



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

## **TESIS**

**Para Obtener el Título Profesional de:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Análisis y modelamiento del sistema de pat de las  
instalaciones eléctricas del Hospital las Lomas-Piura  
usando el software etap”**

**Presentado por:**

**Bach. Franklin Rosselli Davila Quispe**

**Asesor:**

**M.Sc. Ing. Carlos Yupanqui Rodríguez**

**LAMBAYEQUE**

**2026**



# **UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”**



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

## **TESIS**

**Para Obtener el Título Profesional de:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**“Análisis y modelamiento del sistema de pat de las  
instalaciones eléctricas del Hospital las Lomas-Piura  
usando el software etap”**

**Presentado por:**

**Bach. Franklin Rosselli Davila Quispe**

**Jurado examinador:**

**PRESIDENTE:** M.Sc. Lic. Egberto Serafin Gutiérrez Atoche.

**SECRETARIO:** M.Sc. Ing. Carlos Javier Cotrina Saavedra.

**MIEMBRO:** M.Sc. Ing. Héctor Antonio Oliden Núñez.

**ASESOR:** M.Sc. Ing. Carlos Yupanqui Rodríguez.



# UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**

## **TESIS DE INGENIERÍA**

### **TÍTULO**

“ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE PAT  
DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL  
HOSPITAL LAS LOMAS-PIURA USANDO EL  
SOFTWARE ETAP”.

### **CONTENIDOS**

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACION  
CAPITULO II: DISEÑO TEÓRICO  
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO  
CAPITULO IV: RESULTADOS  
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

**Bach. FRANKLIN ROSSELLI DAVILA QUISPE**

---

M.Sc. Lic. Gutiérrez Atoche Egberto Serafin  
Javier

PRESIDENTE

---

M.Sc. Ing. Cotrina Saavedra Carlos

SECRETARIO

---

M.Sc. Ing. Oliden Núñez Héctor Antonio

MIEMBRO

---

M.Sc. Ing. Yupanqui Rodríguez Carlos

ASESOR



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**  
**DECANATO**



**ACTA DE SUSTENTACION N°0169-2026-FIME**



En la ciudad de Lambayeque, siendo las 12:00 m. del día viernes 26 de junio 2026. Se reunieron los miembros del jurado, designados mediante Resolución N°115-2026-D-FIME-UNPRG, de fecha 24 de junio 2026, con la finalidad de Evaluar y Calificar la sustentación de la Tesis, conformado por los siguientes catedráticos:

- |                                               |            |
|-----------------------------------------------|------------|
| ▪ M.Sc. Lic. EGBERTO SERAFIN GUTIÉRREZ ATOCHE | PRESIDENTE |
| ▪ M.Sc. Ing. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA   | SECRETARIO |
| ▪ M.Sc. Ing. HÉCTOR ANTONIO OLIDEN NÚÑEZ      | MIEMBRO    |
| ▪ M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ        | ASESOR     |

Se recibió la Tesis titulada:

***“ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE PAT DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL HOSPITAL LAS LOMAS – PIURA, USANDO EL SOFTWARE ETAP”.***

Presentada y sustentada por su autor, Bachiller: **DAVILA QUISPE FRANKLIN ROSSELLI.**

Finalizada la sustentación de la Tesis, el sustentante respondió las preguntas y observaciones de los miembros del jurado examinador, quienes procedieron a deliberar y acordaron otorgar el calificativo de **APROBADO**, Nota ( 16 ) en la escala vigesimal, mención Buena. Quedando el sustentante apto para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente, de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:30 p.m. del mismo día se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta el jurado respectivo:

M.Sc. Lic. EGBERTO SERAFIN GUTIÉRREZ ATOCHE  
PRESIDENTE

M.Sc. Ing. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA  
SECRETARIO

M.Sc. Ing. HÉCTOR ANTONIO OLIDEN NÚÑEZ  
MIEMBRO

M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ  
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Dr. Ing. AMADO AGUINAGA PAZ  
Decano

ANEXO 01

**CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD**

Yo, **M.Sc. Ing. Carlos Yupanqui Rodríguez**, usuario revisor del documento titulado:  
**“ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE PAT DE LAS INSTALACIONES  
ELÉCTRICAS DEL HOSPITAL LAS LOMAS-PIURA USANDO EL SOFTWARE ETAP”**.

Cuyo autor es, **FRANKLIN ROSSELLI DAVILA QUISPE**, identificado con documento de  
identidad **N° 48096560** declaro que la evaluación realizada por el Programa  
informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de **18%**, verificable en el Resumen  
de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas  
dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento  
cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias  
establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del  
proceso.

Lambayeque 14 de julio del 2026



.....  
**M.SC. ING. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ**

**DNI: 18006325**

**ASESOR**

Se adjunta:

\*Resumen del Reporte automático de similitudes

\*Recibo Digital

# ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE PAT DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL HOSPITAL LAS LOMAS-PIURA USANDO EL SOFTWARE ETAP

## INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

qdoc.tips

Fuente de Internet

  
Carlos Yupanqui Rodriguez  
Ingeniero Mecánico-Electricista  
Registro CIP. 56992

1%

2

bdigital.unal.edu.co

Fuente de Internet

1%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.espe.edu.ec

Fuente de Internet

1%

5

dspace.ups.edu.ec

Fuente de Internet

1%

6

Villanueva Cornejo, Marcos Jose. "Análisis del comportamiento del estiércol de camélidos sudamericanos domésticos en el tratamiento de los pozos de puesta a tierra en zonas altoandinas", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru)

Publicación

1%



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Franklin Rosselli Davila Quispe  
Título del ejercicio: Quick Submit  
Título de la entrega: ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE PAT DE LAS INST...  
Nombre del archivo: TESIS\_FINAL\_2026\_-\_FRANKLIN\_DAVILA\_QUISPE\_-FINAL\_2.docx  
Tamaño del archivo: 5.04M  
Total páginas: 62  
Total de palabras: 12,641  
Total de caracteres: 70,674  
Fecha de entrega: 11-jun-2026 05:46p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2981394241



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**"PEDRO RUIZ GALLO"**  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

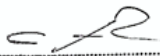


**TESIS**  
Para Obtener el Título Profesional de:  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**"ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DEL SISTEMA  
DE PAT DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS  
DEL HOSPITAL LAS LOMAS-PIURA USANDO  
EL SOFTWARE ETAP"**

Presentado por:  
**Bach. FRANKLIN ROSSELLI DAVILA QUISPE**

Asesor:  
**M.Sc. Ing. CARLOS YUPANQUI RODRIGUEZ**

  
**Carlos Yupanqui Rodriguez**  
**Ingeniero Mecánico Electricista**  
**Registro Cip. 56992**

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, el presente trabajo es ofrecido a Dios, quien me ha concedido la vida y la oportunidad de alcanzar esta etapa significativa en mi formación profesional. Asimismo, se reconoce a mi familia por su apoyo constante e incondicional, así como por acompañarme tanto en los momentos favorables como en los más desafiantes.

Finalmente, se expresa un sincero agradecimiento a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron al desarrollo y culminación de este proyecto.

## **AGRADECIMIENTO**

La culminación de este trabajo no habría sido posible sin expresar un sincero agradecimiento a las personas, amigos y familiares que aportaron de diversas maneras a su desarrollo. De forma especial, extendo mi reconocimiento a mis docentes, compañeros y al personal administrativo de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, quienes brindaron las facilidades y herramientas necesarias para concluir satisfactoriamente mi formación profesional. Del mismo modo, agradezco profundamente el apoyo constante e incondicional de mi familia, en particular de mis padres.

## ÍNDICE

### Contenido

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| AGRADECIMIENTO .....                                           | 2  |
| ÍNDICE .....                                                   | 3  |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                                         | 6  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                        | 7  |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....                                         | 8  |
| RESUMEN .....                                                  | 9  |
| ABSTRACT .....                                                 | 11 |
| I. PROBLEMA DE INVESTIGACION .....                             | 13 |
| 1.1. Realidad problemática .....                               | 13 |
| 1.2. Formulación del problema de investigación .....           | 16 |
| 1.2.1. Problema General .....                                  | 16 |
| 1.2.2. Problemas Específicos .....                             | 16 |
| 1.3. Hipótesis .....                                           | 17 |
| 1.3.1. Hipótesis General .....                                 | 17 |
| 1.3.2. Hipótesis Específicas .....                             | 17 |
| 1.4. Objetivos .....                                           | 18 |
| 1.4.1. Objetivo General .....                                  | 18 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos .....                             | 18 |
| I. DISEÑO TEÓRICO .....                                        | 19 |
| 2.1. Antecedentes .....                                        | 19 |
| 2.1.1. Antecedentes Internacionales .....                      | 19 |
| 2.1.2. Antecedentes Nacionales .....                           | 21 |
| 2.2. Bases Teóricas .....                                      | 24 |
| 2.2.1. Sistemas de puestas a tierra .....                      | 24 |
| 2.2.2. Elementos que conforman la red de puesta a tierra ..... | 25 |
| 2.2.2.1. Los conductores a tierra .....                        | 25 |
| 2.2.2.2. Los electrodos de puesta a tierra .....               | 26 |
| 2.2.2.3. Los elementos de conexión .....                       | 27 |
| 2.2.3. Composición del terreno .....                           | 28 |

|           |                                                                                  |    |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.3.1.  | Estratigrafía.....                                                               | 28 |
| 2.2.3.2.  | Granulometría .....                                                              | 28 |
| 2.2.3.3.  | Estado Higrométrico .....                                                        | 29 |
| 2.2.3.4.  | Temperatura .....                                                                | 29 |
| 2.2.3.5.  | Compactación .....                                                               | 29 |
| 2.2.4.    | Medición de la resistividad del terreno.....                                     | 30 |
| 2.2.5.    | Perfil de Resistividad .....                                                     | 30 |
| 2.2.6.    | Método de wenner o configuración de 4 puntos.....                                | 31 |
| 2.2.7.    | Análisis de la seguridad eléctrica en sistemas de puesta a tierra .....          | 33 |
| 2.2.8.    | Tratamiento del suelo.....                                                       | 34 |
| 2.2.9.    | Tensión de paso .....                                                            | 34 |
| 2.2.10.   | Tensión de contacto o toque .....                                                | 35 |
| 2.2.11.   | Tipos de mallas a tierra .....                                                   | 36 |
| 2.2.11.1. | Malla a tierra tipo convencional .....                                           | 36 |
| 2.2.11.2. | Malla a tierra en anillo .....                                                   | 37 |
| 2.2.11.3. | Malla a tierra en estrella.....                                                  | 37 |
| 2.2.11.4. | Malla a tierra tipo parrilla .....                                               | 37 |
| 2.2.12.   | Criterios para el diseño de mallas de puesta tierra según la norma IEEE Std 8038 |    |
| 2.2.12.1. | Corriente máxima a disipar por la malla (IG).....                                | 38 |
| 2.2.12.2. | Corriente simétrica de falla a tierra (IF) .....                                 | 39 |
| 2.2.12.3. | Parámetro de Decremento de corriente (Df).....                                   | 40 |
| 2.2.12.4. | Factor de incremento Futuro (Cp).....                                            | 40 |
| 2.2.12.5. | Determinación del Factor de Distribución de Corriente (Sf).....                  | 40 |
| 2.2.12.6. | Duración del Evento de Falla (tf) y Tiempo de Contacto Eléctrico .....           | 41 |
| 2.2.12.7. | Geometría de la Malla.....                                                       | 42 |
| 2.2.12.8. | Cálculo del área transversal del Conductor. ....                                 | 43 |
| 2.2.13.   | Código Nacional de Electricidad – Suministro.....                                | 44 |
| 2.2.14.   | Software ETAP en modelamiento eléctrico.....                                     | 44 |
| 2.2.15.   | Excel .....                                                                      | 45 |
| 2.2.16    | Metodo de Elementos Finitos .....                                                | 46 |
| II.       | MARCO METODOLÓGICO .....                                                         | 48 |
| 3.1.      | Enfoque y alcance de investigación.....                                          | 48 |

|       |                                                                       |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.  | Diseño de la investigación .....                                      | 48 |
| 3.3.  | Población y muestra .....                                             | 48 |
| 3.4.  | Métodos e instrumentos para la recopilación y análisis de datos ..... | 50 |
| 3.5.  | Procedimiento de desarrollo e implementación .....                    | 51 |
| 3.6.  | Operacionalización de variables .....                                 | 53 |
| III.  | RESULTADOS .....                                                      | 54 |
| 4.1.  | Diagnóstico visual y obtención de planos.....                         | 54 |
| 4.2.  | Medición resistividad terreno .....                                   | 54 |
| 4.3.  | Exportación AutoCAD a ETAP .....                                      | 56 |
| 4.4.  | Configuración módulo Ground Grid.....                                 | 58 |
| 4.5.  | Importación geometría XML .....                                       | 59 |
| 4.6.  | Verificación elementos constitutivos .....                            | 60 |
| 4.7.  | Edición de las dimensiones de las varillas .....                      | 61 |
| 4.8.  | Configuración conductores malla .....                                 | 61 |
| 4.9.  | Definición perfil suelo multicapa .....                               | 62 |
| 4.10. | Ingreso parámetros operativos IEEE 80 .....                           | 63 |
| 4.11. | Resultados y evaluación normativa .....                               | 64 |
| IV.   | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                                  | 66 |
| 6.1.  | Conclusiones .....                                                    | 66 |
| 6.2.  | Recomendaciones .....                                                 | 68 |
|       | BIBLIOGRAFÍA .....                                                    | 69 |
|       | ANEXOS .....                                                          | 70 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                |                                            |    |
|----------------|--------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> | <i>Matriz de operacionalización .....</i>  | 53 |
| <b>Tabla 2</b> | <i>Medición resistividad terreno .....</i> | 56 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                  |                                                                                                          |    |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b>  | <i>Riesgos eléctricos sin toma tierra vs con toma tierra.</i>                                            | 24 |
| <b>Figura 2</b>  | <i>Varilla de tierra.</i>                                                                                | 26 |
| <b>Figura 3</b>  | <i>Conectores de tierra.</i>                                                                             | 27 |
| <b>Figura 4</b>  | <i>Estratos del suelo.</i>                                                                               | 28 |
| <b>Figura 5</b>  | <i>Perfil de variación de la Resistividad del Terreno.</i>                                               | 31 |
| <b>Figura 6</b>  | <i>Método de Wenner.</i>                                                                                 | 32 |
| <b>Figura 7</b>  | <i>Medida de la resistividad (4 polos).</i>                                                              | 33 |
| <b>Figura 8</b>  | <i>Distribución de la tensión de contacto.</i>                                                           | 36 |
| <b>Figura 9</b>  | <i>Valores de resistencia de puesta a tierra.</i>                                                        | 44 |
| <b>Figura 10</b> | <i>Interfaz del Software ETAP.</i>                                                                       | 45 |
| <b>Figura 11</b> | <i>Hoja de cálculo Excel.</i>                                                                            | 46 |
| <b>Figura 12</b> | <i>Telurómetro Modelo MEGABRAS MTD-20KWe.</i>                                                            | 51 |
| <b>Figura 13</b> | <i>Plano geométrico de la malla Hospital Las Lomas de Piura.</i>                                         | 54 |
| <b>Figura 14</b> | <i>Medida de la resistividad posición <math>\rho</math> con el telurómetro (4 pole).</i>                 | 55 |
| <b>Figura 15</b> | <i>Medición de la resistividad.</i>                                                                      | 55 |
| <b>Figura 16</b> | <i>Exportación AutoCAD a ETAP.</i>                                                                       | 57 |
| <b>Figura 17</b> | <i>Elección de las unidades.</i>                                                                         | 57 |
| <b>Figura 18</b> | <i>Configuración del módulo Ground Grid en ETAP.</i>                                                     | 58 |
| <b>Figura 19</b> | <i>Método de Elementos Finitos (FEM).</i>                                                                | 58 |
| <b>Figura 20</b> | <i>Importación geometría XML.</i>                                                                        | 59 |
| <b>Figura 21</b> | <i>Verificación de la interconexión y continuidad eléctrica.</i>                                         | 60 |
| <b>Figura 22</b> | <i>Configuración de dimensiones y profundidad de varillas en el módulo Ground Grid de ETAP.</i>          | 61 |
| <b>Figura 23</b> | <i>Parámetros eléctricos y geométricos del conductor que conforma la red de puesta a tierra en ETAP.</i> | 62 |
| <b>Figura 24</b> | <i>Configuración de parámetros conforme a IEEE 80 en ETAP.</i>                                           | 63 |
| <b>Figura 25</b> | <i>Resultados y evaluación normativa.</i>                                                                | 64 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| Anexo 1: Medición de la resistividad de los 5 puntos ..... | 70 |
| Anexo 2: Matriz de consistencia .....                      | 72 |

## RESUMEN

La presente investigación actual tuvo como objetivo analizar y modelar el sistema de puesta a tierra (PAT) del Hospital Las Lomas – Piura mediante el software ETAP con la finalidad de evaluar sus condiciones de seguridad eléctrica conforme a la normativa vigente. El estudio fue de nivel explicativo, tipo aplicado, con un diseño no experimental y transversal, utilizando el método hipotético-deductivo y una perspectiva cuantitativa. El sistema eléctrico general del hospital, con énfasis en el sistema de puesta a tierra, que incluía electrodos, pozos de tierra, puntos de conexión y conductores de interconexión en áreas sensibles como la sala de emergencia, los tableros secundarios, las habitaciones de maquinaria y el tablero eléctrico principal. Se utilizó una muestra total que representaba el 100% del sistema PAT existente.

