malla V_m y V_s estén en el rango de los parámetros para lo cual debemos calcular las tensiones de paso y de toque, en este punto se debe considerar el uso de alguna casa de grava que cubra la zona de la malla para calcular los voltajes.

5.1.6.1. Corriente que soporta un ser humano

Se toma en cuenta que el t_f es de 0,5 [s] que es el tiempo de contacto para la corriente que puede soportar un ser humano especificado por la protección del transformador en el lado de baja tensión.

El valor de K se toma equivalente a 0,116 que es la constante para una persona tiene una masa 50 [kg] debido a que esta cubre una variedad amplia de masas de seres humanos.

El valor de K se toma equivalente a 0,157 que es la constante para una persona tiene una masa 70 [kg] debido a que esta cubre una variedad amplia de masas de seres humanos.

$$I_B = \frac{K}{\sqrt{t_f}} [A] \quad (17)$$

Por lo tanto:

$$I_{B50} = 0,164 [A]$$

$$I_{B70} = 0,222 [A]$$

5.1.6.2. Tensiones de paso

La resistencia de un ser humano para este cálculo se define en 1000 [Ω].

$$V_{paso} = I_B(R_B + 6\rho) [v] \quad (18)$$

Por lo tanto:

$$V_{paso50} = 173,84[v]$$

$$V_{paso70} = 253,32[v]$$

5.1.6.3. Tensiones de toque

La resistencia de un ser humano para este cálculo se define en 1000 [Ω].

$$V_{toque} = I_B(R_B + 1,5\rho) [v] \quad (19)$$

Por lo tanto:

$$V_{toque50} = 166,46 [v]$$

$$V_{toque70} = 255,33 [v]$$

5.1.7. Criterios de Voltajes de malla

5.1.7.1. Tensiones de paso

El valor de Cs es el factor de decremento evaluado en 0,87 y la resistividad de la capa de grava que cubrirá el SPAT tiene un valor de 3000 [Ω *m].

$$V_{paso} = I_B(R_B + 6C_S * \rho_s) [v] \quad (20)$$

Por lo tanto:

$$V_{paso50} = 2733,05[v]$$

$$V_{paso70} = 3699,05[v]$$

5.1.7.2. Tensiones de toque

La resistencia de un ser humano para este cálculo se define en 1000 [Ω].

$$V_{toque} = I_B(R_B + 1,5C_S * \rho_s) [v] \quad (21)$$

Por lo tanto:

$$V_{toque50} = 806,3 [v]$$

$$V_{toque70} = 1091,28[v]$$

5.1.8. Cálculo de voltajes de malla

Para poder comprobar la eficacia del diseño de la malla se debe comprobar que los voltajes V_m y V_s estén dentro de los parámetros para lo cual debemos calcular las tensiones de paso y de toque.

Para el cálculo de los voltajes de malla se emplea las siguientes ecuaciones y coeficientes basándonos en ciertos criterios.

Coefficientes:

$$k_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad (22)$$

$$n = n_a * n_b * n_c * n_d \quad (23)$$

Se aplica criterio

$k_{ii} = 1$ cuando tiene varillas en las esquinas o perímetro

$k_{ii} = \frac{1}{(2*n)^{\frac{2}{n}}}$ cuando no tiene varillas en las esquinas o perímetro

$$k_m = \frac{1}{2 * \pi} \left(\ln \left(\frac{D^2}{16 * h * \phi_c} + \frac{(D + 2 * h)^2}{8 * D * \phi_c} - \frac{h}{4 * \phi_c} \right) + \frac{k_{ii}}{k_h} * \ln \left(\frac{8}{\pi(2 * n - 1)} \right) \right) \quad (24)$$

$$k_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2 * h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right) \quad (25)$$

$$k_i = 0,644 + 0,148 * n \quad (26)$$

$$L_s = 0,75 * L_m + 0,85 * L_R [m] \quad (27)$$

Criterio:

$$L'_m = L_m + \left(1,55 + 1,22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{l_x^2 + l_y^2}} \right) \right) * n_R * L_r \text{ cuando tiene varillas en las esquinas}$$

$$L'_m = L_m + n_R * L_r \text{ cuando no tiene varillas en las esquinas ni perímetro}$$

Una vez calculado estos coeficientes se procede a calcular los voltajes de malla.

Por lo tanto:

$$k_h = 1,34164$$

$$n = 6,5226$$

$$k_{ii} = 1$$

$$k_m = 0,601413$$

$$k_s = 0,680244$$

$$k_i = 1,6093$$

$$L_s = 85,56[m]$$

$$L'_m = 139,034$$

Con los datos anteriores obtenidos

$$V_m = \frac{\rho_T * k_m * k_i * I_f}{L'_m} [V] \quad (28)$$

$$V_s = \frac{\rho_T * k_s * k_i * I_f}{L_s} [V] \quad (29)$$

Por lo tanto:

$$V_m = 405,973[V]$$

$$V_s = 746,188[V]$$

5.2. Diseño de LPS

El sistema de apantallamiento será diseño para el Centro de Salud N.º 1 “Centro Histórico” ubicado en calle Rocafuerte y calle Venezuela en el centro histórico de la ciudad Quito.

La edificación está compuesta por tres pisos en los cuales se distribuyen las distintas áreas que conforman el centro de salud las cuales están destinadas a distintos objetivos específicos dichas áreas se distribuyen en emergencia, consulta externa, administrativa, cuarto de máquinas, etc.

5.2.1. Cálculo de índice de riesgo.

Para poder calcular el índice de riesgo que posee nuestra estructura ante las posibles descargas atmosféricas, se debe realizar un análisis sobre ciertos factores que influyen sobre nuestra estructura.

Cada conjunto de factores determina un coeficiente el cual nos permite analizar este índice de riesgo según el cual se tomará la decisión de implementar o no el sistema de apantallamiento.

5.2.1.1. Coeficiente a

Para determinar el Coeficiente 'a' del factor de riesgo nos basamos en el mapa isoceraunico de la zona donde está ubicada nuestra estructura, por lo cual se determina que es de 70.

5.2.1.2. Coeficiente b

Para determinar el Coeficiente 'b' del factor de riesgo nos basamos en el tipo de material, el tipo de cubierta y la altura de nuestra estructura, por lo cual se determina que es de 5.

5.2.1.3. Coeficiente c

Para determinar el Coeficiente 'c' del factor de riesgo nos basamos en las condiciones topográficas del terreno, la vegetación y edificaciones alrededor de nuestra estructura y el tipo las edificaciones, por lo cual se determina que es de 9.

Una vez determinados estos coeficientes se puede determinar el índice de riesgo de nuestra estructura.

$$\text{Índice de riesgo} = a + b + c \quad (30)$$

Por lo tanto:

$$\text{Índice de riesgo} = 74$$

Según la norma se define que si el índice de riesgo es mayor a 27 se necesita instalar un sistema de apantallamiento.

Para el diseño del sistema de apantallamiento se utilizará el método del cono o del ángulo de protección debido la forma de la edificación.

5.2.2. Cálculo del conductor

Para el cálculo de la sección del conductor que se utilizará para la bajante del sistema de apantallamiento se tomará en cuenta la corriente media de una descarga eléctrica la cual se toma en 150 [kA] y la duración se toma 0,35 [ms].

