



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“ESTUDIO DEL VOLTAJE DE PASO Y VOLTAJE DE TOQUE MEDIANTE LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO”**

Propuesta Tecnológica presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en
Sistemas Eléctricos de Potencia.

AUTORES:

Broncano Taipe Elvis Paul

Teneda Tipantaxi Ángel Santiago

TUTOR:

Ing. Mg. C. Proaño Maldonado Xavier Alfonso

LATACUNGA-ECUADOR

Febrero 2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **BRONCANO TAIPE ELVIS PAUL**, con cédula de ciudadanía No: **050400458-1** y **TENEDA TIPANTAXI ANGEL SANTIAGO**, con cédula de ciudadanía No: **180501112-7**, se declara ser autores del presente proyecto de investigación: **“ESTUDIO DEL VOLTAJE DE PASO Y VOLTAJE DE TOQUE MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO”**, siendo Ing. Ms. C. Xavier Alfonso Proaño Maldonado tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.


.....
Broncano Taipe Elvis Paul
C.I. 0504004581



.....
Teneda Tipantaxi Angel Santiago
C.I. 180501112-7

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título:

“ESTUDIO DEL VOLTAJE DE PASO Y VOLTAJE DE TOQUE MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO”, de Broncano Taipe Elvis Paul, con cédula de ciudadanía No: 050400458-1 y Teneda Tipantaxi Ángel Santiago, con cédula de ciudadanía No: 180501112-7 de la Carrera de INGENIERÍA ELÉCTRICA, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la ingeniería y aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Febrero 2020



Tutor

Ing. MS. C. Xavier Alfonso Proaño Maldonado
050265642-4

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**; por cuanto, los postulantes: **BRONCANO TAIPE ELVIS PAUL**, con cédula de ciudadanía No: **050400458-1** y **TENEDA TIPANTAXI ANGEL SANTIAGO**, con cédula de ciudadanía No: **180501112-7** con el título de Proyecto de titulación: **ESTUDIO DEL VOLTAJE DE PASO Y VOLTAJE DE TOQUE MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, febrero del 2020

Para constancia firman:



Lector 1 (Presidente)
Ing. Toaza Iza Jimmy Xavier
CC: 171762106-2



Lector 2
Ing. Pesántez Palacios Gabriel Napoleón
CC: 030189388-9



Lector 3
Ing. León Segovia Marco Aníbal
CC: 050230540-2


AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

De mi consideración:

Quien suscribe, **Dr. Secundino Marrero Ramírez**, con número de ciudadanía **175710790-7** en calidad de director de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, avalo que la Propuesta Tecnológica con el Título: “**ESTUDIO DEL VOLTAJE DE PASO Y VOLTAJE DE TOQUE MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO**”, de auditoria de los postulantes: **Broncano Taipe Elvis Paul**, con cédula de ciudadanía No: **050400458-1** y **Teneda Tipantaxi Ángel Santiago**, con cédula de ciudadanía No: **180501112-7** de la Carrera de **INGENIERÍA ELÉCTRICA**, cumple con los requerimientos metodológicos y aportes que requiere el laboratorio de Alto Voltaje, para mejorar los procesos de enseñanza y autorizo la implementación de dicho proyecto en el laboratorio de domótica.

El trabajo final fue entregado a mi persona.

Atentamente:


.....
Director de Carrera
PHD. Secundino Marrero Ramírez
175710790-7

AGRADECIMIENTO

Dios tu amor y tu bondad no tiene fin, te agradezco a ti por la vida de mis padres, porque me permites amar y gracias a ellos por permitirme conocer de Dios, en su amor y porque sé que cada uno de mis logros son el resultado de tu infinita misericordia.

Gracias a mis padres José y Rosa por ser el motor fundamental que guía mi vida, quienes más que unos buenos padres fueron mis verdaderos amigos, a mi hermana Paty, a mi sobrina Daniela y a mi novia Fátima por acompañarme en cada larga y agotadora noche de estudio.

Agradezco a mi tutor Ing. Mg. C. Xavier Proaño por acompañarme en la elaboración de este proyecto.

Finalmente agradezco a la Universidad quién me abrió sus puertas para brindarme de conocimiento, a mi familia y a mis amigos quienes hicieron los momentos más especiales de mi vida, gracias Dios por darme a los mejores padres de quienes siempre viviré inmensamente agradecido.