El modelado se realizó en el módulo Ground Grid del software ETAP, incorporando la caracterización del terreno mediante el método de Wenner y el análisis a través del método de elementos finitos. Los resultados indican que la tensión de paso alcanzó 956 V y la tensión de toque 631,4 V; ambos valores se encuentran por debajo de los límites establecidos por la norma IEEE 80 (5971,5 V y 1615,9 V, respectivamente). Asimismo, se determinó una resistencia de puesta a tierra de  $3.157 \Omega$  y una elevación del potencial de tierra (GPR) de 5701,1 V. Estos resultados evidencian que la malla distribuye adecuadamente los gradientes de potencial y mantiene las tensiones superficiales dentro de rangos seguros.

Se determina que el sistema de puesta a tierra del Hospital Las Lomas – Piura satisface los estándares técnicos y normativos en materia de seguridad eléctrica, no siendo necesario realizar cambios estructurales inmediatos; por lo tanto, se corrobora la hipótesis formulada.

**Palabras clave:** puesta a tierra, ETAP, Voltaje de paso, voltaje de contacto, resistencia del sistema de la puesta a tierra.

## ABSTRACT

The present research aimed to analyze and model the grounding system (GS) of Hospital las Lomas – Piura using ETAP software in order to evaluate its electrical safety conditions in accordance with current regulations. The study was explanatory in scope, applied in nature, with a non-experimental and cross-sectional design, following the hypothetical-deductive method and a quantitative approach. The hospital's general electrical system was considered, with emphasis on the grounding system, including grounding electrodes, ground rods, connection points, and interconnection conductors located in critical areas such as the emergency room, secondary distribution boards, machine rooms, and the main electrical switchboard. A census sample representing 100% of the existing grounding system was used.

The modeling was carried out using the Ground Grid module of ETAP, incorporating soil characterization through the Wenner method and analysis based on the Finite Element Method (FEM). The results indicate that the calculated step voltage was 956 V and the touch voltage was 631.4 V, both values being below the maximum permissible limits established by IEEE Std 80 (5971.5 V and 1615.9 V, respectively). Additionally, the grounding resistance was determined to be 3.157  $\Omega$  and the Ground Potential Rise (GPR) was calculated at 5701.1 V. These findings confirm that the grounding grid properly distributes potential gradients and maintains surface voltages within safe limits.

It is concluded that the grounding system of Hospital las Lomas – Piura complies with current technical and regulatory electrical safety standards. Therefore, no immediate structural modifications are required, and the proposed hypothesis is validated.

Keywords: grounding system, ETAP, step voltage, touch voltage, grounding resistance.

## **I. PROBLEMA DE INVESTIGACION**

### **1.1. Realidad problemática**

A nivel global, se evidencia una problemática asociada a la deficiente implementación de sistemas de puesta a tierra en instalaciones hospitalarias, lo cual incrementa significativamente la probabilidad de electrocución y riesgos eléctricos severos, tales como descargas accidentales y fallos en equipos médicos de alta sensibilidad. Esta situación afecta directamente la seguridad tanto del personal como de los pacientes, especialmente en áreas críticas como unidades de cuidados intensivos y salas de operaciones, donde la confiabilidad del sistema eléctrico es fundamental.

En el contexto latinoamericano, el diseño inadecuado de sistemas de puesta a tierra, así como el uso incorrecto de herramientas de simulación como ETAP y el incumplimiento de estándares de seguridad eléctrica, generan valores elevados de resistencia y la presencia de tensiones peligrosas. Estas condiciones incrementan el riesgo de descargas eléctricas en entornos hospitalarios. Diversos estudios académicos desarrollados en países como Colombia y Venezuela evidencian deficiencias en las redes de puesta a tierra en infraestructuras de salud, reflejando una problemática regional persistente.

En el Perú, la situación no es ajena a esta realidad, debido a que muchos sistemas de puesta a tierra en hospitales presentan configuraciones obsoletas y condiciones de seguridad insuficientes. Investigaciones realizadas en el Hospital Regional Hipólito Unanue de Tacna han demostrado la existencia de estudios de resistividad desactualizados y sistemas sin mantenimiento adecuado. A lo largo del tiempo, se han reportado deficiencias recurrentes en subestaciones hospitalarias, las cuales persisten en la actualidad debido a diseños que no se ajustan a criterios definidos en normativas como la IEEE Std 80, la cual establece los valores

máximos admisibles de tensiones de paso y de contacto con el propósito de proteger la integridad física de las personas frente a riesgos eléctricos. Esta problemática tiene especial impacto en hospitales públicos ubicados en regiones como Piura.

Entre los factores que originan esta situación, destaca la ausencia de evaluaciones actualizadas del sistema de puesta a tierra, de esta manera conlleva que las instalaciones antiguas operen sin un diagnóstico real de su estado. Asimismo, la falta de mantenimiento periódico dificulta la detección de deterioros en los componentes. Por otro lado, la no utilización de herramientas de modelamiento especializadas como ETAP limita la posibilidad de simular el comportamiento del sistema ante condiciones normales y de falla, impidiendo estimar parámetros críticos como la resistencia de puesta a tierra, así como los voltajes de paso y contacto, fundamentales para garantizar la seguridad.

Adicionalmente, el desconocimiento o cumplimiento parcial de normativas técnicas, tales como IEEE Std 80, NTP 370.243 y RETIE, debido a la falta de supervisión especializada, genera riesgos tanto operativos como legales en instalaciones hospitalarias. A esto se suma la modificación de las condiciones del terreno producto de ampliaciones o nuevas construcciones, lo cual altera la resistividad del suelo y provoca un dimensionamiento inadecuado del sistema frente a las nuevas demandas. Finalmente, el limitado nivel de especialización del personal encargado del mantenimiento, enfocado principalmente en la experiencia práctica y no en criterios técnicos actualizados, contribuye a la permanencia de estas deficiencias.

La carencia de un diagnóstico actualizado del sistema de puesta a tierra (PAT) ocasiona que instalaciones implementadas hace varios años operen sin evaluaciones recientes que permitan conocer su condición real. Asimismo, la inexistencia de un mantenimiento periódico adecuado dificulta la detección de fallas y el desgaste de sus componentes. Por otro lado, la

ausencia de modelamiento mediante herramientas especializadas como ETAP limita la capacidad de simular el comportamiento del sistema tanto en condiciones normales como ante fallas, impidiendo la estimación precisa de parámetros críticos como la resistencia de puesta a tierra y los voltajes de paso y contacto, fundamentales para la seguridad eléctrica.

De igual manera, el desconocimiento o la aplicación parcial de normativas técnicas, tales como IEEE Std 80, NTP 370.243 y RETIE, debido a la falta de verificación especializada, genera riesgos significativos tanto en el ámbito operativo como legal dentro de las instalaciones hospitalarias. A esto se suma la modificación de las características del terreno, producto de ampliaciones o nuevas edificaciones, lo que altera la resistividad del suelo y ocasiona un dimensionamiento inadecuado del sistema frente a las condiciones actuales de demanda. Finalmente, el nivel limitado de especialización del personal encargado del mantenimiento, cuya experiencia es mayormente práctica y carece de formación en modelamiento eléctrico e interpretación de simulaciones, restringe la toma de decisiones efectivas para la mejora o rediseño del sistema PAT.

De mantenerse esta problemática, podrían presentarse consecuencias graves, como electrocuciones durante procedimientos críticos, interrupciones en áreas sensibles como unidades de cuidados intensivos y quirófanos, afectando la atención de numerosos pacientes. Asimismo, se generarían daños considerables en equipos médicos, incrementando significativamente los costos operativos, además de posibles implicancias legales para el sistema de salud pública. A nivel nacional, esta situación podría contribuir al aumento de incidentes eléctricos en hospitales, afectando la capacidad de respuesta del sistema sanitario.

En este contexto, la presente investigación plantea el modelamiento detallado para sistema de puesta a tierra del Hospital Las Lomas, empleando el software ETAP como

herramienta de simulación y análisis, con el objetivo de evaluar las condiciones de seguridad eléctrica y plantear mejoras en el diseño de mallas y valores de resistencia. De esta manera, se busca optimizar la protección integral del sistema eléctrico y establecer un referente técnico aplicable a otras instituciones hospitalarias del Perú.

## **1.2. Formulación del problema de investigación**

### **1.2.1. Problema General**

¿De qué forma el estudio y la simulación del sistema de puesta a tierra (PAT) del Hospital Las Lomas – Piura, utilizando el software ETAP, permiten determinar si cumple con las condiciones de seguridad eléctrica establecidas en la normativa vigente?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿En qué grado la evaluación de la red de puesta a tierra (PAT), mediante inspección visual y el análisis documental, permite determinar la condición actual del sistema en el Hospital Las Lomas – Piura?
- ¿En qué grado la determinación de la resistividad del suelo y la recopilación de datos eléctricos proporcionan la información necesaria para el modelado de sistema de puesta a tierra eléctrica (PAT) en ETAP?
- ¿En qué grado la simulación el sistema de puesta a tierra eléctrico (PAT) en el software ETAP permite describir su comportamiento eléctrico considerando la resistividad del suelo, las corrientes de falla y la configuración eléctrica del hospital?
- ¿En qué grado el análisis de la resistencia de puesta a tierra, junto con los voltajes de paso y de contacto obtenidas con ETAP, permite comprobar el cumplimiento de los límites de seguridad establecidos en la normativa técnica vigente?

### **1.3. Hipótesis**

#### **1.3.1. Hipótesis General**

El análisis y modelamiento del sistema de puesta a tierra (PAT) del Hospital Las Lomas – Piura mediante el software ETAP permite evaluar sus condiciones de seguridad eléctrica conforme a la normativa vigente.

#### **1.3.2. Hipótesis Específicas**

- La Revisión integral del sistema de puesta a tierra (PAT) a través inspección visual y revisión documental permite identificar el estado actual del sistema en el Hospital Las Lomas – Piura.
- La medición de la resistividad del terreno y la recopilación de parámetros eléctricos permiten obtener la información necesaria para el modelamiento del sistema PAT en ETAP.
- El modelamiento del sistema PAT en el software ETAP permite representar su comportamiento eléctrico integrando resistividad del terreno, corrientes de falla y configuración eléctrica del hospital.
- La evaluación de la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y toque obtenidas en ETAP permite verificar el cumplimiento de los límites de seguridad establecidos por las normas técnicas vigentes.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Analizar y modelar el sistema de puesta a tierra (PAT) del Hospital Las Lomas – Piura utilizando el software ETAP, con el fin de evaluar sus condiciones de seguridad eléctrica en concordancia con la normativa vigente aplicable.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Determinar el estado actual del sistema de puesta a tierra (PAT) del Hospital Las Lomas mediante inspección visual y la revisión de planos y documentación técnica disponible.
- Determinar la resistividad del terreno en puntos estratégicos y recopilar los parámetros eléctricos del sistema del hospital necesarios para su modelamiento en el software ETAP.
- Desarrollar el modelo del sistema de puesta a tierra (PAT) en ETAP, incorporando la resistividad del suelo, los datos de corrientes de falla y la configuración eléctrica del hospital.
- Analizar la resistencia de la red de puesta a tierra, así como las tensiones de paso y de contacto obtenidas del modelo, con el fin de compararlas con los parámetros de seguridad establecidos por la norma técnica vigente.

## **I. DISEÑO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Antecedentes Internacionales**

Falcones Bohórquez (2025) desarrolló una investigación titulada “Diseño de malla a tierra conforme a la normativa IEEE 80 usando el software ETAP para mitigar descargas eléctricas”, llevada a cabo en Guayaquil. El propósito principal del estudio consistió en diseñar un sistema de malla de puesta a tierra basado en los lineamientos de la norma IEEE 80, empleando el software ETAP, con la finalidad de reducir el riesgo de descargas eléctricas y verificar el cumplimiento de los criterios de seguridad establecidos.

El estudio se llevó a cabo mediante la evaluación de cuatro disposiciones distintas de sistemas de puesta a tierra, las cuales fueron modeladas y comparadas mediante un enfoque de tipo comparativo, integrando cálculos teóricos basados en la normativa IEEE, herramientas de cálculo implementadas en Excel y simulaciones realizadas en ETAP. Para ello, se emplearon como instrumentos el software especializado, una macro desarrollada en Excel y los parámetros técnicos definidos por la norma IEEE 80, incorporando además el uso del mejorador de resistividad FAVIGEL en escenarios de optimización.

En cuanto a los resultados, se determinó que, en su estado inicial, tres de las cuatro configuraciones analizadas no cumplían con los límites permisibles de voltaje de malla. Sin embargo, tras la modificación de la resistividad del suelo mediante la aplicación de FAVIGEL, fue posible alcanzar los valores exigidos por la normativa. Asimismo, se evidenció una alta concordancia entre los resultados obtenidos a través de las simulaciones en ETAP y los cálculos realizados mediante los métodos tradicionales basados en la IEEE.

Salto-González (2023) desarrolló la investigación titulada “Optimization design of ground grid mesh of 69/13,8 kV substation using ETAP”, aplicada a una subestación de 69/13,8 kV en Ecuador. El propósito principal del estudio fue evaluar distintos parámetros de seguridad de la malla de puesta a tierra mediante la comparación entre el método establecido por la normativa IEEE y el método de Elementos Finitos (FEM).

El análisis se centró en una red de puesta a tierra relacionada con una subestación de dichas características, considerada como caso de estudio. La metodología adoptada fue de tipo comparativa, incorporando procesos de simulación y optimización mediante el uso del software ETAP. Para ello, se emplearon como instrumentos la versión 16.0 del software, junto con parámetros eléctricos relevantes del sistema, tales como la corriente de cortocircuito, el voltaje de paso y contacto, así como el nivel de resistencia presentado por la red de puesta a tierra.

Respecto con los resultados, Se determinó que la metodología fundamentada en el estándar IEEE ofrece beneficios significativos en términos de optimización de costos, al requerir una menor inversión. No obstante, el método de Elementos Finitos demostró un mejor desempeño técnico, al proporcionar una mayor eficiencia en la disipación de corrientes y una reducción más significativa de las tensiones de contacto en el caso analizado. En consecuencia, se recomienda la aplicación del método FEM en futuros diseños, debido a su mayor precisión y capacidad de representar condiciones más cercanas a la realidad.

Beltrán Espinoza (2023) desarrolló la investigación titulada “Diseño de un sistema de puesta a tierra para aplicación en una industria utilizando la normativa IEEE 80–2000”, llevada a cabo en Guayaquil. El objetivo principal del estudio consistió en elaborar un sistema de puesta a tierra orientado en una instalación industrial, aplicando los criterios establecidos en la norma

IEEE 80–2000 y validando su desempeño mediante simulación.

La investigación se realizó tomando como caso de estudio a la empresa INDAMI CIA. LTDA., particularmente en la zona designada con el propósito de instalar el sistema de puesta a tierra, donde se efectuaron mediciones directas del terreno. La metodología empleada correspondió a un proyecto técnico, que incluyó la determinación de la resistividad del suelo, el desarrollo de cálculos de diseño y la posterior verificación mediante herramientas de simulación.

Para la recolección de datos, se utilizó el método de Wenner para la medición de resistividad, empleando equipos especializados tipo telurómetro o Megger, así como el software ETAP para la validación del diseño. En cuanto a los resultados, el cual obtuvo una resistividad aparente promedio de  $30 \Omega \cdot m$ , mientras que los valores de tensiones de paso y de contacto se mantuvieron dentro de los límites permisibles. En virtud de los resultados obtenidos, se determinó que el sistema de puesta a tierra diseñado es idóneo para la infraestructura analizada, garantizando el cumplimiento de los requisitos de seguridad establecidos.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Lipa (2023) desarrolló la investigación titulada “Propuesta de mejoramiento del sistema de puesta a tierra del Hospital Regional Manuel Núñez Butrón mediante tratamiento electroquímico”, realizada en la ciudad de Puno. La finalidad central de la investigación consistió en proponer la Mejora del desempeño de la red de puesta a tierra del hospital a través de la implementación de un acondicionamiento electroquímico. Para tal efecto, se consideraron como objetivos específicos la evaluación de la resistividad del suelo y el desarrollo de un diseño optimizado del sistema de puesta a tierra.