Por lo tanto:

$$A_{mm^2} = 9,951 [mm^2]$$

Comparando este valor de sección en la **Tabla 6** de conductores se establece que el calibre del cable será un 6 AWG.

5.2.3. Método del cono

Conociendo los datos de la edificación podemos definir las dimensiones de nuestro sistema de apantallamiento y su área de cobertura.

La altura de la edificación es de aproximadamente 14 [m] a partir del nivel del suelo, la distancia del frente de la edificación es de aproximadamente 25 [m] y la distancia de la profundidad de la edificación es de aproximadamente 51[m].

Adicional a esto la altura a la que será ubicada la punta de captación será de 8 [m] a partir del nivel de la terraza debido a la comparación de los datos con la tabla del método del cono.

La altura h para la selección de nuestro nivel de protección es la sumatoria de la altura de la edificación más la altura de la punta de captación.

Para comprobar los valores se los realiza la siguiente ecuación

$$\tan \alpha = \frac{R}{h} \quad (31)$$

Donde:

- h Altura de la punta captadora.
- R Radio de la superficie
- α Ángulo del cono de protección

Por lo tanto:

$$\tan \alpha = \frac{25,5}{22}$$

$$\alpha = 49.21$$

Con los datos obtenidos comprobados con la tabla para poder establecer los valores adecuados para el sistema de apantallamiento.

Tabla 7 Valores existentes en el método del cono.

Altura de la punta	SK I		SK II		SK III		SK IV	
	Ángulo α [°]	Distan. a [m]	Ángulo α [°]	Distan. a [m]	Ángulo α [°]	Distan. a [m]	Ángulo α [°]	Distan. a [m]
1	71	2,90	74	3,49	77	4,33	79	5,14

2	71	5,81	74	6,97	77	8,66	79	10,29
3	66	6,74	71	8,71	74	10,46	76	12,03
4	62	7,52	68	9,90	72	12,31	74	13,95
5	59	8,32	65	10,72	70	13,74	72	15,39
6	56	8,90	62	11,28	68	14,85	71	17,43
7	53	9,29	60	12,12	66	15,72	69	18,24
8	50	9,53	58	12,80	64	16,40	68	19,80
9	48	10,00	56	13,34	62	16,93	66	20,21
10	45	10,00	54	13,76	61	18,04	65	21,45
11	43	10,26	52	14,08	59	18,31	64	22,55
12	40	10,07	50	14,30	58	19,20	62	22,57
13	38	10,16	49	14,95	57	20,02	61	23,45
14	36	10,17	47	15,01	55	19,99	60	24,25
15	34	10,12	45	15,00	54	20,65	59	24,96
16	32	10,00	44	15,45	53	21,23	58	25,61
17	30	9,81	42	15,31	51	20,99	57	26,18
18	27	9,17	40	15,10	50	21,45	56	26,69
19	25	8,86	39	15,39	49	21,86	55	27,13
20	23	8,49	37	15,07	48	22,21	54	27,53
21			36	15,26	47	22,52	53	27,87
22			35	15,40	46	22,78	52	28,16
23			36	16,71	47	24,66	53	30,52
24			32	15,00	44	23,18	50	28,60
25			30	14,43	43	23,31	49	28,76
26			29	14,41	41	22,60	49	29,91
27			27	13,76	40	22,66	48	29,99
28			26	13,66	39	22,67	47	30,03
29			25	13,52	38	22,66	46	30,03
30			23	12,73	37	22,61	45	30,0
31					36	22,52	44	29,94
32					35	22,41	44	30,90
33					35	23,11	43	30,77
34					34	22,93	42	30,61
35					33	22,73	41	30,43
36					32	22,50	40	30,21
37					31	22,23	40	31,05
38					30	21,94	39	30,77
39					29	21,61	38	30,47
40					28	21,27	37	30,14
41					27	20,89	37	30,90
41					26	20,48	36	30,51
43					25	20,05	35	30,11
44					24	19,59	35	30,81
45					23	19,10	34	30,35
46							33	29,87
47							32	29,37
48							32	29,99
48							31	29,44
50							30	28,87
51							30	29,44
52							29	28,82
53							28	28,18
54							27	27,51
55							27	28,02
57							26	27,31
57							25	26,58
58							25	27,05
59							24	26,27
60							23	25,47

Nota: Fuente: [18]

5.2.4. Puesta a tierra del LPS

La puesta a tierra para el sistema de apantallamiento es muy importante el estándar estable que la protección se puede lograr con una conexión a tierra de 10 ohmios o menos.

Se pueden utilizar tres tipos de arreglos, Tipo A, Tipo B y Tipo B especial.

Para este LPS en particular se utilizará el arreglo Tipo B el cual define la longitud que deben poseer los electrodos ha emplearse dependiendo de la resistividad del terreno en el caso de usar un electrodo tipo anillo el porcentaje ha considerar que esta en contacto con el suelo no debe ser menor al 80 % de su longitud.

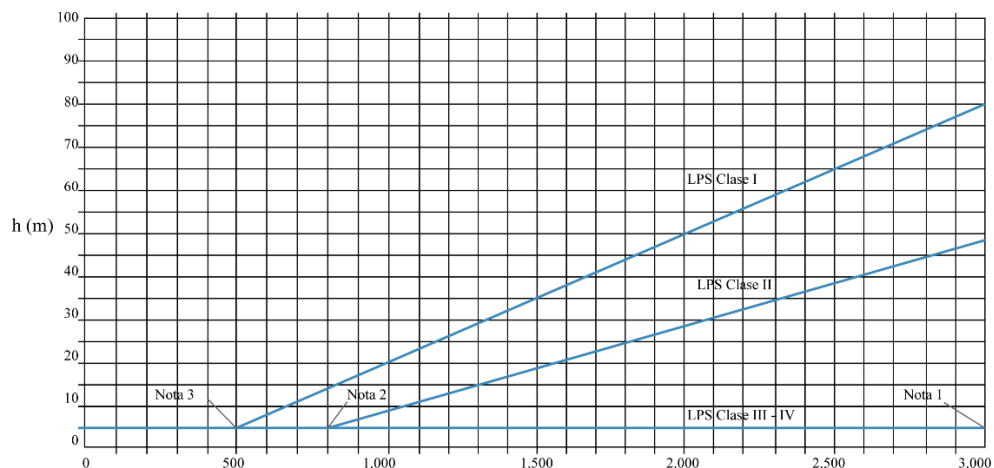


Figura 30 Longitud Mínima del electrodo de tierra

Nota: Fuente: [12].

Basado en como se especificada en figura la longitud del electrodo debe ser de 5 [m] debido a que la resistividad del suelo es menor a 500 [ohmios metros], para lograr esta longitud se enterraran 2 varillas de cobre de 2,4 [m] al final de la bajante con una profundidad de 0,5 [m] como se indica en la norma.

5.3. Dimensionamiento estructural de CT

El dimensionamiento de la cámara de transformación será realizado para el Centro de Salud N.º 1 “Centro Histórico” ubicado en calle Rocafuerte y calle Venezuela en el centro histórico de la ciudad Quito.

Existe un área abierta de aproximadamente 5 metros de largo y 5 metros de ancho donde está ubicado los parqueaderos, dicha área es la más adecuada para poder dimensionar la cámara de transformación. Las medidas de la edificación se pueden hallar en los distintos planos civiles.