Elvis

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios por permitirme sonreír, ante cada uno de mis logros, por darme la oportunidad de aprender de mis errores y por bendecirme para llegar hasta donde he llegado.

Agradezco a mis padres por ser el pilar fundamental para culminar mi carrera, por la confianza, el amor y sobre todo por ser mi guía para corregirme en cada uno de los obstáculos presentes de mi vida.

A la universidad quien me abrió las puertas para brindar y llenarme de conocimiento y a mi tutor Ing. Mg. C. Xavier Proaño por acompañarme en la elaboración de este proyecto.

Finalmente agradezco a mis hermanos Darío y Cecilia, a mi familia por sus consejos y por el apoyo que me han demostrado, así también a mis amigos con los cuales compartimos momentos que siempre se quedaran grabados en mi mente.

Santiago

DEDICATORIA

Dedico este proyecto principalmente a Dios, a la virgen de Baños de Agua Santa, por haberme dado la vida, salud, sabiduría y por permitirme haber llegado a este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi padre José Manuel Broncano gracias por tu esfuerzo y tu sacrificio, por el tiempo que estuviste conmigo, compartiendo tus experiencias, conocimientos y consejos. A mi madre Rosa Taipe gracias por estar a mi lado, por tu amor, tu apoyo y tu comprensión, gracias a los dos por ser los pilares fundamentales de mi vida.

A mis hermanos Jorge, Roció, Paty y Franklin gracias por la confianza y el apoyo moral, para culminar con mi carrera profesional, siempre viviré eternamente agradecido.

Gracias por siempre inculcarme valores, por educarme y a ser de mí un buen ser humano, noble, sencillo y sobre todo creyente en la fe de Dios para ser lo que ahora soy.

Elvis

DEDICATORIA

Este proyecto le dedico a Dios, por la vida que me otorga a diario junto a mis seres queridos y por permitirme culminar esta etapa profesional brindándome salud y sabiduría en cada momento de mi existir.

A mis padres por ser el pilar fundamental de mi mundo, quienes con sus consejos, esfuerzo y dedicación han hecho de mí un buen ser humano, con valores para poder enfrentarme a la vida y demostrar lo que hasta el día de ahora soy.

A mis hermanos y familiares quienes de una u otra manera contribuyeron en esta etapa tan importante de mi vida, gracias por sus consejos, apoyo y confianza brindada y puesta en mí, estaré siempre agradecido con todos ustedes.

Santiago

INDICE DE CONTENIDO

1. INFORMACIÓN BÁSICA	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	2
2.1. Título de la propuesta	2
2.2. Tipo de propuesta alcance	2
2.3. Área del conocimiento.....	2
2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica.....	2
2.5. Objeto de estudio y campo de acción	3
2.5.1. Objeto de estudio.....	3
2.5.2. Campo de acción	3
2.6. Situación problemática y problema.....	3
2.6.1. Situación problemática.....	3
2.6.2. Problema.....	4
2.7. Hipótesis.....	5
2.8. Objetivos.....	5
2.8.1. General.....	5
2.8.2. Específicos.....	5
2.9. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados	6
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1. Sistema de Puesta a Tierra.....	6
3.1.1. Puesta a tierra de servicio o de referencia	7
3.1.2. Puesta a tierra de protección.....	7
3.1.3. Importancia de la puesta a tierra.....	7
3.2. Malla de tierra.....	8
3.2.1. Características básicas de una malla de puesta a tierra	8
3.2.2. Los componentes básicos de una malla de puesta a tierra son:	8
3.3. Métodos de medición de la resistividad del terreno	8