El estudio se sustentó en el análisis de mediciones y cálculos de los valores de

resistividad junto con la resistencia de la red de puesta a tierra, efectuados en cuatro trayectorias, comparando las condiciones del sistema antes y después de la aplicación del tratamiento electroquímico. La metodología adoptada correspondió a un enfoque descriptivo correlacional de tipo no experimental, debido a que no se realizó manipulación directa de las variables de estudio.

Para la obtención de datos se empleó un telurómetro MEGABRAS MTD-20KWe, incorporando técnicas de medición de la resistividad fundamentadas bajo la configuración de cuatro electrodos (método de Wenner), así como metodologías para la determinación de la resistencia del sistema tanto en escenarios sin tratamiento como con la aplicación de agentes mejoradores del terreno. En relación con los resultados, se determinó que el valor más crítico del sistema tratado alcanzó  $11.79 \Omega$ , mientras el promedio de resistencia de la puesta a tierra mejorada fue de  $9.9 \Omega$ , evidenciando la efectividad del tratamiento electroquímico en la reducción de la resistencia del sistema.

Sucasaca (2022) desarrolló la investigación titulada “Análisis del comportamiento del sistema de puesta a tierra con tratamiento electroquímico para el sistema de Comunicación de Radio Urbano FM”, llevada a cabo en la ciudad de Juliaca. El objetivo principal del estudio fue evaluar el comportamiento del sistema de puesta a tierra al aplicar un tratamiento electroquímico en el sistema de comunicación de Radio Urbano FM, ubicado en el distrito de Juliaca, provincia de San Román.

La investigación se basó en el análisis de registros obtenidos a partir de mediciones de campo, incluyendo datos de resistividad del suelo y valores de resistencia del sistema de puesta a tierra, considerando tanto la condición original como la tratada con cemento conductor. La metodología empleada correspondió a un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo

correlacional.

Para la recolección de información se utilizaron técnicas de análisis documental y observación directa, así como equipos especializados como el telurómetro KYORITSU 4105A y el MEGGER DET4TC2, aplicando la metodología de medición de resistividad de cuatro puntos, conocido como método de Wenner. En cuanto a los resultados, se determinó una resistividad del terreno de  $70.21 \Omega \cdot m$ . De igual manera, la resistencia promedio de la red de puesta a tierra, las cuales se encontraban sin tratamiento, fue de  $22.59 \Omega$ ; sin embargo, tras la aplicación de un tratamiento electroquímico, dicho valor disminuyó a  $8.91 \Omega$ , lo que demuestra la eficacia del uso de cemento conductor como agente mejorador del suelo.

Cama (2021) desarrolló la investigación titulada “Diseño de malla de puesta a tierra mediante la norma IEEE-80, utilizando ETAP, ASPIX y Excel, para la subestación de distribución eléctrica del estadio de la UNA-Puno”, realizada en la ciudad de Puno. El objetivo principal del estudio fue diseñar una malla de puesta a tierra aplicando los lineamientos de la norma IEEE Std 80-2000, mediante el uso de herramientas computacionales y hojas de cálculo.

La investigación se sustentó en los valores de la resistividad del suelo efectuadas en campo en diversas direcciones, utilizando el método de Wenner, así como en pruebas realizadas en distintos puntos del área de estudio. La metodología adoptada correspondió a un enfoque descriptivo, analítico y cuantitativo, sustentado en la aplicación de una matriz de cálculo conforme a la IEEE Std 80-2000 y en la comparación de resultados obtenidos mediante distintos programas.

Para la recolección y procesamiento de datos se emplearon equipos de medición como el telurómetro MEGABRASS MTD 20Kwe, además de formatos y protocolos elaborados en

Excel, y el uso de los softwares ETAP y ASPIX. Asimismo, se utilizaron insumos complementarios para la ejecución de mediciones en campo.

En relación con los resultados, se realizaron el cálculo y la comparación de parámetros de seguridad, específicamente los niveles de tensión de paso y de contacto, obteniéndose valores derivados del diseño a partir de las distintas herramientas utilizadas, Esto permitió evaluar el desempeño del sistema de puesta a tierra y contrastar la precisión de los métodos utilizados.

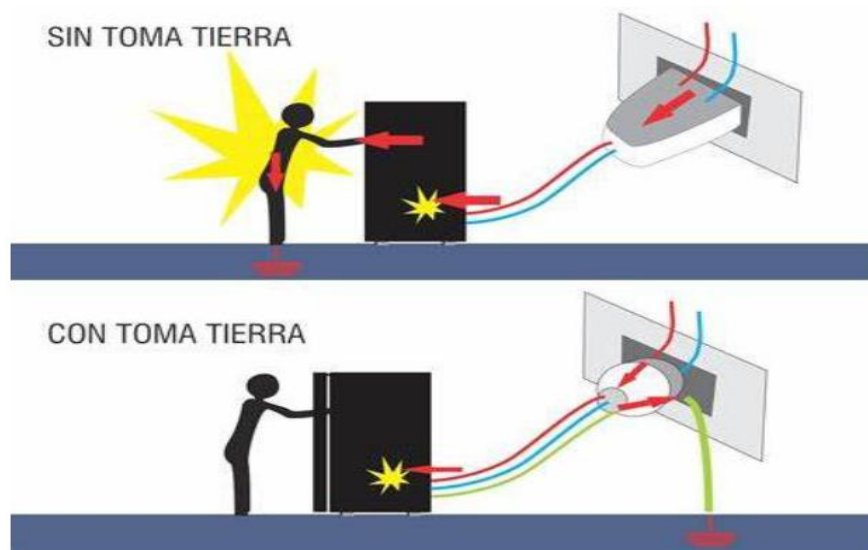
## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Sistemas de puestas a tierra**

Los sistemas de distribución eléctrica constituyen redes de infraestructura destinadas a transportar la energía desde las subestaciones de transmisión hasta los usuarios finales, ya sean del sector residencial, comercial o industrial. Estos sistemas cumplen una función fundamental en la operación eficiente del suministro eléctrico, debido a que deben asegurar la continuidad del servicio, así como condiciones adecuadas de seguridad y calidad para todos los consumidores (Kim et al., 2023).

#### **Figura 1**

*Riesgos eléctricos sin toma tierra vs con toma tierra.*



Fuente: Adaptado de la tesis de Beltrán et al (p. 7), 2023

### 2.2.2. Elementos que conforman la red de puesta a tierra

El desempeño global de una red de puesta a tierra depende tanto de los elementos que lo conforman como de la forma en que estos se interconectan. Por ello, resulta fundamental realizar una adecuada selección de los componentes que integran el sistema, considerando criterios técnicos que garanticen su correcto funcionamiento:

- Los conductores a tierra.
- Los electrodos de puesta a tierra
- Los elementos de conexión

#### 2.2.2.1. Los conductores a tierra

La norma técnica eléctrica establecida en el (CNE) establece los requisitos aplicables tanto a los conductores como a los elementos que integran la red de puesta a tierra, incluyendo el equipamiento y los electrodos. Mediante el contexto, la red de puesta a tierra se utiliza para interconectar elementos metálicos no conductores de corriente en los equipos, tales como envoltentes o canalizaciones, con el sistema de puesta a tierra asociado a la fuente de

alimentación o al punto de servicio de un sistema derivado individual.

Por su parte, el cable de puesta a tierra tiene como función establecer la conexión entre el electrodo de tierra y el sistema eléctrico, ya sea a través del equipo o directamente en la fuente o punto de servicio mediante el conductor de puesta a tierra, garantizando así la continuidad del sistema de protección.

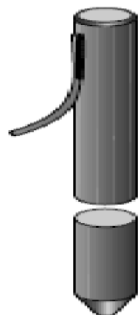
#### **2.2.2.2. Los electrodos de puesta a tierra**

Las varillas de puesta a tierra se encuentran disponibles de forma habitual en materiales tales como acero galvanizado, acero recubierto con cobre y cobre. Asimismo, pueden suministrarse con terminales o coletas preinstaladas desde fábrica para facilitar su conexión.

En el caso de las varillas de acero recubierto con cobre, aunque presentan una conductividad ligeramente inferior en comparación con las de cobre desnudo, su selección no se basa únicamente en criterios eléctricos, sino principalmente en su mayor resistencia a la corrosión. Esto se debe a que el cobre, al ser un material más noble que el acero, ofrece una mejor protección frente a la degradación en la mayoría de los tipos de suelo, superando incluso el desempeño del acero galvanizado en condiciones adversas (Sucasaca, 2022).

#### **Figura 2**

*Varilla de tierra*



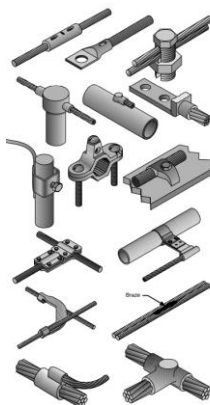
Fuente: Adaptado de la tesis de Juan Sucasaca (p. 24), 2022

### 2.2.2.3. Los elementos de conexión

Las conexiones entre el conductor y la varilla de puesta a tierra tienen una relevancia equivalente a la del propio electrodo, ya que inciden directamente en el desempeño del sistema. En la práctica, es habitual que conductores de elevada capacidad de corriente se enlacen a una o dos varillas, lo que puede ocasionar un desbalance del sistema, debido a que dichos electrodos no siempre cuentan con la capacidad suficiente para la correcta disipación de la corriente eléctrica que fluye a través del conductor. Esta condición puede comprometer la eficacia operativa y la protección de la red de puesta a tierra (Sucasaca, 2022).

**Figura 3**

*Conectores de tierra*



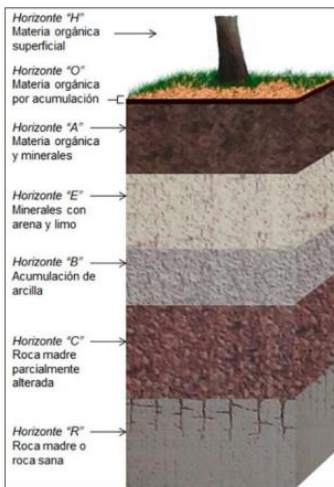
Fuente: Adaptado de “Practical Guide To Electrical Grounding Practical Guide To Electrical Groundin” (p. 86), 1999.

### 2.2.3. Composición del terreno

La resistividad del terreno presenta una alta variabilidad en función de su composición, lo que dificulta establecer valores definidos para cada tipo de terreno antes de realizar el diseño de un sistema de puesta a tierra. Incluso dentro de una misma clasificación de suelo, es posible encontrar diferencias significativas en su resistividad dependiendo de la ubicación geográfica. En condiciones de campo, los parámetros pueden oscilar desde reducidas decenas de  $\Omega \cdot m$  en suelos húmedos y de origen orgánico, hasta valores del orden de decenas de miles en terrenos rocosos secos, como el granito (Sucasaca, 2022).

**Figura 4**

*Estratos del suelo*



Fuente: Adaptado de la tesis de Juan Sucasaca (p. 28), 2022

#### 2.2.3.1. Estratigrafía

Es evidente que el terreno no tiene capas homogéneas. Un electrodo tipo barra de 3 m de longitud generalmente atraviesa, como mínimo, dos estratos de suelo con propiedades geotécnicas diferenciadas. (Ruelas, 2022).

#### 2.2.3.2. Granulometría

Afecta considerablemente la calidad de la porosidad y la capacidad de retener humedad del contacto con los electrodos incrementando la resistividad al aumentar el tamaño de los granos de la tierra. Por este motivo, la grava presenta una resistividad más alta que la arena y que sea más alta que la del barro (Ruelas, 2022).

#### **2.2.3.3. Estado Higrométrico**

La humedad y el contenido de agua tienen un impacto significativo. Su valor cambia dependiendo del clima, la época del año, la profundidad y el nivel freático. Para ilustrar, la resistividad del suelo aumenta de manera significativa cuando su contenido de humedad disminuye a menos del 15% de su peso. Sin embargo, un valor de humedad mayor al 15% mencionado provoca que la resistividad permanezca casi invariable. Y, en ocasiones de sequía, la resistividad del terreno puede llegar a ser tal que no sea posible utilizarlo en la red de tierras. Por lo tanto, el sistema debe estructurarse considerando la resistividad en el peor escenario posible (Ruelas, 2022).

#### **2.2.3.4. Temperatura**

La resistividad del suelo experimenta un incremento conforme desciende la temperatura, acentuándose significativamente en las proximidades de los 0 °C. Este comportamiento se explica por la reducción en la movilidad de los iones presentes en el medio, la cual se ve progresivamente limitada a medida que aumenta la proporción de agua en estado sólido dentro del terreno.

#### **2.2.3.5. Compactación**

Durante el proceso de compactación del suelo se incrementa, su resistividad baja. Por esta razón, siempre se intentará ubicar los electrodos en los terrenos más densos que se puedan encontrar (Ruelas, 2022).

#### **2.2.4. Medición de la resistividad del terreno**

La resistividad del suelo está influenciada por diversos factores, como las características del suelo, el grado de humedad, la temperatura, la composición mineral y el nivel de compactación. De acuerdo con la literatura, este parámetro puede presentar variaciones considerables, desde valores inferiores por debajo de  $1 \Omega \cdot m$  en ambientes como el agua marina, hasta magnitudes extremadamente altas del orden de  $10^9 \Omega \cdot m$  en materiales como la arenisca.

En el contexto peruano, esta variabilidad es aún más marcada, pudiendo superar los  $100\,000 \Omega \cdot m$  en determinadas condiciones. Por ello, resulta fundamental determinar la resistividad del terreno para el adecuado cálculo del valor de la resistencia de puesta a tierra, el cual puede presentar variaciones debido a la profundidad de las instalaciones, la composición química, además de humedad y temperatura del terreno. No obstante, la existencia de agua no asegura necesariamente valores bajos de resistividad, ya que intervienen otros factores que influyen en su comportamiento eléctrico (Millan Montalvo et al., 2024).

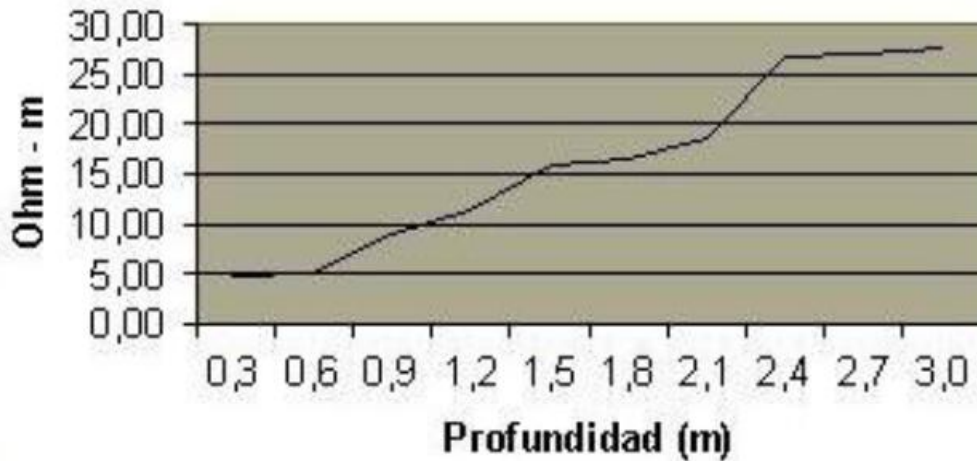
#### **2.2.5. Perfil de Resistividad**

Para determinar el perfil de resistividad de un terreno en un punto determinado, se emplea el método de Wenner, el cual consiste en incrementar progresivamente la separación entre los electrodos de medición. Generalmente, para cada distancia establecida, se realizan mediciones en dos direcciones perpendiculares, con el fin de obtener resultados más representativos.

A partir de estos datos, se construye una gráfica que relaciona el promedio de los valores de resistividad obtenidos con la distancia entre electrodos. Esta representación se denomina perfil de resistividad aparente del suelo, lo que permite evaluar el comportamiento del terreno conforme aumenta la profundidad. (Ruelas, 2022).