La edificación cuenta con la instalación de un transformador trifásico con una potencia de 100 [kVA]. Según la norma de la Empresa Eléctrica Quito toda cámara de transformación que no supere los 350 [kVA] de potencia del transformador con un voltaje primario no mayor a los 22.860 [V] y con un voltaje secundario no mayor a los 600 [V] tiene establecida una mediada estándar con ciertos parámetros que podemos dimensionar.

Para el presente estudio el diseño de la cámara de transformación queda dimensionado de la siguiente forma:

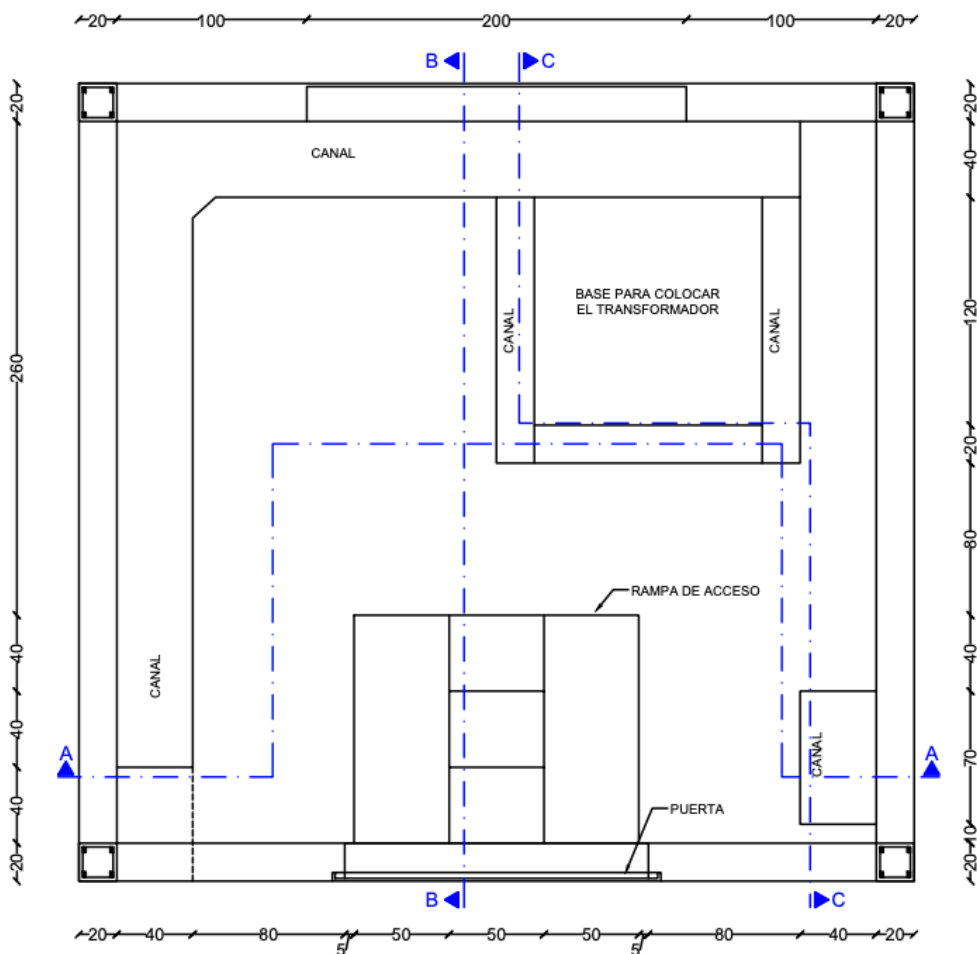


Figura 31 Planta de la CT.

Nota: Unidad de medida: [mm], Escala: 1:1000, Nivel: Piso, Fuente: Autor.

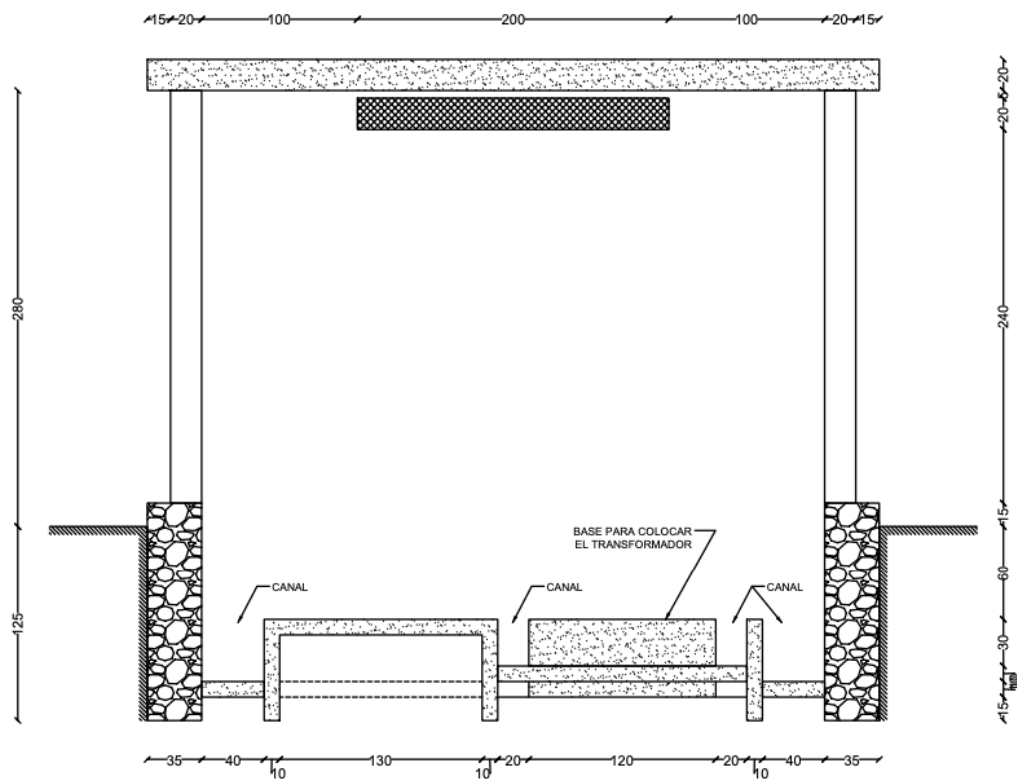


Figura 32 Seccion A-A de la CT

Nota: Unidad de medida: [mm], Escala: 1:1000, Nivel: Piso, Fuente: Autor.

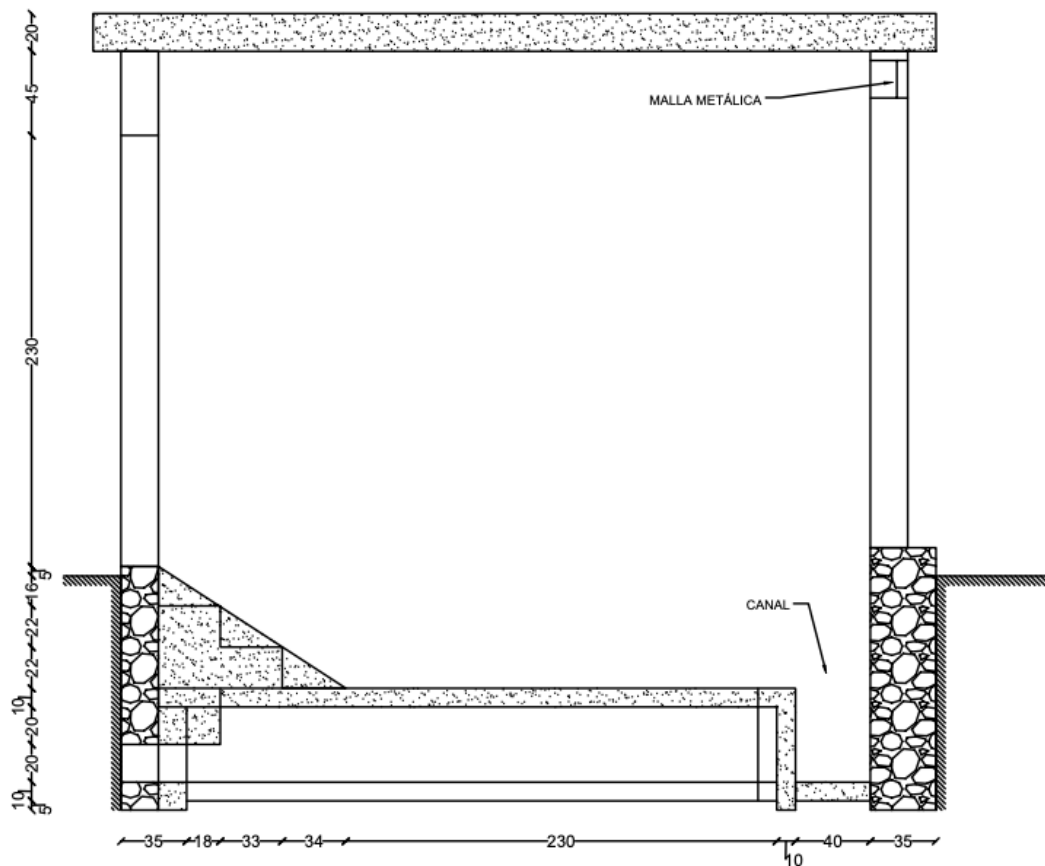


Figura 33 Seccion B-B de la CT

Nota: Unidad de medida: [mm], Escala: 1:1000, Nivel: Piso, Fuente: Autor.

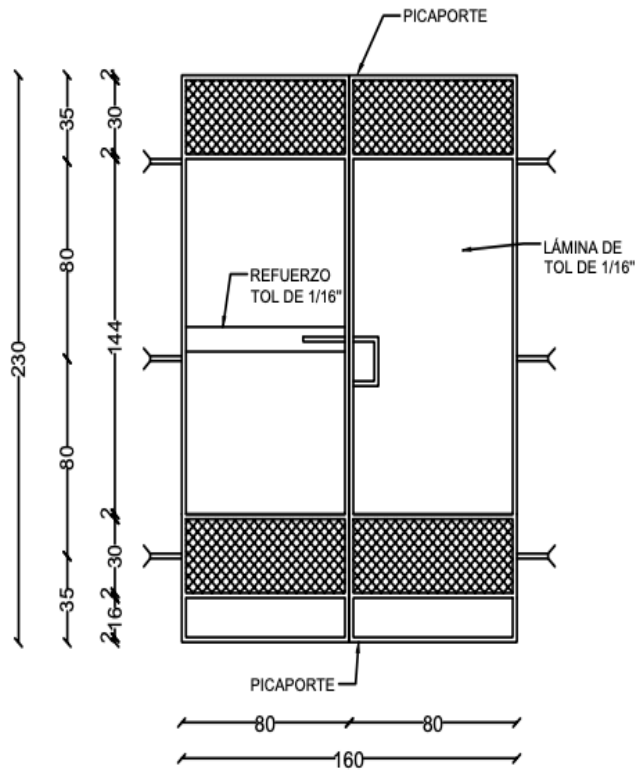


Figura 34 Puerta de la CT

Nota: Unidad de medida: [mm], Escala: 1:1000, Nivel: Piso, Fuente: Autor.

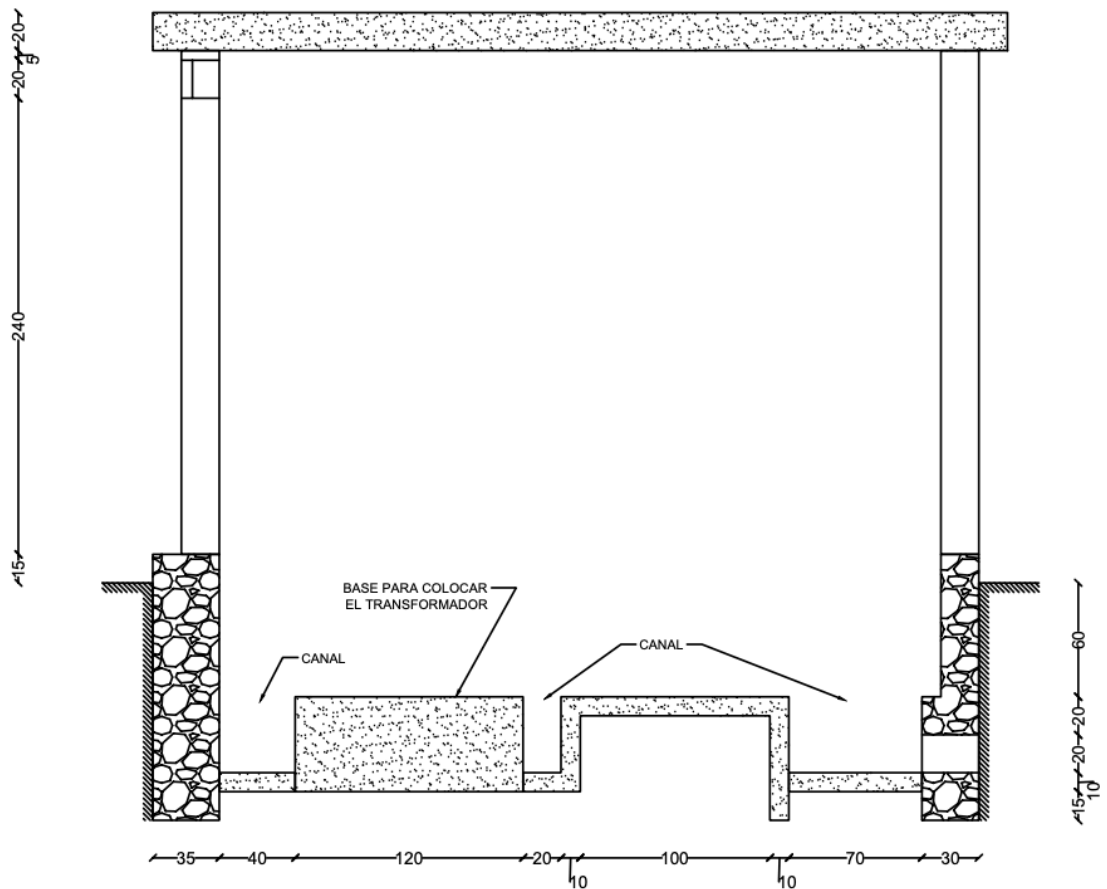


Figura 35 Sección C-C de la CT

Nota: Unidad de medida: [mm], Escala: 1:1000, Nivel: Piso, Fuente: Autor.