**Figura 5**

*Perfil de variación de la Resistividad del Terreno*



Fuente: Adaptado de libro de Roberto Ruelas, 2022

#### **2.2.6. Método de wenner o configuración de 4 puntos**

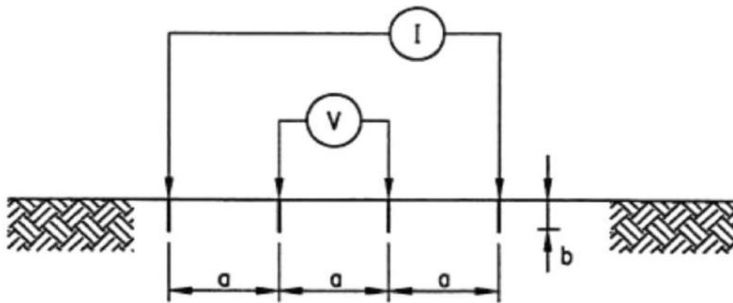
El método de los cuatro puntos, conocido como método de Wenner, constituye una técnica confiable para determinar la resistividad aparente del suelo sin generar alteraciones significativas en el terreno. Este procedimiento consiste en la disposición de cuatro electrodos alineados y equidistantes, insertados en el suelo a una profundidad adecuada.

Durante la medición, se inyecta una corriente eléctrica de prueba ( $I$ ) a través de los electrodos exteriores, mientras que la diferencia de potencial ( $V$ ) es registrada entre los electrodos internos mediante un instrumento de alta impedancia, como un voltímetro o potenciómetro. A partir de la relación entre el voltaje y la corriente aplicada, se obtiene el valor de la resistencia eléctrica del terreno, expresada en ohmios, lo que permite posteriormente calcular la resistividad aparente del suelo (Millan Montalvo et al., 2024)..resistividad aparente de grandes cantidades de tierra sin alterar. Se colocan cuatro sondas auxiliares en el suelo, todas a gran profundidad y separadas entre sí (en línea recta) por intervalos. Con un voltímetro o

potenciómetro de impedancia alta se mide el potencial V entre las dos sondas interiores, mientras que entre los dos electrodos exteriores se aplica una corriente de prueba I. Por lo tanto, la relación entre V e I de la resistencia R en ohmios (Millan Montalvo et al., 2024).

**Figura 6**

*Método de Wenner*



Referencia: <https://www.epm.com.co/content/dam/epm/proveedores-y-contratistas/RA6-014.pdf>

La resistividad aparente puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{4 * \pi * A * R}{\left[ 1 + \left[ \frac{2 * A}{(A^2 + 4 * B^2)^{0.5}} \right] \right] - \frac{2A}{(4A^2 + 4B^2)^{0.5}}}$$

Se tiene que:

$\rho$  : Resistividad promedio correspondiente a la profundidad (A) en ohm-m

A: Distancia entre electrodos en metros

B: Profundidad de enterrado de los electrodos en metros

R: Valor de lectura del telurómetro en ohms.

Cuando la profundidad de enterramiento (B) es suficientemente pequeña en comparación con la distancia de separación entre electrodos, puede considerarse despreciable.

(A). O sea  $A > 20B$ , la siguiente fórmula simplificada se puede aplicar:

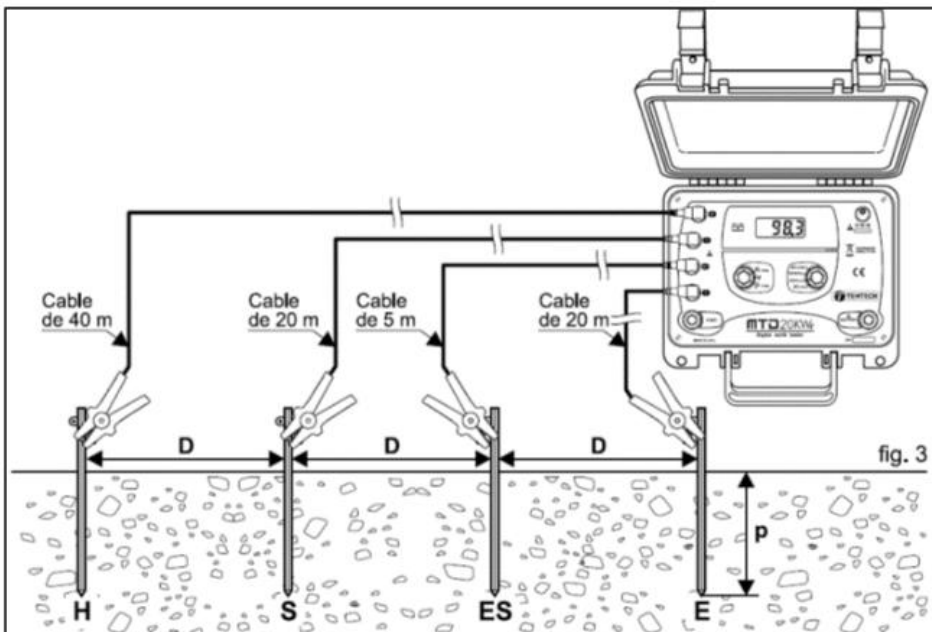
$$\rho = 2 \times \pi \times A \times R$$

La resistividad promedio de un hemisferio de terreno cuyo radio es el mismo que la distancia entre

los electrodos es lo que representa la resistividad calculada a partir de las ecuaciones.

### Figura 7

#### Medida de la resistividad (4 polos)



Fuente: Manual MEGABRAS MTD-20KWe

#### 2.2.7. Análisis de la seguridad eléctrica en sistemas de puesta a tierra

Inicialmente, un diseño de puesta a tierra para seguridad cuenta con los dos siguientes fines:

- Proporcionar mecanismos que permitan derivar corrientes eléctricas hacia tierra, operando en condiciones habituales de operación como ante situaciones de falla, sin sobrepasar los límites de operación establecidos, ni afectar el correcto funcionamiento del servicio o de los equipos.
- Garantizar la protección de las personas que se encuentren en las proximidades de instalaciones conectadas a tierra, de modo que no estén expuestas a descargas eléctricas peligrosas que puedan comprometer su seguridad.

### **2.2.8. Tratamiento del suelo**

El empleo de tratamientos electroquímicos basados en mezclas de bentonita y carbón ha demostrado ser eficaz en la reducción de la resistencia eléctrica de los sistemas de puesta a tierra, logrando disminuir valores desde  $11.79\ \Omega$  hasta  $9.9\ \Omega$ , lo que representa una mejora aproximada del 16 %. Este comportamiento evidencia una optimización del contacto eléctrico en suelos altiplánicos caracterizados por alta resistividad, además de validar la estabilidad del sistema a largo plazo conforme a los criterios establecidos en la normativa IEEE 80 (Machaca et al., 2023).

Por otro lado, la aplicación de materiales como carbón tipo coke y cloruro de calcio en electrodos de puesta a tierra ha permitido bajar significativamente la resistividad del suelo, pasando de  $280\ \Omega\cdot\text{m}$  a  $45\ \Omega\cdot\text{m}$  en terrenos costeros. Estos resultados cumplen con los requisitos establecidos en el reglamento RTE INEN y evidencian que los sistemas de puesta a tierra con configuración multicapa presentan un mejor desempeño en comparación con diseños simples, especialmente en zonas de clima tropical (Pérez et al., 2025).

### **2.2.9. Tensión de paso**

De acuerdo con la norma IEEE Std 80, se entiende como la variación de potencial eléctrico entre dos puntos, que puede existir en la superficie del terreno y que podría ser experimentada por una persona al permanecer de pie, con una separación aproximada de un metro entre ambos pies, sin que exista contacto con elementos conectados a la red de puesta a tierra. (IEEE Std 80, 2013)

La protección de las personas depende de la capacidad del sistema para impedir que el cuerpo humano sea sometido a niveles peligrosos de energía eléctrica durante el tiempo que transcurre entre la ocurrencia de una falla y la actuación de los dispositivos de protección que permiten la desenergización del circuito. (Ramírez, 2010).

Se definen los valores máximos de tensión tolerables por el cuerpo humano con una masa aproximada de 50 kg bajo condiciones de falla eléctrica accidental, los cuales no deben exceder los límites establecidos a continuación:

- Límite de voltaje de paso soportable por un individuo con una masa corporal aproximada de 50 kg:

$$Ep_{50} = (1000 + 6C_s\rho) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

- Valor límite de voltaje de paso tolerable para el cuerpo humano de 70 kg de masa corporal:

$$Ep_{70} = (1000 + 6C_s\rho) * \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Donde:

$R_B$ : 1000  $\Omega$  Valor promedio de la resistencia eléctrica del organismo humano.

$\frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$  : Valor de corriente admisible a través del cuerpo humano según la duración del contacto

(A)

$t_s$  : Duración del paso de corriente a través del cuerpo humano (s)

#### 2.2.10. Tensión de contacto o toque

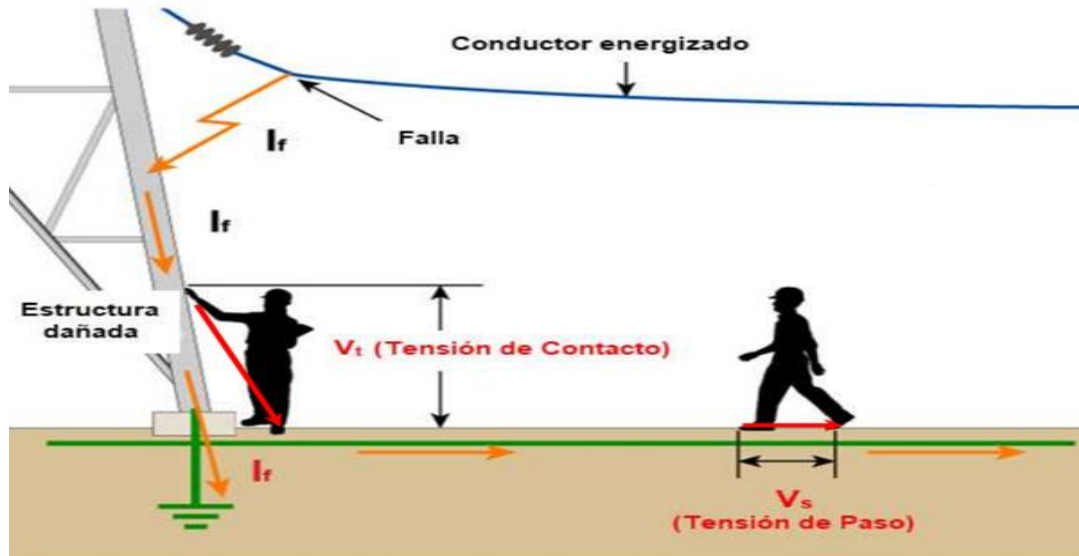
De acuerdo con lo que dice la guía IEEE-80, el contraste de potencial entre el aumento del potencial de tierra (GPR) en una cuadrícula o sistema de tierra y la posibilidad de superficie en el lugar donde un individuo puede estar de pie, a la vez que tiene una mano en contacto con una estructura vinculada a suelo. (Estándar IEEE 80, 2013).

$$Et_{50} = (1000 + 1.5C_s\rho) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$Et_{70} = (1000 + 1.5C_s\rho) * \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

**Figura 8**

*Distribución de la tensión de contacto*



Fuente: [https://www.aemc.com/userfiles/files/resources/applications/ground/APP-TouchStepPotential\\_SP.pdf](https://www.aemc.com/userfiles/files/resources/applications/ground/APP-TouchStepPotential_SP.pdf)

## **2.2.11. Tipos de mallas a tierra**

### **2.2.11.1. Malla a tierra tipo convencional**

La malla de puesta a tierra tipo convencional está conformada por un conjunto de conductores dispuestos en configuraciones rectangulares o cuadradas, los cuales son instalados de forma enterrada en el terreno. Este sistema es utilizado de manera extensiva en subestaciones destinadas a la transmisión de energía y distribución eléctrica, debido a su capacidad para disipar de manera uniforme las corrientes de falla.

Asimismo, se caracteriza por su facilidad de instalación y mantenimiento, lo que lo convierte en una solución práctica y eficiente. Debido a su adecuado equilibrio entre desempeño técnico y costo, representa una de las alternativas más utilizadas a nivel comercial (Falcones et al., 2025).

#### **2.2.11.2. Malla a tierra en anillo**

Este tipo de configuración de malla permite la generación de un modelo en el entorno de la subestación, el cual tiene la capacidad de integrarse a una red de puesta a tierra tipo convencional. Su aplicación es frecuente en subestaciones de menor tamaño, especialmente aquellas ubicadas en entornos urbanos. Entre sus principales ventajas se destaca la mejora la dispersión de corriente de falla en el entorno, lo que contribuye a incrementar el nivel de protección del sistema. (Falcones et al., 2025).

#### **2.2.11.3. Malla a tierra en estrella**

Este tipo de malla configura una disposición perimetral alrededor de la subestación, pudiendo integrarse con una malla de puesta a tierra convencional. Su aplicación es frecuente en subestaciones de menor tamaño, especialmente aquellas ubicadas en entornos urbanos.

Entre las principales ventajas, se encuentra su gran durabilidad ante los efectos de la corrosión, además de su óptimo comportamiento en suelos con escasa oposición al flujo de corriente eléctrica. Asimismo, constituye una alternativa adecuada cuando se requiere una elevada capacidad de conducción y disipación de corrientes de falla, especialmente en condiciones donde las características del suelo limitan la implementación de otros tipos de sistemas de puesta a tierra (Falcones et al., 2025).

#### **2.2.11.4. Malla a tierra tipo parrilla**

Se trata de una malla de puesta tierra constituida por conductores paralelos interconectados, que adoptan una configuración reticular similar a una parrilla. Es ampliamente utilizado en instalaciones industriales y en subestaciones eléctricas de gran envergadura, debido a su capacidad para distribuir eficientemente las corrientes de falla.

Además, su diseño facilita futuras ampliaciones del sistema, permitiendo adaptarse a incrementos en la demanda o modificaciones en la infraestructura. No obstante, la selección de este tipo de malla dependerá de los requerimientos específicos del proyecto y de las condiciones particulares del entorno donde será implementado (Falcones et al., 2025).

#### **2.2.12. Criterios para el diseño de mallas de puesta tierra según la norma IEEE Std 80**

A continuación, se presentan los criterios fundamentales para la metodología de diseño aplicada a redes de puesta a tierra (SPT), considerando el método definido en la norma IEEE Std 80. En este sentido, la implementación de un sistema de puesta a tierra tiene como finalidad limitar los gradientes de potencial del terreno, de modo que los niveles de corriente y tensión permanezcan dentro de límites aceptables de seguridad, sin generar condiciones de peligro para los individuos, ni afectar el funcionamiento de los equipos, tanto en condiciones normales de operación como ante la ocurrencia de fallas (Cama, 2021).

##### **2.2.12.1. Corriente máxima a disipar por la malla (IG)**

El valor máximo de diseño de la corriente de falla a tierra que circula a través de la malla de la subestación hacia el suelo circundante se determina según lo establecido por (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2019):

$$I_G = I_F * D_f * S_f * C_P$$

En esta expresión:

$I_F = 3I_O \rightarrow$  Representa la corriente que circula hacia tierra en condición simétrica, cuyo valor se expresa en amperios.

$D_f \rightarrow$  Factor de decremento utilizado para considerar la influencia de la componente de corriente continua.

$S_f \rightarrow$  Factor que representa la distribución de la corriente entre las distintas trayectorias del sistema.

$C_P \rightarrow$  Factor que contempla el crecimiento proyectado de la subestación durante su horizonte de operación, el cual contempla el posible aumento de la corriente que circula hacia tierra en el tiempo.

#### 2.2.12.2. Corriente simétrica de falla a tierra (IF)

Falla línea–línea–tierra, despreciando la resistencia de falla y la resistencia de puesta a tierra de la subestación.:

$$I_{F(L-L-T)} = 3I_0 = \frac{3EZ_2}{Z_1(Z_0 + Z_2) + Z_2Z_0}$$

Falla línea–tierra, despreciando la resistencia de falla y la resistencia de puesta a tierra de la subestación.:

$$I_{F(L-T)} = 3I_0 = \frac{3E}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

En esta expresión:

$I_0$ : Corresponde al valor eficaz (RMS) de la componente corriente de secuencia cero generada durante la falla, expresado en amperios (A).

$E$ : Tensión eficaz fase–neutro, cuya unidad de medida es el voltio (V).

$Z_1$ : Corresponde a la impedancia equivalente de la red de secuencia positiva considerada en el nodo donde se origina el evento de falla.

$Z_2$ : Corresponde a la impedancia equivalente de la red de secuencia negativa del sistema eléctrico evaluada en el punto donde se produce la falla.