6. ANÁLISIS

Una vez adquiridos los datos de los distintos sistemas que se han diseñado se procede a realizar un análisis de los mismos con el fin de comprobar la calidad de los diseños.

6.1. Análisis del SPAT

Con los datos sobre nuestro sistema de puesta a tierra podemos analizar algunos parámetros que debe cumplir el SPAT par que este sé aceptable.

Tabla 8 Datos del SPAT

Denominación	Descripción	Valor
A [mm ²]	Sección del conductor	14,6231
Rs [Ω]	Resistencia del sistema	0,597047
Vp50 [V]	Tensión de paso	2733,05
Vp70 [V]	Tensión de paso	3699,05
Vt50 [V]	Tensión de toque	806,30
Vt70 [V]	Tensión de toque	1091,28
Vm [V]	Voltaje de malla	405,973
Vs [V]	Voltaje de malla	746,188

Nota: Fuente: Autor.

6.1.1. Resistividad del terreno

Debido a que no se puede realizar un trabajo de medición de la resistividad del suelo sin la previa autorización del ministerio de salud se procedió hacer una estimación de la resistividad del suelo basándonos en previos estudios realizados en los alrededores de la zona del centro histórico los cuales han determinado que el suelo que se encuentra en el centro histórico es un terreno donde se mezclan un suelo de arcillas, suelo de limo y suelo duro conocido como cangahua los mismos que están compactados en ciertas zonas.

Con estos datos en particular y para el estudio según la **Tabla 4** de la resistividad promedio según el tipo de suelo se decidió establecer la resistividad del suelo entre 100 [Ω*m] y 200 [Ω*m]. Para este caso en particular se realizará una adecuación del suelo haciendo que la resistividad existente disminuya a 10 [Ω*m] mediante el uso de tierra negra y geles que ayuden al suelo a tener la resistividad adecuada para el SPAT con el fin de mejorar la resistencia de la malla a tierra. Dichos geles contienen carbón mineral, carbón vegetal, sulfato de cobre y cemento portland.

6.1.2. Calibre del conductor

La sección calculada de nuestro conductor es de 14,62 [mm²] al comparar con la **Tabla 6** de calibres recomendados el valor más próximo es el correspondiente al cable 4 AWG cumple con lo que se estipula en la norma, para este diseño en particular se utilizara un conductor calibre 4 AWG.

Los conductores se unirán mediante soldadura exotérmica para un mejor acabado y un mejor funcionamiento de la malla a tierra.

6.1.3. Resistencia de la malla

La resistencia del sistema de puesta a tierra es de 0,597047 que es el valor que se logró conseguir para el área disponible, para poder obtener este valor se hizo los siguientes arreglos una malla de 8 [m] de largo y 4 [m] de ancho con un espaciamiento entre conductores de 1 [m] a una profundidad de 0,8 [m] con un conductor de calibre 4 AWG, se utilizó un total de 14 electrodos los cuales tiene una longitud de 2,4 [m] y adicional a esto se utilizara una capa de grava de 0,3 [m].

Con lo cual se puede compensar la falta de espacio para la instalación de la malla de puesta a tierra. Se toma como parámetro 5 [Ω] para el diseño.

$$R_S \leq R_T$$

Este parámetro se cumple, pero para mejorar la resistencia del sistema de puesta a tierra se realizarán adecuaciones al suelo agregando tierra negra junto con geles para mejorar la resistividad del suelo.

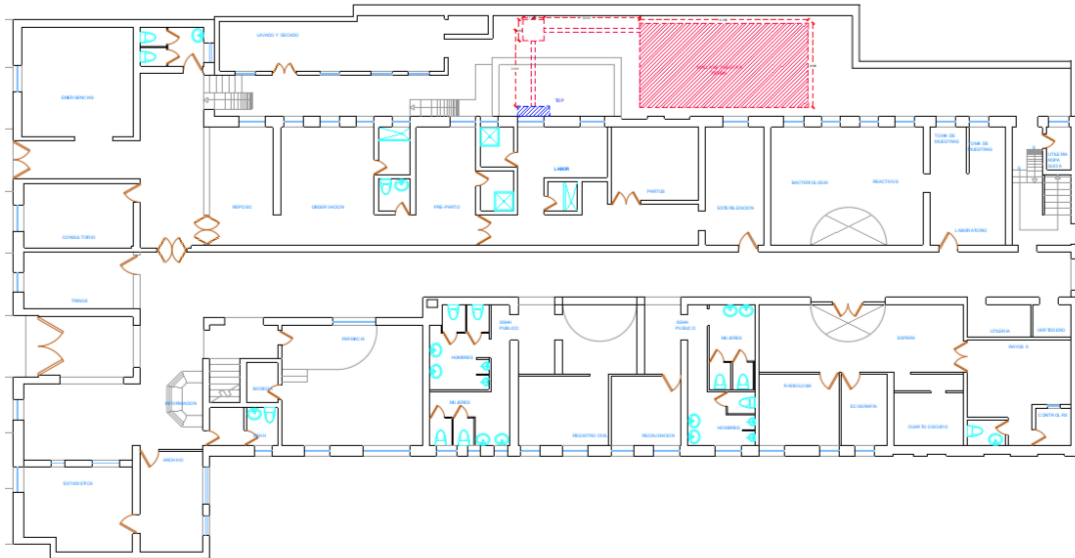


Figura 36 Área de la ubicación del SPAT
Nota: Unidad de medida: [m], Escala: 1:1000, Fuente: Autor.

6.1.3.1. Tensiones límite

Los valores de tensión de paso y tensión de toque para las masas de 50 [kg] y 70 [kg] son de 2733,05 [V], 3699,05 [V] y 806,3 [V], 1091,28 [V] respectivamente se deben comparar con las tensiones de malla V_s y V_m , los cuales son 746,188 [V] y 405,973 [V] respectivamente.

$$V_s \leq V_p$$

$$V_m \leq V_T$$

El voltaje de malla ‘s’ debe ser menor a los voltajes de paso por lo cual según los datos calculados se cumple el parámetro.

El voltaje de malla ‘m’ debe ser menor a los voltajes de toque por lo cual según los datos calculados se cumple el parámetro.

Con estos podemos decir que el sistema de puesta a tierra está correctamente diseñado adicional a esto se realizó una simulación en el software GYMGrd donde se constató los valores de los distintos parámetros según la norma IEEE 80, mediante los cuales podemos concluir que para reducir los voltajes tolerables por una persona debemos disminuir la resistividad del suelo y aumentar una capa de grava.

6.2. Análisis del LPS

Con los datos sobre nuestro sistema de apantallamiento podemos analizar algunos parámetros que debe cumplir el LPS para que este se aceptable.

Tabla 9 Datos del LPS

Denominación	Descripción	Valor
A [mm ²]	Sección del conductor	9,95
H [m]	Altura de la punta de captación	22
R [m]	Radio de la superficie	25,5
A [m]	Ángulo del cono	49,21

Nota: Fuente: Autor.

6.2.1. Calibre del conductor

La sección calculada de nuestro conductor es de 9,95 [mm²] al comparar con la **Tabla 6** de calibres recomendados el valor más próximo es el correspondiente al cable 6 AWG, pero para un mejor desempeño y según las recomendaciones de la norma es mejor utilizar un conductor calibre 4 AWG.