$Z_0$ : Representa la impedancia equivalente asociada al circuito de secuencia cero en la ubicación donde ocurre la condición de falla.

Para un punto específico del sistema, la condición más crítica en una falla monofásica a tierra se presenta cuando se cumple que  $Z_1 > Z_0 > Z_2$ , Por otro lado, la falla bifásica a tierra adquiere mayor severidad cuando  $Z_1$ , es menor que  $Z_0$  ( $Z_1 < Z_0$ ) En la práctica, es frecuente considerar que en

muchos sistemas eléctricos, La impedancia asociada a la componente de secuencia positiva es aproximadamente igual a la de secuencia negativa ( $Z_1 \approx Z_2$ ).

#### **2.2.12.3. Parámetro de Decremento de corriente (Df)**

En la etapa de dimensionamiento de la malla de puesta a tierra, se recomienda considerar la Corriente transitoria de carácter asimétrico, la cual se obtiene al multiplicar la corriente simétrica de falla por el factor de decremento. Este factor, a su vez, se define mediante la siguiente expresión:

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} (1 - e^{-\frac{t_f}{T_a}})}$$

En esta expresión:

$t_f \rightarrow$  Tiempo de permanencia de la falla, expresado en segundos (s).

$T_a \rightarrow$  Parámetro que caracteriza la tasa de decaimiento de la componente continua (DC).

#### **2.2.12.4. Factor de incremento Futuro (Cp)**

Cuando el diseño de puesta tierra mediante malla se fundamenta exclusivamente en la potencia instalada vigente de la Subestación, sin contemplar posibles ampliaciones de carga ni la adición de nuevos alimentadores, el factor de crecimiento futuro (CP) se considera igual a uno.

#### **2.2.12.5. Determinación del Factor de Distribución de Corriente (Sf)**

El procedimiento de cálculo implica la elaboración de un modelo equivalente que represente los conductores del sistema, tales como los conductores neutros y los conductores de guarda. Para ello, dichos elementos se interconectan con la res de puesta a tierra de la subestación, lo que permite posteriormente resolver el circuito equivalente resultante.

A partir de este análisis, se establece la distribución de la corriente de falla, identificando la parte que se dispersa a través de la malla hacia el suelo circundante, así como aquella que se canaliza

por medio de los conductores neutros o cables de guarda hacia las redes de puesta a tierra instalados en las estructuras de las líneas de ingreso y salida de la subestación (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2019).

Sf se basa en:

- a) Ubicación donde ocurre la falla.
- b) Valor de resistencia correspondiente al sistema de la red de puesta a tierra de la subestación.
- c) Presencia de conductores y ductos instalados en zonas cercanas a la subestación o enlazado directamente a la red de puesta a tierra.
- d) Existencia de cables de protección (guarda), conductores de retorno neutros u otros caminos que permitan el retorno de corriente a través del terreno.
- e) Características de las líneas de transmisión que llegan a la subestación y de los alimentadores que parten de ella, considerando el número de circuitos, la cantidad de cables de protección (guarda) y su respectiva impedancia; además del número y la resistencia de las puestas a tierra en las torres, la longitud de dichas líneas y alimentadores, así como el tipo de material y la sección de los conductores de protección (guarda) y de los cables de retorno neutro.

#### **2.2.12.6. Duración del Evento de Falla ( $t_f$ ) y Tiempo de Contacto Eléctrico**

Por lo general, se considera que el tiempo de la falla equivale al tiempo de exposición al choque eléctrico, asumiendo que este intervalo es menor que la suma de eventos consecutivos, como aquellos asociados a las maniobras automáticas de reconexión de los reconectadores. La selección del tiempo de falla ( $t_f$ ) puede variar según las características del sistema eléctrico, presentando tiempos de despeje, Se presentan valores menores en subestaciones de transmisión y valores más altos en instalaciones industriales o sistemas de distribución.

De igual manera, la definición de los parámetros  $t_f$  y  $t_s$  debe realizarse bajo criterios conservadores, considerando condiciones críticas que podrían disminuir las corrientes de falla y los niveles de corriente admisibles por el cuerpo humano. En la práctica, estos parámetros suelen ubicarse en un rango aproximado entre 0,25 s y 1 s (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2019).

#### **2.2.12.7. Geometría de la Malla**

Las restricciones en la definición de parámetros de una red de puesta tierra se encuentran condicionadas por aspectos tanto económicos como físicos. En este contexto, no es factible emplear soluciones como una gran plancha de CU como red de puesta tierra, debido a los altos costos y a las limitaciones prácticas de instalación (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2019).

En relación con la separación típica entre conductores ( $D$ ), esta suele ubicarse en un intervalo comprendido entre 3 m y 15 m.

Por su parte, la profundidad de instalación ( $h$ ) generalmente varía desde 0,5 m hasta 1,5 m.

En cuanto a los calibres más empleados en los conductores (ACM), estos se encuentran en un rango que va desde 2/0 AWG hasta 500 MCM.

La sección del conductor de la red de puesta tierra (malla), su influencia es prácticamente insignificante sobre la tensión de la red.

En cambio, la superficie total del sistema de puesta a tierra ( $A$ ) representa el factor de mayor incidencia en el cálculo de la resistencia de la red (malla) ( $R_g$ ); de modo que, al incrementarse dicha área, disminuye el valor de  $R_g$  y, por consiguiente, también se reduce el incremento de potencial de tierra (GPR).

#### 2.2.12.8. Cálculo del área transversal del Conductor.

El incremento temporal del nivel térmico de conductor de puesta a tierra, así como en la capacidad requerida del mismo tomando como referencia la corriente de falla que lo atraviesa, se determina a través de la siguiente ecuación:

$$A_{MCM} = I_F \frac{197.4}{\sqrt{\frac{TCAP}{t_c \alpha_r \rho_r}} * \ln \left( \frac{K_a + T_m}{K_a + T_a} \right)}$$

Donde se consideran los siguientes parámetros:

IF: Corriente de falla asimétrica en valor eficaz (RMS), expresada en kiloamperios (kA), considerando el valor máximo obtenido.

AMCM: Área del conductor, expresada en MCM (mil circular mils).

Tm: Temperatura máxima admisible o temperatura de fusión, expresada en grados Celsius (°C).

Ta: Temperatura ambiental, expresada en grados Celsius.

Tr: Temperatura base utilizada para los parámetros propios del material, expresada en grados Celsius.

$\alpha_0$ : coeficiente de variación térmica de la resistividad a 0 °C, expresado en (1/ °C).

$\alpha_r$ : Coeficiente que representa la variación de la resistividad eléctrica del material con la temperatura, referido a la temperatura de base Tr., expresado en (1/ °C).

Pr: propiedad resistiva del material conductor de puesta a tierra a la temperatura de base Tr, expresada en microohmios-centímetro ( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ).

### 2.2.13. Código Nacional de Electricidad – Suministro

La Sección 3 comprende aspectos relacionados con los métodos de puesta a tierra de equipos y conductores, los puntos de conexión de los conductores de puesta a tierra, los enlaces equipotenciales, el dimensionamiento de los conductores, los tipos de electrodos y los requerimientos de resistencia del sistema de puesta a tierra. Asimismo, establece que el sistema de puesta a tierra debe diseñarse con una resistencia suficientemente baja para permitir la rápida actuación de los dispositivos de protección y minimizar los riesgos eléctricos para el personal y el público.

**Figura 9**

*Valores de resistencia de puesta a tierra*

| <b>Para ser usado en:</b>                    | <b>Valor máximo de resistencia de puesta a tierra (ohms)</b> |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Estructuras de líneas de transmisión         | 10 – 25                                                      |
| Subestaciones de alta tensión                | 1                                                            |
| Subestaciones de media tensión en poste      | 10                                                           |
| Subestaciones de media tensión tipo interior | 10                                                           |
| Protección contra rayos                      | 5                                                            |
| Neutro de acometida en baja tensión          | 25                                                           |
| Descargas electrostáticas                    | 25                                                           |
| Equipos electrónicos sensibles               | 5                                                            |
| Telecomunicaciones                           | 5                                                            |

Fuente: Manual de interpretación de código Nacional de electricidad Año 2009

### 2.2.14. Software ETAP en modelamiento eléctrico

El módulo de diseño Ground Grid de ETAP modela sistemas de puesta a tierra mediante elementos finitos 3D, calculando resistencias de malla y tensiones de seguridad con precisión superior al 97% vs mediciones de campo; optimiza diseños complejos en suelos multicapa

(Falcones et al., 2025).

### **Figura 10**

*Interfaz del Software ETAP*



Fuente: Mendieta Yepes, S. B. Universidad de La Salle, Bogotá (2015).

#### **2.2.15. Excel**

La utilización de hojas de cálculo como Excel representa un recurso clave en la ingeniería eléctrica, particularmente en el estudio y diseño de sistemas de puesta a tierra, debido a que facilita la verificación de su desempeño y la seguridad en operación. Asimismo, sobresale por su manejo sencillo y por la posibilidad de efectuar cálculos con rapidez y exactitud.

la etapa de diseño de una red (malla) de puesta a tierra, se deben tener en cuenta distintos parámetros, tales como la resistividad eléctrica del terreno, la hondura de instalación y la extensión y arreglo de los conductores, la profundidad de instalación, la longitud y esquema de los conductores, la máxima corriente asociada a una condición de falla en el sistema, así como la ubicación de los electrodos. Estos factores resultan determinantes para asegurar un desempeño adecuado del sistema.

**Figura 11**

*Hoja de cálculo Excel*



Fuente: <https://concepto.de/excel/>

#### **2.2.16 Metodo de Elementos Finitos**

Es una técnica numérica utilizada para resolver problemas complejos de ingeniería y física mediante la división de un sistema en un conjunto de elementos pequeños e interconectados. Este método permite obtener soluciones aproximadas para problemas que no pueden resolverse de forma analítica, como la distribución de potencial eléctrico, esfuerzos mecánicos, transferencia de calor y flujo de fluidos.

En el ámbito de los **sistemas de puesta a tierra**, el MEF se emplea para modelar el comportamiento del campo eléctrico en el terreno y calcular con alta precisión parámetros como la resistencia de puesta a tierra, la distribución del potencial eléctrico, las tensiones de toque y de paso, y la elevación del potencial de tierra (Ground Potential Rise, GPR). Para ello, el terreno y la malla de puesta a tierra se dividen en numerosos elementos finitos, sobre los cuales se resuelven las ecuaciones que describen la conducción de la corriente eléctrica.

En el software **ETAP**, el Método de los Elementos Finitos es una de las herramientas empleadas para simular el comportamiento de los sistemas de puesta a tierra bajo diferentes condiciones de falla, permitiendo obtener resultados más precisos en comparación con métodos analíticos simplificados, especialmente cuando existen geometrías complejas o terrenos con diferentes capas de resistividad.

### **Ventajas del Método de los Elementos Finitos**

- Permite modelar geometrías complejas de mallas de puesta a tierra.
- Considera terrenos homogéneos y multicapa.
- Proporciona una distribución detallada del potencial eléctrico.
- Calcula con precisión las tensiones de toque y de paso.
- Facilita la optimización del diseño del sistema de puesta a tierra antes de su construcción.

## **II. MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. Enfoque y alcance de investigación**

#### **Enfoque**

El estudio corresponde a una investigación aplicada con enfoque cuantitativo, debido a que se fundamenta en la recolección, medición y análisis de datos numéricos asociados a las características eléctricas del sistema de puesta. Se emplean métodos cuantificables para obtener resultados objetivos y medibles sobre la resistencia a tierra y el estado físico de los componentes del sistema.

#### **Alcance**

En concordancia con la naturaleza del estudio y el objetivo propuesto, este trabajo tiene un nivel de investigación explicativo, esto se debe a que no solo se enfoca en describir los rasgos técnicos de la red de puesta a tierra (PAT) del Hospital Las Lomas – Piura, sino que también intenta examinar y fundamentar las relaciones causales entre las variables implicadas.

### **3.2. Diseño de la investigación**

El diseño utilizado en la presente investigación es no experimental de corte transversal, en la medida en que los datos obtenidos de la red de puesta a tierra del Hospital Las Lomas – Piura serán analizados tal como se presentan en la realidad, sin manipulación deliberada de las variables de estudio.

### **3.3. Población y muestra**

#### **Población**

La población del presente estudio está conformada por el sistema eléctrico general del Hospital Las Lomas – Piura, con énfasis la red de puesta a tierra (PAT). Esto incluye todos los componentes

físicos y eléctricos que componen dicho sistema, tales como:

- Pozos de puesta a tierra
- Varillas o electrodos de tierra
- Conductores de interconexión
- Mallas de tierra en subestaciones y tableros
- Equipos conectados a tierra (tableros, transformadores, UPS, grupos electrógenos)
- Infraestructura de soporte eléctrico (canalizaciones, ductos, cajas de inspección).

Esta población representa la totalidad del sistema PAT a ser evaluado en cuanto a su estado actual, condiciones de operación y comportamiento ante fallas eléctricas, conforme a los estándares normativos.

### **Muestra**

Dado que el estudio busca analizar la totalidad de la red de puesta a tierra del Hospital Las Lomas – Piura y no un subconjunto, se trabajará con una muestra censal, es decir, se tomará como muestra el 100% del sistema PAT existente en la infraestructura eléctrica del hospital.

Esta decisión se justifica por:

- La criticidad de los sistemas eléctricos en hospitales.
- La necesidad de identificar cualquier punto de riesgo eléctrico.
- El tamaño manejable del sistema PAT en comparación con grandes instalaciones industriales.

La muestra incluirá todos los pozos de tierra y electrodos existentes, los tramos de conexión principales, y las áreas donde se conectan equipos médicos y de emergencia, especialmente en zonas como:

- Tablero Eléctrico General.

- Cuartos de máquinas (UPS, generadores).
- Sala de emergencia.
- Cuartos eléctricos secundarios.

### 3.4. Métodos e instrumentos para la recopilación y análisis de datos

Para asegurar la confiabilidad de la información recopilada, se utilizarán las siguientes técnicas e instrumentos:

#### Técnicas

- **Observación:** Permitirá la inspección in situ de los rasgos constructivos y físicos de la red de puesta a tierra del Hospital Las Lomas - Piura, comprobando la ubicación de los electrodos, conductores, conexiones y el estado general de la instalación eléctrica.
- **Análisis Documental:** La revisión técnica de los planos eléctricos, diagramas unifilares, memorias descriptivas, informes de mantenimiento y normativas vigentes se realizará con el objetivo de recopilar información básica para modelar y evaluar el sistema.

#### Instrumentos

- **Ficha de observación estructurada:** Para registrar de forma ordenada y sistemática la información adquirida durante la inspección técnica y la recolección de mediciones, en particular los valores de resistividad del terreno y otros parámetros significativos de la red de puesta a tierra.
- **Software ETAP:** Herramienta especializada para modelar, modelar y determinar la conducta de la red de puesta a tierra (PAT) del Hospital Las Lomas - Piura, mediante el estudio de parámetros como las corrientes de falla, las tensiones de paso y contacto, así como los niveles de seguridad eléctrica establecidos por la legislación vigente.
- **Diagramas unifilares y planos de red:** Para la representación gráfica de la configuración del sistema eléctrico y de la interconexión de sus elementos, lo cual hará más fácil identificar trayectorias de corriente asociada a la falla, puntos de puesta tierra y componentes críticos para el modelado en el software ETAP.

- **Telurómetro digital MEGABRAS Modelo MTD-20KWe:** Para medir la resistencia de las SPAT.

**Figura 12**

*Telurómetro Modelo MEGABRAS MTD-20KWe*



Fuente: MEGABRAS MODELO MTD-20KWe.

### **3.5. Procedimiento de desarrollo e implementación**

- **Recolección y estudio de los datos técnicos del hospital:** El plano de la institución, tanto eléctrico como arquitectónico, fue adquirido y se identificó con él la disposición del sistema de puesta a tierra, así como la localización de las varillas, los conductores y los lugares de conexión. Esta fase posibilitó disponer de una base técnica y gráfica fiable para el modelado ulterior en un software especializado
- **Evaluación de la resistividad del suelo:** Se efectuaron mediciones de resistividad del suelo en campo utilizando el método técnico adecuado, con la finalidad de describir las características eléctricas del terreno.

- Modelamiento del sistema en ETAP: Se utilizó la herramienta de importación correspondiente para trasladar el plano creado en AutoCAD al módulo Ground Grid del software ETAP; el Método de Elementos Finitos (FEM) fue elegido para el análisis, por su capacidad de simular campos eléctricos y la distribución de potenciales con mayor precisión. Después, se comprobó que las varillas y los conductores cumplan con los parámetros de diseño ya calculados.
- Configuración de parámetros eléctricos y del suelo.
- Ejecución del estudio y análisis de resultados.

### 3.6. Operacionalización de variables

En la siguiente tabla se muestra la matriz de operacionalización de variables juntos con sus respectivas dimensiones e indicadores.

**Tabla 1**

*Matriz de operacionalización*

| VARIABLES                                                                                | DEFINICIÓN CONCEPTUAL                                                                                                                                                                                                                                             | DEFINICIÓN OPERACIONAL                                                                                                                                                                     | DIMENSIONES                          | INDICADORES                                                                                                          | INSTRUMENTO                                                            | ESCALA    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>VI:<br/>MODELAMIENTO<br/>DEL SISTEMA DE<br/>PUESTA A<br/>TIERRA<br/>MEDIANTE ETAP</b> | Representación digital del suelo estratificado y geometría de malla en ETAP, incorporando mediciones de resistividad para simular tensiones de paso/toque según IEEE-80-2000 (Cama Farroñay, 2021)                                                                | Se operacionalizará ingresando datos reales del Hospital Las Lomas (resistividad suelo, geometría malla, corrientes falla) en módulo Ground Grid Systems de ETAP v.21 para simulaciones 3D | Recolección de parámetros eléctricos | - Resistividad del terreno ( $\Omega \cdot m$ )<br>- Geometría de electrodos<br>- Corriente asociada a la falla (kA) | Hojas de cálculo (Microsoft Excel); Planos as-built                    | intervalo |
|                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                            | Configuración del modelo en ETAP     | -Parámetros ingresados correctamente (%).<br>- Resultados generados por ETAP ( $\Omega$ , V)                         | Hojas de cálculo (Microsoft Excel); Telurómetro Wenner                 | intervalo |
| <b>VD:<br/>CONDICIONES<br/>DE SEGURIDAD<br/>ELÉCTRICA DEL<br/>SISTEMA DE PAT</b>         | Sistema de electrodos enterrados (malla horizontal + varillas verticales) que restringe los gradientes de potencial de tierra a valores considerados seguros para personas y equipos bajo fallas, evitando tensiones de toque/paso peligrosas (IEEE Std 80, 2010) | Se medirá mediante Parámetros eléctricos obtenidos de simulación ETAP, comparados con límites normativos IEEE 80                                                                           | Resistencia                          | Resistencia eléctrica de la puesta tierra ( $\Omega$ ) $\leq 5 \Omega$                                               | Software ETAP Ground Grid Analysis Telurómetro                         | intervalo |
|                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                            | Voltaje de paso                      | $Ep_{50} = (1000 + 6C_S\rho) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$                                                             | Software ETAP Comparación normativa (IEEE Std 80) Tablas de resultados | intervalo |
|                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                            | Voltaje de toque                     | $Et_{50} = (1000 + 1.5C_S\rho) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$                                                           | Software ETAP Comparación normativa (IEEE Std 80) Tablas de resultados | intervalo |

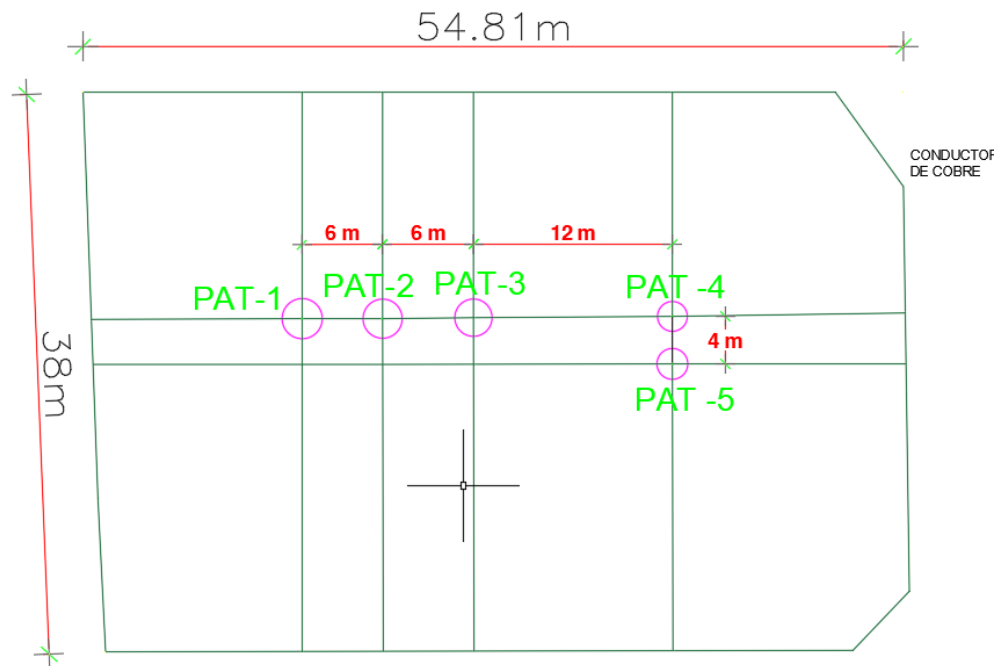
### III. RESULTADOS

#### 4.1. Diagnóstico visual y obtención de planos

Según lo establecido para el primer objetivo específico, se llevó a cabo la evaluación de los planos eléctricos, los diagramas unifilares y la documentación técnica disponible. Esto posibilitó que se diagnosticara de manera preliminar la configuración del sistema de puesta a tierra.

**Figura 13**

*Plano geométrico de la malla Hospital Las Lomas de Piura*



Fuente: Autocad

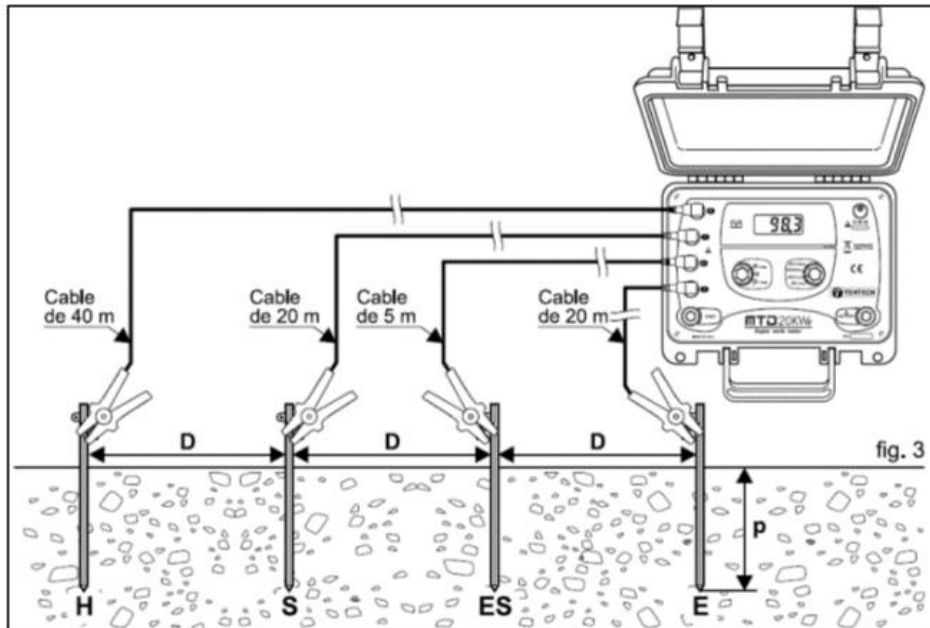
#### 4.2. Medición resistividad terreno

Para asegurar las condiciones de seguridad frente a riesgos eléctricos y el funcionamiento apropiado de las instalaciones del Hospital Las Lomas – Piura, es esencial evaluar un sistema de puesta a tierra (PAT) que sea adecuado. En este contexto, se llevaron a cabo las 5 mediciones de

los Pozos a tierra.

**Figura 14**

*Medida de la resistividad posición  $\rho$  con el telurómetro (4 pole)*



Fuente: Manual MEGABRAS MTD-20KWe.

**Figura 15**

*Medición de la resistividad*



Fuente: Propia

En el anexo 1 se muestran las imágenes de los resultados de las mediciones de campo y en la tabla N°2 se muestra un resumen de los valores obtenidos.

Para determinar La resistividad promedio del suelo se calcula mediante la expresión utilizada en el método de Wenner, de manera simplificada, se expresa como:

$$\rho = 2\pi DR$$

En la siguiente expresión:

$\rho$  = magnitud de la resistividad promedio del suelo ( $\Omega \cdot m$ ).

$\pi = 3,14159$

R = valor indicado en el display del telurómetro ( $\Omega$ ).

D = distancia de entre las jabalinas, expresada en metros (m).

**Tabla 2**

*Medición resistividad terreno*

| N° de Medición | R: Resistencia del suelo ( $\Omega$ ) | D: Distancia (m) | Resistividad de suelo ( $\Omega \cdot m$ )<br>$\rho = 2\pi DR$ |
|----------------|---------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1              | 6                                     | 5                | 188.5                                                          |
| 2              | 5                                     | 5                | 157.1                                                          |
| 3              | 8                                     | 5                | 251.33                                                         |
| 4              | 6                                     | 5                | 188.5                                                          |
| 5              | 6                                     | 3                | 113.1                                                          |
| 6              | 5                                     | 3                | 94.24                                                          |

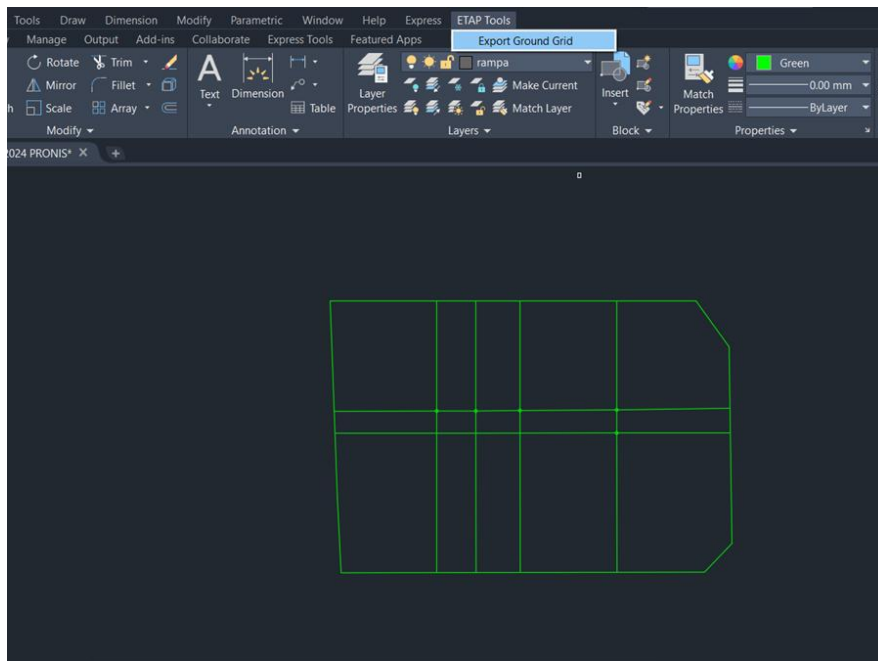
Estos datos se utilizarán en el software ETAP para la estimación de los valores de tensión de contacto y de paso Tolerable, cumpliendo la normativa IEEE Std 080.

#### **4.3. Exportación AutoCAD a ETAP**

Procedemos a exportar plano de AutoCAD al ETAP ( Export ground grid)

**Figura 16**

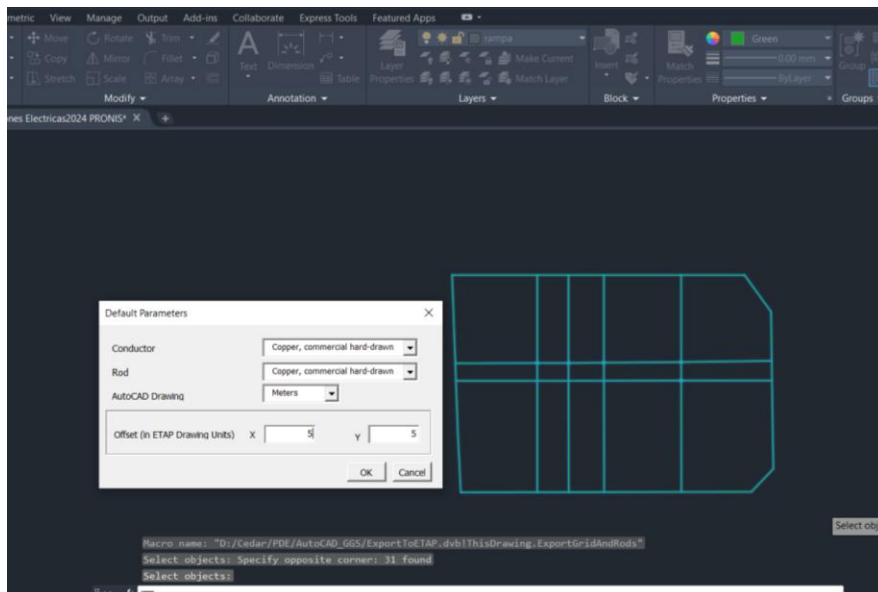
*Exportación AutoCAD a ETAP*



Fuente: Autocad

**Figura 17**

*Elección de las unidades*



Fuente: Autocad

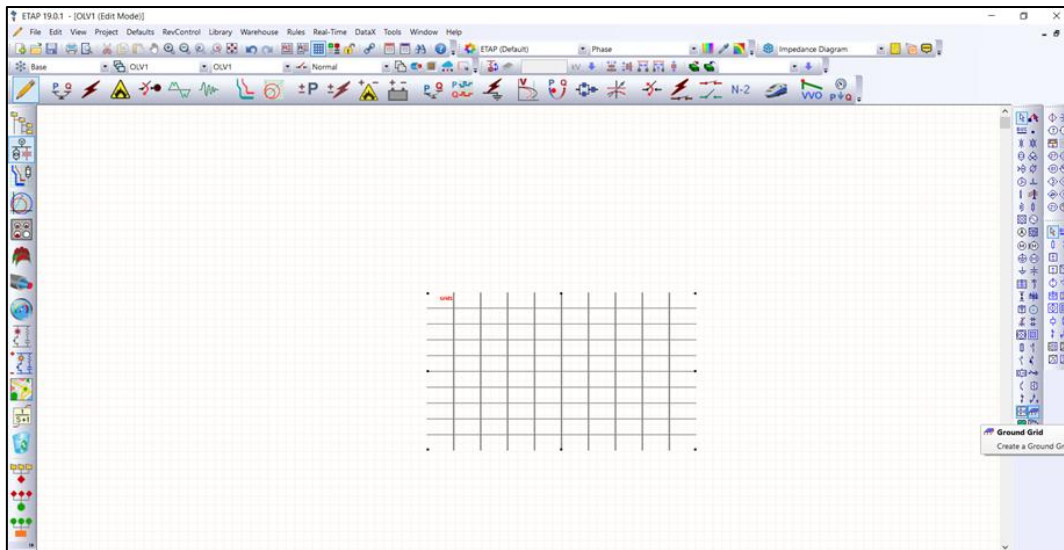
#### 4.4. Configuración módulo Ground Grid

Se eligió el módulo Ground Grid, dentro del contexto de análisis de ETAP, para permitir un espacio de trabajo específico para estudios de sistemas de puesta a tierra como también se establecieron las unidades de trabajo y los parámetros generales del proyecto, garantizando la coherencia con la información real del hospital.

En la Figura 17 se muestra la malla en el programa.

**Figura 18**

*Configuración del módulo Ground Grid en ETAP*



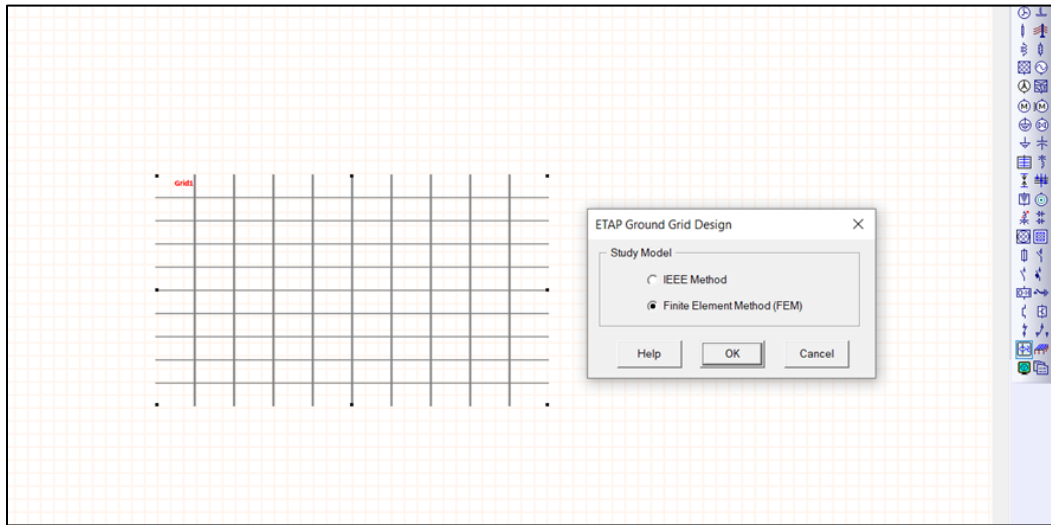
Fuente: Elaboración obtenida mediante ETAP

La malla resultante se ha configurado considerando los datos de resistividad de terreno, determinados mediante la evaluación técnica y en función de las necesidades detectadas del Hospital.