6.2.2. Método del ángulo

Después de haber realizado el cálculo del factor de riesgo se concluyó que es necesario un sistema de apantallamiento para el centro de salud.

Se optó por el diseño de un sistema de apantallamiento con el método del cono o método del ángulo debido a la forma de la edificación que es una figura rectangular la punta captadora será una punta franklin.

Con los datos técnicos de la edificación se puede realizar el cálculo del ángulo de protección y tomando en cuenta que la punta captadora va a estar a una altura de 22 [m] con respecto al suelo y a 8 [m] con respecto a la terraza del centro de salud con lo que brindara una cobertura adecuada para toda la edificación, se procede a comparar con la **Tabla 9**.

Una vez obtenidos los datos comparados con la **Tabla 9** se define que el sistema de apantallamiento tendrá un apantallamiento SK IV con una altura de la punta captadora

de 22 [m], un ángulo de cobertura de 52 grados y una distancia de protección de 28,16 [m] [18].

6.2.3. Puesta a tierra

Para la puesta de tierra del sistema de apantallamiento se utilizará un arreglo Tipo B con el objetivo de proporcionar un camino de descarga en caso de un evento.

La puesta a tierra contará con dos electrodos de cobre de 2,4 [m] conectados a la bajante con enterrados a una profundidad de 0,5 [m].

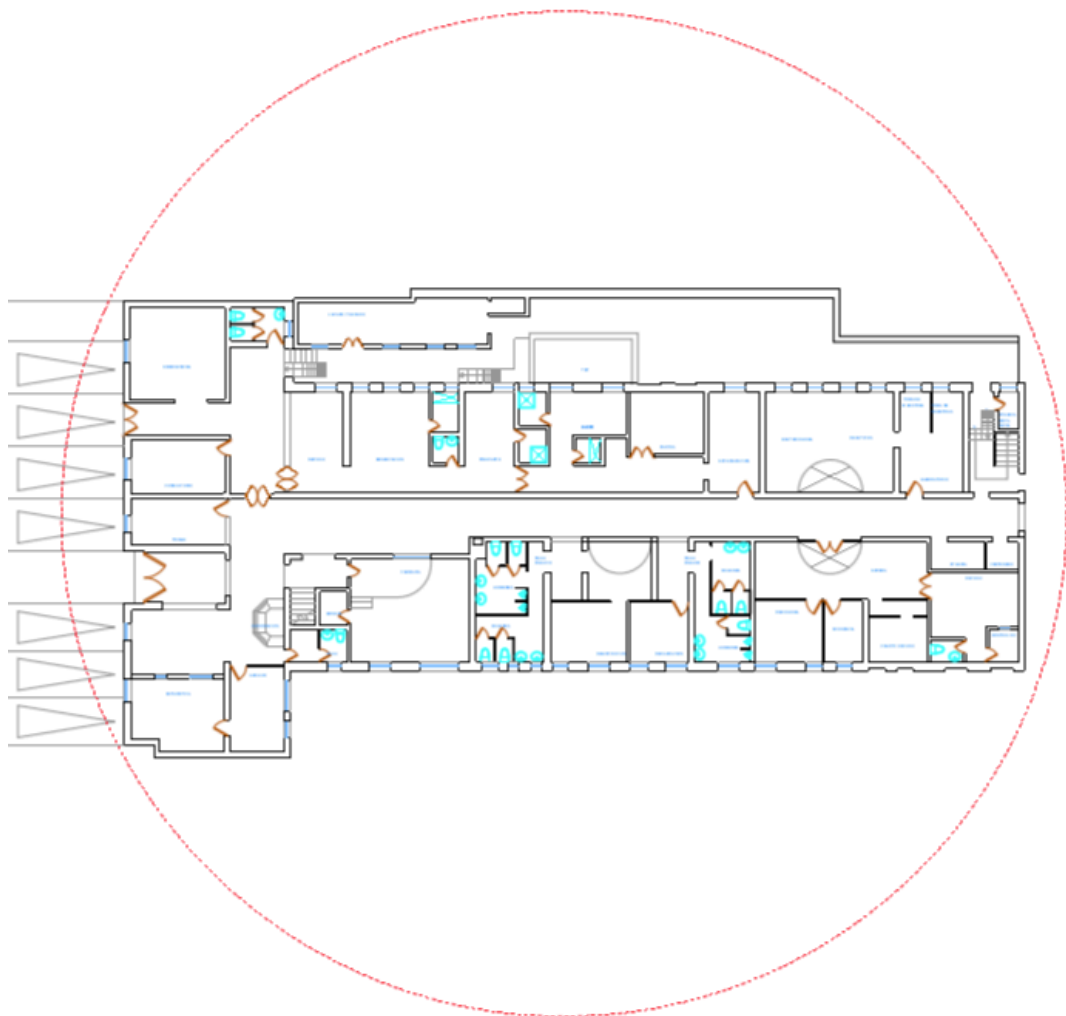


Figura 37 Área de cobertura del LPS
Nota: Unidad de medida: [m], Escala: 1:1000, Fuente: Autor.

El sistema de puesta a tierra principal y la puesta a tierra del apantallamiento irán conectados mantener la equipotencialidad.

6.3. Ubicación de la CT

Para el diseño estructural de la cámara de transformación se considera la reubicación de la misma en el parqueadero ubicado afuera del centro de salud donde la cámara de transformación está dimensionada para el área indicada de 5 [m] de ancho y 5 [m] de largo, dicha cámara de transformación sera subterránea.

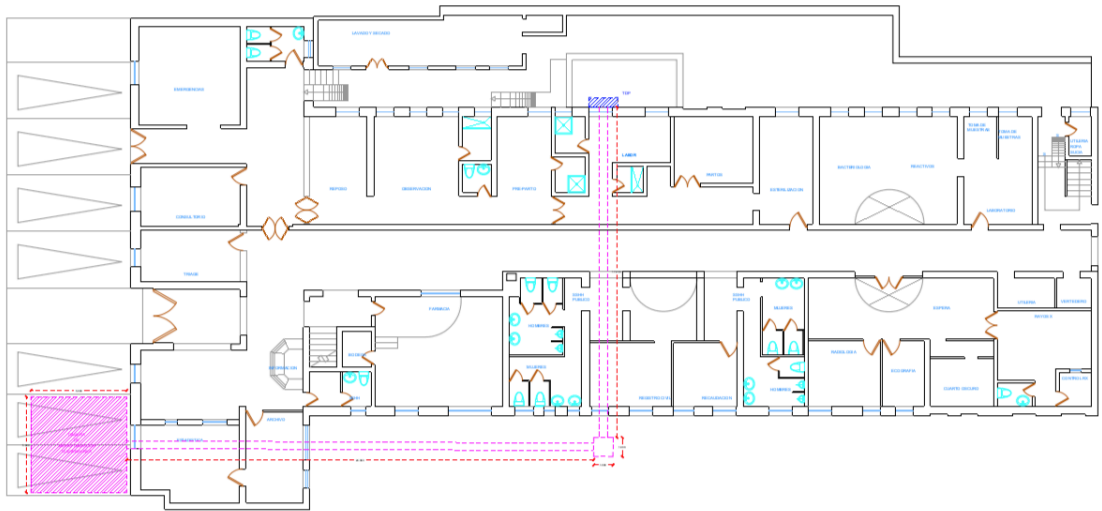


Figura 38 Ubicación de la CT

Nota: Unidad de medida: [m], Escala: 1:1000, Fuente: Autor

7. CONCLUSIONES

Tras la realización y análisis del presente proyecto técnico se llegó a las siguientes conclusiones:

En la inspección técnica se constató el estado actual del sistema eléctrico del centro de salud el cual tiene muchas falencias a nivel técnico, tras la inspección se determinó que se deben hacer correcciones en el sistema eléctrico entre las cuales cabe resaltar que se deben equilibrar la cargas de cada fase y realizar un rediseño de los sistemas de iluminación y fuerza, adicional a esto se sugiere la implementación de los sistemas de puesta a tierra y apantallamiento junto con la reubicación de la cámara de transformación.