Después, se estableció el cálculo usando el Método de Elementos Finitos (FEM), por su mayor precisión en la determinación de cómo se distribuye el potencial eléctrico en el terreno.

**Figura 19**

## Método de Elementos Finitos (FEM)



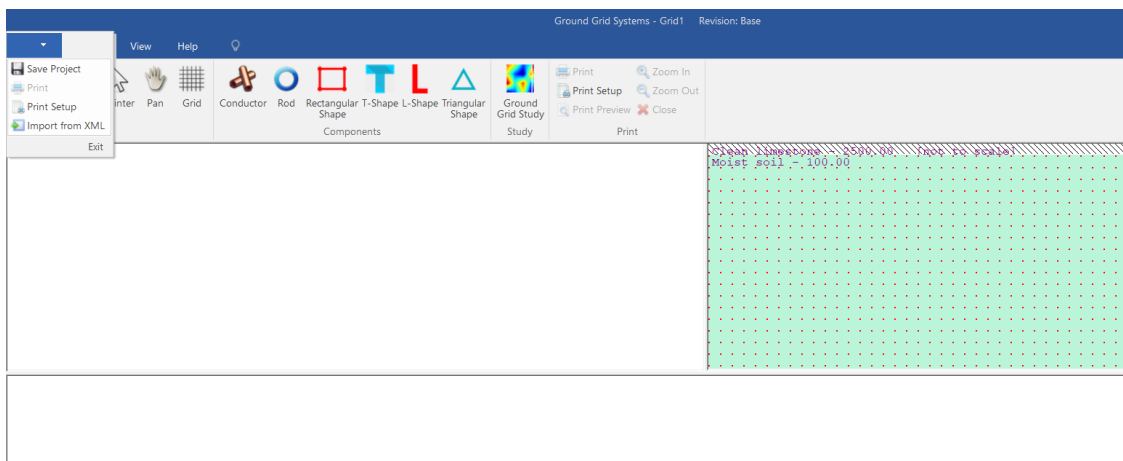
Fuente: ETAP

### 4.5. Importación geometría XML

Este procedimiento posibilitó trasladar los datos geométricos creados previamente en AutoCAD al entorno de análisis del módulo Ground Grid de ETAP V19.

### Figura 20

#### Importación geometría XML



Fuente: ETAP

#### 4.6. Verificación elementos constitutivos

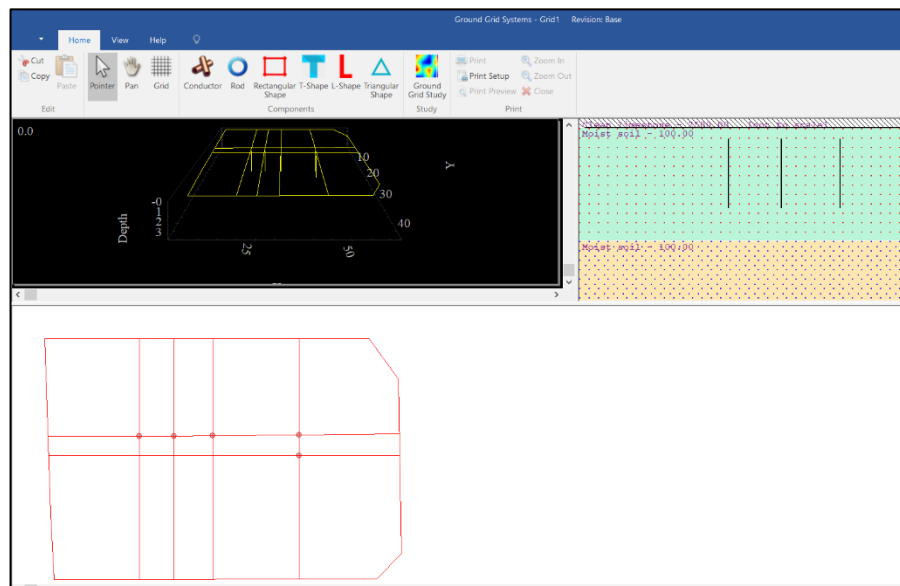
Después de importar la geometría en formato XML al módulo Ground Grid, se llevó a cabo una verificación técnica de los componentes del sistema de puesta a tierra, concretamente los conductores horizontales y las varillas verticales. Se verificó, en esta fase, que la representación gráfica del modelo fuera congruente con la configuración real del sistema que se encuentra instalado en el Hospital Las Lomas de Piura.

Se llevó a cabo un examen minucioso de la conectividad eléctrica de la malla, además de la inspección visual, para garantizar que:

- No habría segmentos sin conexión.
- Las conexiones entre los conductores estaban adecuadamente enlazadas.
- Las varillas estaban eléctricamente conectadas a la malla horizontal.
- No se mostrarán discontinuidades o superposiciones en términos geométricos.

**Figura 21**

*Verificación de la interconexión y continuidad eléctrica*



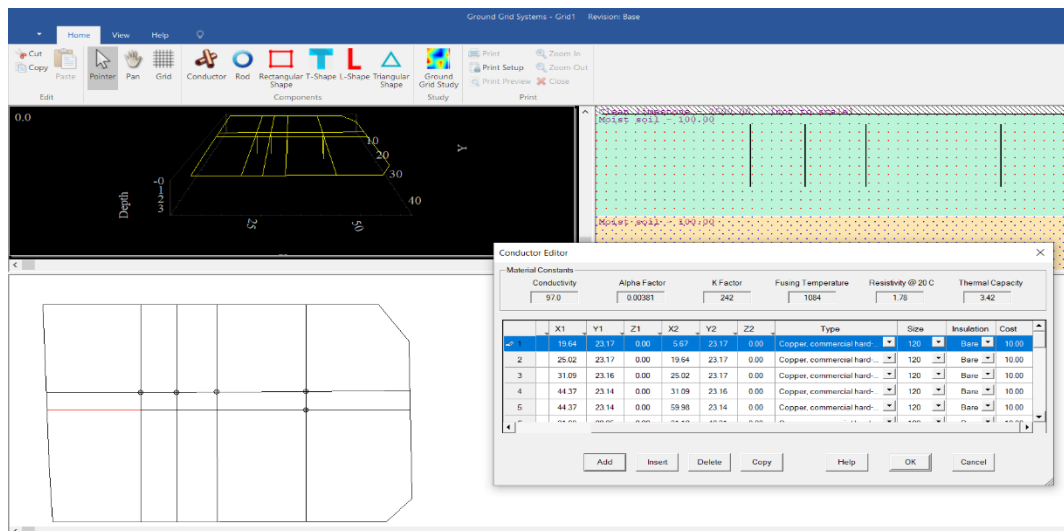
Fuente: ETAP

#### 4.7. Edición de las dimensiones de las varillas

En este punto, se configuraron las varillas verticales del sistema de puesta a tierra en el módulo Ground Grid. Se establecieron parámetros esenciales, incluyendo el diámetro, la profundidad de enterramiento en relación con el nivel del terreno y la longitud efectiva.

**Figura 22**

*Configuración de dimensiones y profundidad de varillas en el módulo Ground Grid de ETAP.*



Fuente: ETAP.

#### 4.8. Configuración conductores malla

Se llevaron a cabo definiciones de las especificaciones técnicas de los conductores horizontales que forman la malla de puesta a tierra. Se determinó el material (cobre), la sección transversal de 70 mm<sup>2</sup>, junto con la profundidad de instalación y la configuración geométrica según el diseño auténtico del hospital.

$$\begin{aligned}
 GPR &= I_g * R_g \\
 5701.1 &= I_g * 3.757 \\
 I_g &= 1.517 \text{ kA} \\
 A_{kcmil} &= I * k_F * \sqrt{t_c}
 \end{aligned}$$

$$A_{kcmil} = 1.517 * 7.06 * \sqrt{0.5}$$

$$A_{kcmil} = 7.5731218 \text{ MCM}$$

$$A_{kcmil} = 7.5731218 * 0.5067$$

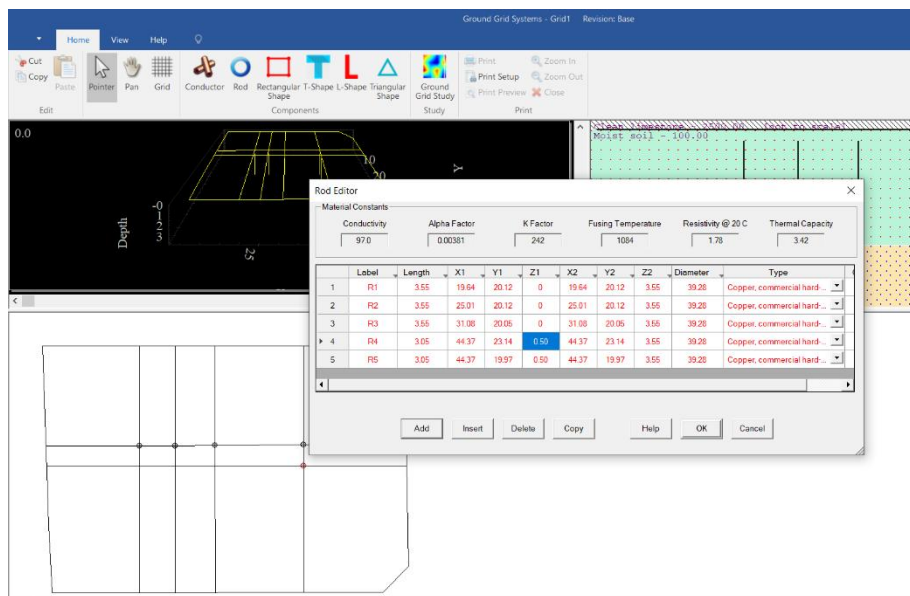
$$A = 3.84 \text{ mm}^2$$

Pero por norma de acuerdo a la IEEE 80 la sección mínima debe ser 70mm<sup>2</sup>

**Figura 23**

*Parámetros eléctricos y geométricos del conductor que conforma la red de puesta a tierra en*

*ETAP*



Fuente: ETAP

#### 4.9. Definición perfil suelo multicapa

Para optimizar la exactitud del análisis, se estableció el modelo de suelo en el ambiente de cálculo. Se estableció un perfil multicapa cuando la caracterización del terreno lo permitió, introduciendo los valores de espesor y resistividad de cada capa.

Este modelamiento posibilita una representación más fiel de la conducta eléctrica del terreno, lo que influye directamente en cómo se distribuyen los potenciales y en cómo se estiman los valores de tensión de paso y de toque.

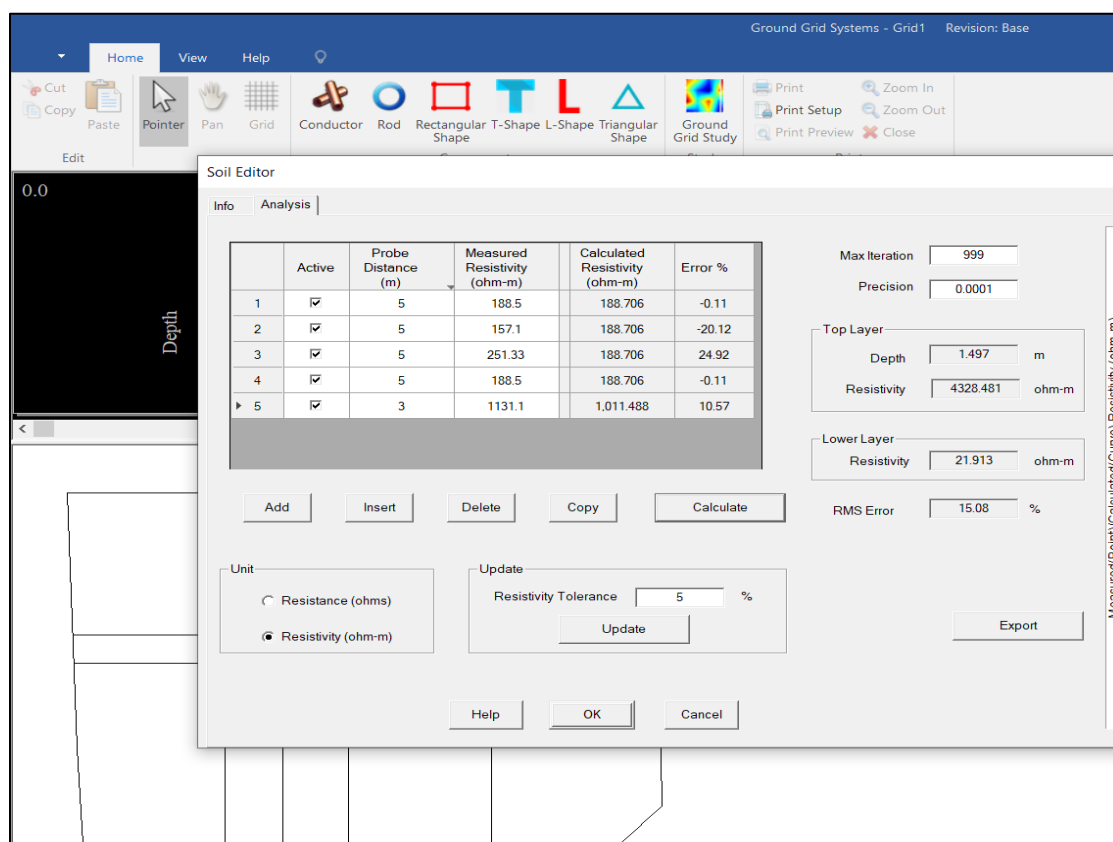
#### 4.10. Ingreso parámetros operativos IEEE 80

Se ingresaron los parámetros de cálculo siguiendo las directrices del documento normativo IEEE Std 80, que incluyen la corriente máxima de falla a tierra, el tiempo para despejar la protección, el coeficiente de reducción y la resistividad del estrato superficial.

Estos parámetros permiten al software estimar automáticamente el nivel de tensión tolerable de contacto (toque) y de paso, que posteriormente se emplean como valores de referencia para la verificación según norma.

**Figura 24**

*Configuración de parámetros conforme a IEEE 80 en ETAP*



Fuente: ETAP

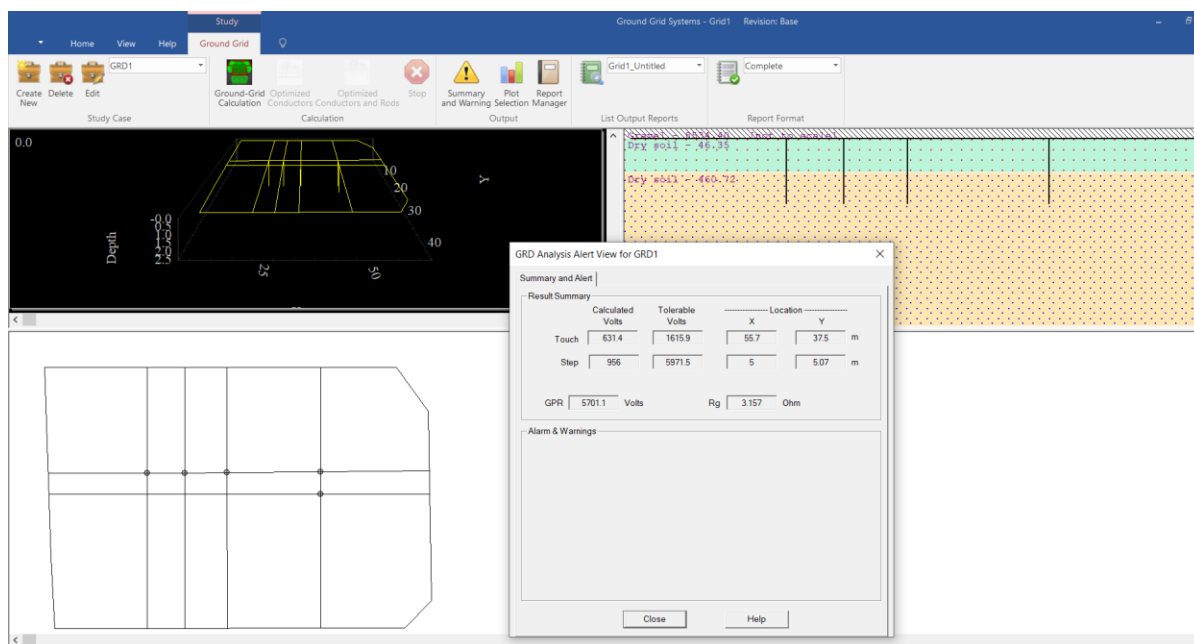
#### 4.11. Resultados y evaluación normativa

Por último, se examinaron las máximas tensiones de toque y de paso, así como los valores de resistencia total del sistema, contrastándolos con los límites permitidos que marca la normativa en vigor (Código Nacional de Electricidad e IEEE 80).

Los valores calculados están por debajo de los límites de seguridad, lo que demuestra que el sistema cumple con las exigencias técnicas requeridas para hospitales.

**Figura 25**

*Resultados y evaluación normativa*



Fuente: ETAP

El análisis de la red de puesta a tierra efectuado en el módulo Ground Grid de ETAP indicó que la tensión de paso (956 V) y la tensión de toque calculada (631.4 V) están por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la norma IEEE 80, que son 5971.5 V y 1615.9 V, respectivamente. Esto demuestra que el sistema da cumplimiento con los estándares de seguridad

eléctrica para proteger a las personas frente a defectos a tierra.

Asimismo, el comportamiento del sistema y el valor de la elevación de potencial de tierra ( $GPR = 5701.1 \text{ V}$ ) son coherentes con la resistencia de la red de puesta a tierra obtenida ( $R_g = 3.157 \Omega$ ), lo que evidencia que la malla de la red, distribuye adecuadamente los gradientes de potencial y mantiene las tensiones en superficie dentro de los límites permisibles, validando de este modo el diseño modelado desde el punto de vista técnico.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

- Se determinó el estado actual del sistema de puesta a tierra (PAT) del Hospital Las Lomas mediante la inspección visual y la revisión de planos y documentación técnica, identificándose la configuración de la malla, los conductores, las varillas y los puntos de conexión existentes. Esta evaluación permitió disponer de información técnica confiable para el desarrollo del modelamiento del sistema.
- Se determinó la resistividad del terreno mediante el método de Wenner en puntos estratégicos del hospital y se recopilaron los parámetros eléctricos requeridos para el análisis, tales como la configuración de la red, la corriente de falla y las características geométricas del sistema. La información obtenida constituyó la base para representar de manera adecuada las condiciones reales de operación en el software ETAP.
- Se desarrolló el modelo del sistema de puesta a tierra utilizando el módulo Ground Grid del software ETAP, incorporando la geometría de la malla, las características del suelo, las varillas de puesta a tierra, los conductores y los parámetros eléctricos del sistema. El modelo permitió simular el comportamiento de la red bajo condiciones de falla mediante el método de elementos finitos (FEM), proporcionando resultados consistentes para la evaluación de la seguridad eléctrica.
- El análisis realizado permitió determinar una resistencia de puesta a tierra de 3.157  $\Omega$ , una tensión de paso de 956 V y una tensión de toque de 631.4 V, valores que se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la

norma IEEE Std 80

- Se analizó y modeló el sistema de puesta a tierra (PAT) del Hospital Las Lomas – Piura mediante el software ETAP, logrando evaluar su desempeño y sus condiciones de seguridad eléctrica conforme a la normativa técnica vigente. Los resultados obtenidos evidenciaron que la resistencia de puesta a tierra, las tensiones de paso y de contacto se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la norma IEEE Std 80, concluyéndose que el sistema cumple con los criterios de seguridad requeridos para proteger a las personas y garantizar el adecuado funcionamiento de las instalaciones eléctricas del hospital.
- El empleo del software ETAP demostró ser una herramienta confiable y eficiente para el análisis y modelamiento de sistemas de puesta a tierra, permitiendo evaluar el desempeño del sistema de forma precisa, optimizar el proceso de verificación normativa y respaldar la toma de decisiones técnicas orientadas a la gestión segura de instalaciones eléctricas hospitalarias.

## **6.2. Recomendaciones**

- Se recomienda complementar la determinación de la resistividad del terreno con otros métodos distintos al de Wenner, como los expuestos en el marco teórico. La aplicación de técnicas adicionales permitiría reducir la incertidumbre en la caracterización del suelo y mejorar la confiabilidad del modelo de suelo multicapa utilizado en el análisis del sistema de puesta a tierra.
- Se recomienda ejecutar simulaciones considerando distintas condiciones de operación, tales como variaciones de carga y escenarios de falla, con el fin de obtener una comprensión más integral del comportamiento del sistema ante condiciones reales. Asimismo, es necesario asegurar que los parámetros utilizados en la simulación se correspondan con las condiciones reales de la instalación, de manera que representen con mayor exactitud los parámetros de la red de puesta a tierra.

## BIBLIOGRAFÍA

- Astudillo-Baza, Y., Torres-Sabino, M., & Lázaro-Gonzaga, M. (2024). Grounding system for a hospital. The International Journal of Engineering and Science (IJES), 13(11), 68–74. Obtenido de <https://www.theijes.com>
- Millan Montalvo, F. A., Garcia Rayo, E. G., Manzano Condori, K. A., & Palacios Rivera, F. K. (2024). Evaluación de la resistencia puesta a tierra en la industria minera del Perú. BIOTECH & ENGINEERING Untels, 4(2), 128–146. Obtenido de <https://doi.org/10.52248/eb.Vol4Iss3.150>
- Switzer, W. K. (1999). Practical Guide to Electrical Grounding. ERICO, Inc.
- Mera-Macías, F. F., Ronquillo-Camino, C. J., & Quimis-Pin, F. A. (2025). Study and Design of a Grounding System at the Luis Arboleda Martínez Manta Higher Technological Institute. Journal Scientific MQRInvestigar, 9(3), 1–24. Obtenido de <https://doi.org/10.56048/MQR20225.9.3.2025.e864>
- Morales Ramírez, J. A. (2021). Influencia del sistema puesta a tierra tipo varilla para la protección de la subestación de 30 kVA en la Minera Zanja – Cajamarca 2021 (Tesis de título profesional). Universidad Continental, Huancayo, Perú.
- Lipa Quispe, R. (2023). Propuesta de mejoramiento del sistema de puesta a tierra del Hospital Regional Manuel Núñez Butrón Puno, mediante tratamiento electroquímico (Tesis de título profesional). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Sucasaca Sucasaca, J. V. (2022). Análisis del comportamiento del sistema de puesta a tierra con tratamiento electroquímico del sistema de comunicación de Radio Urbano FM del distrito de Juliaca, provincia de San Román, región Puno (Tesis de título profesional). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Cama Farroñay, J. E. (2021). Diseño de malla de puesta a tierra mediante la norma IEEE-80, utilizando ETAP, ASPIX y Excel, para la subestación de distribución eléctrica (Tesis de título profesional).

- Saltos-González, J., Saltos-Aráuz, W., & Pico-Mera, H. A. (2023). Optimization design of ground grid mesh of 69/13.8 kV substation using ETAP. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 4(3), e23038. Obtenido de <https://doi.org/10.51798/sijis.v4i3.693>
- Falcones Bohórquez, G. J., & López Castillo, D. A. (2025). Diseño de malla a tierra conforme a la normativa IEEE 80 usando el software ETAP para mitigar descargas eléctricas (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador.
- Castaño, J. (2010). *Sistemas de puesta a tierra: Diseñado con IEEE 80*. Universidad Nacional de Colombia.
- Montenegro Orostegui, A. (1998). *Puesta a tierra en instalaciones eléctricas hospitalarias*. Ministerio de Salud – Dirección General para el Desarrollo de los Servicios de Salud, Programa de Recursos Físicos.
- IEEE. (2007). *IEEE Std 142-2007: Práctica recomendada de IEEE para la puesta a tierra de sistemas de energía industriales y comerciales*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Ramírez, S. & Cano, E. A. (2010). *Sistemas de Puesta a Tierra: Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF*. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8215ANEXOS>

## **ANEXOS**

### Anexo 1: Medición de la resistividad de los 5 puntos

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Medición 1                                                                          | Medición 2                                                                           |
|    |    |
| Medición 3                                                                          | Medición 4                                                                           |
|    |    |
| Medición 5                                                                          | Medición 6                                                                           |
|  |  |

## Anexo 2: Matriz de consistencia

| PREGUNTA                                                                                                                                                                                                                         | OBJETIVOS                                                                                                                                                                                            | HIPÓTESIS                                                                                                                                                                                                         | VARIABLES/CATEGORIA                                       | METODOLOGÍA                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Pregunta general:                                                                                                                                                                                                             | 1.Objetivo principal:                                                                                                                                                                                | 1. Hipótesis general:                                                                                                                                                                                             | Variable / Categoría 1:                                   | 1. Enfoque y Tipo de investigación:                                                                                                                                           |
| ¿De qué manera el análisis y modelamiento del sistema de puesta a tierra (PAT) del Hospital Las Lomas – Piura mediante el software ETAP permite evaluar sus condiciones de seguridad eléctrica conforme a la normativa vigente?  | Analizar y modelar el sistema de puesta a tierra (PAT) del Hospital Las Lomas – Piura mediante el software ETAP para evaluar sus condiciones de seguridad eléctrica conforme a la normativa vigente. | El análisis y modelamiento del sistema de puesta a tierra (PAT) del Hospital Las Lomas – Piura mediante el software ETAP permite evaluar sus condiciones de seguridad eléctrica conforme a la normativa vigente.  | Modelamiento del sistema de puesta a tierra mediante ETAP | Enfoque Cuantitativo, aplicada                                                                                                                                                |
| 2. Preguntas específicas:                                                                                                                                                                                                        | 2. Objetivos específicos:                                                                                                                                                                            | 2. Hipótesis específicas:                                                                                                                                                                                         | Variable / Categoría 2:                                   | 2. Nivel de investigación:                                                                                                                                                    |
| ¿En qué medida el diagnóstico del sistema de puesta a tierra (PAT) mediante inspección visual y revisión documental permite identificar el estado actual del sistema en el Hospital Las Lomas – Piura?                           | Diagnosticar el estado actual del sistema de puesta a tierra (PAT) del Hospital las Lomas a través de una inspección visual y la revisión de planos y documentación técnica.                         | El diagnóstico del sistema de puesta a tierra (PAT) mediante inspección visual y revisión documental permite identificar el estado actual del sistema en el Hospital Las Lomas – Piura.                           | Condiciones de seguridad eléctrica del sistema de PAT     | Explicativa                                                                                                                                                                   |
|                                                                                                                                                                                                                                  | ¿En qué medida la medición de la resistividad del terreno y la recopilación de parámetros eléctricos permiten obtener información necesaria para el modelamiento del sistema PAT en ETAP?            | Medir la resistividad del terreno en puntos clave y recopilar los parámetros eléctricos necesarios del hospital para el modelamiento en ETAP.                                                                     |                                                           | La medición de la resistividad del terreno y la recopilación de parámetros eléctricos permiten obtener la información necesaria para el modelamiento del sistema PAT en ETAP. |
| ¿En qué medida el modelamiento del sistema PAT en el software ETAP permite representar su comportamiento eléctrico integrando resistividad del terreno, corrientes de falla y configuración eléctrica del hospital?              | Modelar el sistema PAT en el software ETAP, integrando la resistividad del terreno, los datos de corrientes de falla y la configuración eléctrica del hospital.                                      | El modelamiento del sistema PAT en el software ETAP permite representar su comportamiento eléctrico integrando resistividad del terreno, corrientes de falla y configuración eléctrica del hospital.              |                                                           | No experimental, transversal                                                                                                                                                  |
| ¿En qué medida la evaluación de la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y toque obtenidas en ETAP permite verificar el cumplimiento de los límites de seguridad establecidos por las normas técnicas vigentes? | Evaluar la resistencia de puesta a tierra, las tensiones de toque y paso obtenidas del modelo para compararlas con los límites de seguridad definidos por las normas técnicas vigentes.              | La evaluación de la resistencia de puesta a tierra y las tensiones de paso y toque obtenidas en ETAP permite verificar el cumplimiento de los límites de seguridad establecidos por las normas técnicas vigentes. |                                                           | 4. Método:                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                   |                                                           | Hipotético deductivo                                                                                                                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                   |                                                           | 5. Población:                                                                                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                   |                                                           | La población del presente estudio está conformada por el sistema eléctrico general del Hospital Las Lomas – Piura, con énfasis en su sistema de puesta a tierra (PAT)         |

### Anexo 3: Certificado de Telurómetro MEGABRAS



LABORATORIO DE CALIBRACIONES

Formato: GTE-LAB-REG-015

Página: 1 de 2

#### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 224534

##### Datos Generales

|                      |             |
|----------------------|-------------|
| Equipo               | TELUROMETRO |
| Marca                | Megabras    |
| Modelo               | MTD20KWe    |
| Número de serie      | 22J0406     |
| Fecha de Calibración | 2025-10-10  |
| Registro             | 14-15074    |

##### Método de Calibración

Por comparación directa con nuestro Patrón  
Se han tomado cinco lecturas por cada valor nominal.

##### Patrón(es) utilizado(s).

| Descripción                                                                    | N° de serie | Trazabilidad                                                     | Validez  |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------|----------|
| DECADA DE RESISTENCIA DE BAJO VALOR<br>Marca: TIME ELECTRONICS<br>Modelo: 1051 | 8151C18     | INACAL<br>Certificado N°: LE - 265- 2021<br>Calibrado 2021-12-06 | 1 año(s) |

##### Lugar de la Calibración

Realizada en las instalaciones de Laboratorio de Calibraciones de LOGYTEC S.A.  
Calle Isidoro Suárez # 236 - San Miguel - Lima

##### Condiciones Ambientales

| Temperatura Ambiente | Humedad Relativa |
|----------------------|------------------|
| 22,5 °C ± 1 °C       | 65,0 % ± 5 %     |

##### Nota

Los resultados expresados en este Certificado son válidos únicamente para la unidad ensayada, no siendo extensivos a otras unidades aun cuando fueran del mismo tipo y lote.

La incertidumbre total expandida está basada en una incertidumbre patrón combinada multiplicada por un factor de expansión  $k=2$  para un nivel de confianza de aproximadamente 95%

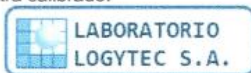


**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 224534**
**Resultado de la calibración**

| Rango         | Nominal       | Patrón             | Lectura         | Error             | $\mu$ (K=2)      |
|---------------|---------------|--------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| 20 $\Omega$   | 5 $\Omega$    | 5,0156 $\Omega$    | 5,01 $\Omega$   | -0,006 $\Omega$   | 0,009 $\Omega$   |
|               | 10 $\Omega$   | 10,0118 $\Omega$   | 10,01 $\Omega$  | -0,002 $\Omega$   | 0,058 $\Omega$   |
| 200 $\Omega$  | 50 $\Omega$   | 50,0753 $\Omega$   | 49,8 $\Omega$   | -0,28 $\Omega$    | 0,08 $\Omega$    |
|               | 90 $\Omega$   | 90,1808 $\Omega$   | 90,2 $\Omega$   | 0,02 $\Omega$     | 0,12 $\Omega$    |
| 2000 $\Omega$ | 600 $\Omega$  | 600,3102 $\Omega$  | 598 $\Omega$    | -2,3 $\Omega$     | 0,9 $\Omega$     |
|               | 900 $\Omega$  | 900,5638 $\Omega$  | 904 $\Omega$    | 3,4 $\Omega$      | 1,2 $\Omega$     |
| 20 k $\Omega$ | 5 k $\Omega$  | 5,0008 k $\Omega$  | 5,04 k $\Omega$ | 0,039 k $\Omega$  | 0,008 k $\Omega$ |
|               | 10 k $\Omega$ | 10,0023 k $\Omega$ | 9,92 k $\Omega$ | -0,082 k $\Omega$ | 0,013 k $\Omega$ |

**Observaciones**

Del resultado de las mediciones se concluye que el instrumento se encuentra calibrado.



Calibrado por:



Firmado digitalmente  
por FERNANDEZ  
ULFEE WILLIAM  
EDUARDO  
Fecha: 2025.10.10  
12:41:51 -05'00'

Eduardo Fernandez Ulfee  
Laboratorio de calibraciones