Tras estas decisiones se procedió hacer dos estudios separados el primero que se enfoca en el redimensionamiento de los sistemas de iluminación, sistemas de fuerza, análisis de la demanda y calidad de energía; mientras tanto el segundo se enfocó en el diseño de los sistemas de puesta a tierra, sistemas de apantallamiento y la reubicación de la cámara de transformación.

En el periodo de tiempo en el que se conectó el analizador de red FLUKE 435 se evidenció la curva característica de la demanda del centro de salud donde se pudo notar el desequilibrio de las fases y los fallos que se presentaban en el sistema eléctrico en el transcurso del día.

El diseño de los sistemas de puesta a tierra y apantallamiento cumplen los parámetros que establece las normas que se aplicaron para cada uno, en el proceso se encontraron varios inconvenientes los cuales se fueron solventando para poder llegar a un adecuado diseño de los sistemas de apantallamiento y puesta a tierra.

Cabe recalcar la importancia de realizar los estudios de medición de la resistividad del suelo y los factores que afectan a mismo, más esto no es un impedimento para realizar estimaciones debido a varios estudios previos que se han realizado en los distintos tipos de suelos existentes.

El principal inconveniente que se suscitó en el diseño del SPAT fue la falta de la medición de la resistividad del suelo donde ira ubicada la malla, este inconveniente se solventó tomando la decisión de adecuar el suelo mediante el uso de tierra negra y geles, con el fin de obtener un valor de resistividad bajo.

El dimensionar de manera adecuada el sistema de puesta tierra influye en la seguridad que se brinda al sistema eléctrico, los factores que se notó que influyen directamente en un mejor sistema son: a mayor área de la malla menor son los valores de resistencia del sistema junto con una baja resistividad aseguran el adecuado funcionamiento del SPAT.

Para los sistemas de apantallamiento es importante los estudios topográficos de la zona, las condiciones atmosféricas, condiciones estructurales y condiciones urbanas, también es importante elegir un adecuado tipo de apantallamiento debido a que cada uno tiene sus pros y contras, el método de diseño del sistema de apantallamiento especialmente un punto a tomar en cuenta, debido a que este dependerá de la forma estructural de nuestra edificación la cual puede ser simple o compuesta. Es relevante dimensionar de una manera correcta el sistema de apantallamiento, debido a que este debe cumplir los parámetros técnicos adecuados para poder captar y disipar una descarga atmosférica que pueda afectar la integridad de nuestro sistema eléctrico y del personal del centro de salud.

En lo que compete al nivel de protección se tomaron a consideración la mayoría de factores que intervienen al momento de realizar los cálculos y el diseño, basados en las normas IEEE 80 2013, IEC 62305 y la norma de la EEQ; con el fin de que los sistemas protejan a los usuarios y equipos.

Al culminar el desarrollo de la presente tesis en función a los datos obtenidos se pudo verificar varios aspectos teóricos y prácticos de los sistemas de apantallamiento y sistema de puesta a tierra destacando la importancia que estos sistemas tienen al momento de brindar seguridad a los seres vivos y a los equipos.

Se debe implementar los sistemas de apantallamiento y en especial el sistema de puesta a tierra debido a los problemas que se han presentado en el transcurso de los años y de esta manera minimizar las fallas.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar mantenimientos preventivos y correctivos de manera adecuada respetando los tiempos para evitar que el sistema eléctrico del centro de salud no se deteriore.

En el aspecto estructural el centro de salud debe dar los permisos adecuados poder hacer los estudios a mas profundidad y tener mejores resultados al momento de diseñar los distintos sistemas eléctricos.

Se debe implementar los sistemas de apantallamiento y en especial el sistema de puesta a tierra debido a los problemas que se han presentado en el transcurso de los años y de esta manera minimizar las fallas.

Adicional a esto el sistema eléctrico debe tener una mejor distribución de carga y un mejor distribución de cargas para cada fase del transformador conforme a la demanda del centro de salud.

Las futuras remodelaciones deben tomar en cuenta muchos otros factores que afectan al centro de salud. Para futuros estudios es necesario hacer estudios estructurales donde se puede realiza un rediseño del sistema eléctrico del centro de salud.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Diseño de los sistemas de puesta a tierra para protección de equipos eléctricos instalados y de protección contra descargas atmosféricas para las instalaciones de la empresa Royal Master Group.*, 2021.
- [2] *Implementación de un sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional para una empresa de servicios en mantenimientos eléctricos en la ciudad de Guayaquil*, 2017.
- [3] F. H. Robledo, *Riesgos eléctricos y mecánicos*, ECOE EDICIONES, 2008.
- [4] M. Villarubia, *Seguridad Eléctrica: efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano.*
- [5] *Mapa Isocerámico georreferenciado para la coordinación de protecciones frente a descargas atmosféricas.*, 2020.
- [6] J. P. Restrepo, «Seguros Sura,» [En línea]. Available: <https://segurossura.com/blog/revista-geociencias-sura/descargas-electricas-atmosfericas/>.
- [7] *Diseño del sistema de puesta a tierra y pararrayos para el edificio “Bloque de aulas A y B” de la Escuela Politécnica del Ejército*, 2006.
- [8] *Análisis de modelos de sistemas de puesta a tierra para diferentes electrodos y condiciones de suelos.*, 2019.
- [9] IEEE, *IEEE 81-2012 Guide for Measuring Earth Resistivity, Grounding Impedance, and Earth Surface potentials of a Grounding System.*, 2012.
- [10] IEEE, *IEEE 80-2013 Guide for Safety in AC Substation Grounding.*, 2013.
- [11] *Descripción y funcionamiento de una cámara de transformación.*
- [12] IEC, *EC 62305-2011 Protección Contra el Rayo Partes 1, 2, 3 y 4.*, 2011.
- [13] *Análisis comparativo de voltajes de paso y toque en mallas circulares y rectangulares mediante la implementación de un tanque electrolítico*, 2018.
- [14] Empresa Eléctrica Quito, *Normas para Sistemas de Distribución EEQ Partes A, B y C.*, 2014.
- [15] *Caracterización geotécnica del centro norte de Quito relacionada con el uso y ocupación del suelo por obras civiles*, 2018.
- [16] *Resistencia de la cangahua en función de su composición mineralógica y contenido de humedad en dos sectores de Quito: sur y norte.*, 2012.
- [17] *Tierra Soporte de la Seguridad Eléctrica, Seguridad*, 2011.
- [18] «Producciones Rek, Diagramas y Electrónica: Calibres AWG de Cables.» [En línea]. Available: <http://prdiagramasyelectronica.blogspot.com/2012/02/calibres-awg-de-cables.html>.
- [19] D. Söhne, *Manual de Protección contra rayos.*, 2007.
- [20] *Diseño de los sistemas de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas para el complejo agroecológico de investigación y desarrollo productivo San José de Ayora, cantón Cayambe*, 2021.

10. ANEXOS



Anexo 1 Analizador de red FLUKE 435

Nota: Fuente: Autor

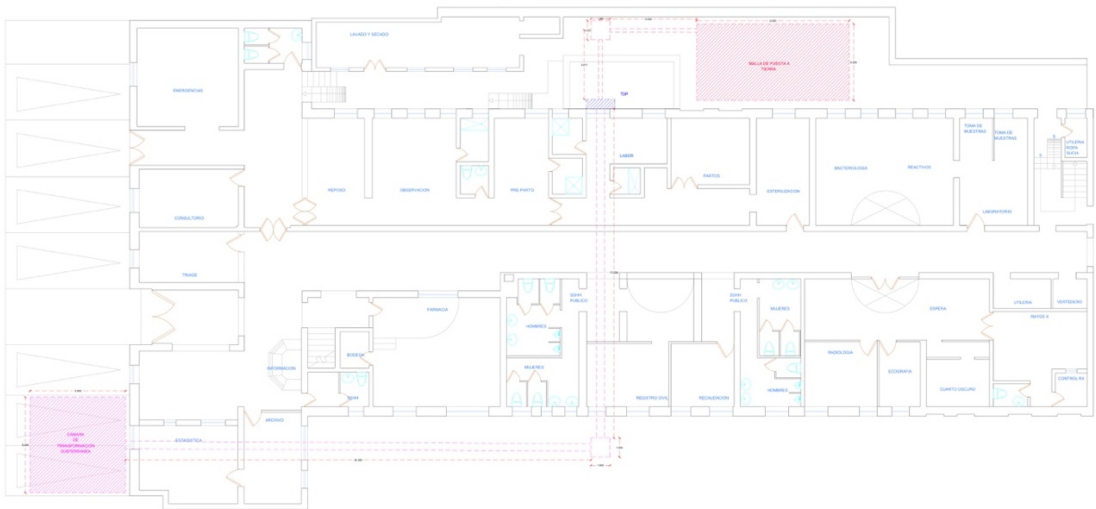


Anexo 2 Tranformador 75 kVA

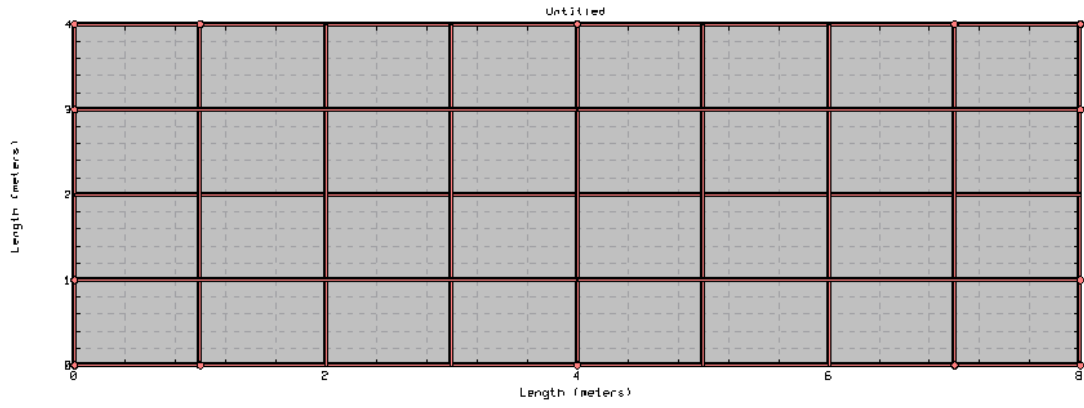
Nota: Fuente: Autor



Anexo 3 Tranformador 100 kVA.
Nota: Fuente: Autor

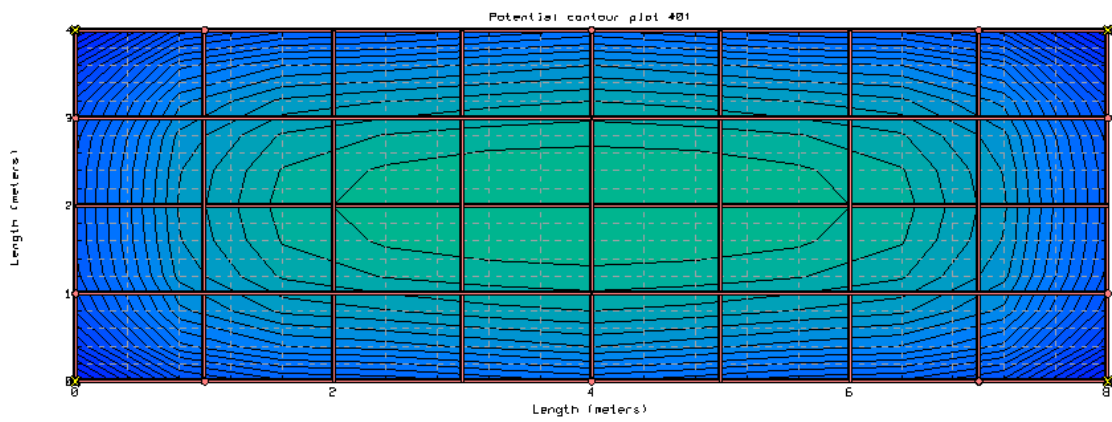


Anexo 4 Planos los circuitos a implementarse.
Nota: Fuente: Autor.



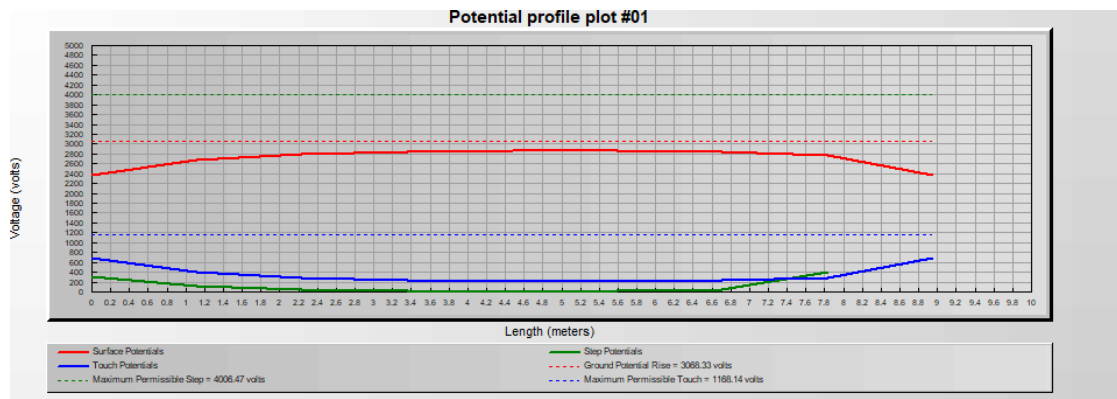
Anexo 5 Malla simulada GYMGrd.

Nota: Fuente: Autor.



Anexo 6 Dispersión malla Simulada GYMGrd.

Nota: Fuente: Autor.



Anexo 7 Voltajes malla Simulada GYMGrd.

Nota: Fuente: Autor.