3.3.1.	Método de Wenner	9
3.3.2.	Método de curva de caída de potencial	10
3.3.3.	Método de la pendiente.....	11
3.4.	Metodología para diseñar un sistema de puesta a tierra	11
3.4.1.	Resistividad del suelo (ρ)	11
3.4.2.	Dimensiones de la superficie de la subestación	11
3.4.3.	Corriente máxima de falla a tierra o corriente de cortocircuito.....	12
3.4.3.1.	Origen de los cortocircuitos.....	12
3.4.3.2.	Corriente de corto circuito de un transformador	12
3.4.3.2.1.	Valores típicos de impedancia porcentual de un transformador.....	13
3.4.4.	Sección del conductor.....	13
3.4.5.	Tensiones de paso y toque máximas permitidas.....	14
3.4.5.1.	Criterio de tensiones de paso y de toque tolerables.....	15
3.4.6.	Definición de la geometría de la Malla	16
3.4.7.	Longitud del Conductor a enterrarse	17
3.4.8.	Resistencia de la Malla	18
3.4.9.	Cálculo de la corriente de la malla (I_G)	18
3.4.9.1.	Factor de decremento (D_f)	19
3.4.9.2.	Factor de crecimiento (C_P)	19
3.4.9.3.	Cálculo del factor de división de corriente (S_f)	19
3.4.9.4.	Evaluación del GPR	21
3.4.10.	Obtención de los coeficientes K_i , K_m y K_s	21
3.4.10.1.	Coficiente K_m	21
3.4.10.2.	Coficiente K_i	23
3.4.10.3.	Coficiente K_s	23
3.4.11.	Tensiones de diseño.....	23
3.4.11.1.	Tensión de Malla	23

3.4.11.2. Tensión de Paso	23
3.4.12. Verificación de Tensiones permitidas	24
3.5. Tensiones tolerables por el cuerpo humano	24
3.5.1. Tensión de malla máxima.....	24
3.5.2. Tensión de paso máxima	27
3.6. Corriente tolerable por el cuerpo humano	29
3.6.1. Electropatología.....	29
3.7. Valor de resistencia de conductor y varilla de puesta a tierra	32
3.7.1. Resistencia del conductor de una puesta a tierra	32
3.7.2. Resistencia de la varilla de puesta a tierra	33
4. METODOLOGÍA.....	34
4.1. Tipos de la investigación	34
4.2. Nivel de investigación	35
4.3. Métodos de la investigación	35
4.4. Instrumentos de investigación	35
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	36
5.1. Flujograma.....	36
5.2. Dimensionamiento de la malla para el caso base.	36
5.3. Análisis de resultados dependiendo de la posición de la persona caso base.	37
5.3.1. Corriente de falla, posición de la persona en la malla tridimensional	37
5.3.2. Curvas del comportamiento de la corriente de falla que circula a través del cuerpo humano... ..	38
5.3.3. Resumen de resultados:	40
5.4. Análisis de resultados al varear la resistividad del suelo.....	40
5.4.1. Voltaje de paso y voltaje de toque.....	41
5.4.2. Análisis del Voltaje de Paso en cuatro posiciones de la malla establecida en el prototipo virtual.	42
5.4.2.1. Falla en el extremo de la malla establecida	42

5.4.2.2.	Falla en el centro de la malla establecida	43
5.4.2.3.	Falla en la mitad del lado vertical de la malla establecida	44
5.4.2.4.	Falla en el extremo de la mitad del lado horizontal de la malla establecida	45
5.4.3.	Análisis del Voltaje de Toque en cuatro posiciones de la malla establecida en el prototipo virtual	46
5.4.3.1.	Falla en el extremo de la malla establecida	46
5.4.3.2.	Falla en el centro de la malla establecida	47
5.4.3.3.	Falla en la mitad del lado vertical de la malla establecida	48
5.4.3.4.	Falla en la mitad del lado horizontal de la malla establecida	49
5.5.	Análisis del Voltaje de Paso y Toque al variar la corriente de falla en la malla establecida del prototipo virtual.	51
5.5.1.1.	Análisis del voltaje de paso y toque cuando la corriente de falla tenga un valor de 5590 A.....	51
5.5.1.2.	Análisis del voltaje de paso y toque cuando la corriente de falla tenga un valor de 10000 A... ..	52
5.6.	Análisis del Voltaje de Paso y Toque al variar la resistividad de la capa superficial	53
5.6.1.	Análisis del voltaje de paso y toque cuando la resistividad superficial es de 2000 Ω -m.....	53
5.6.2.	Análisis del voltaje de paso y toque cuando la resistividad superficial es de 4000 Ω -m.....	53
5.6.3.	Análisis del voltaje de paso y toque cuando la resistividad superficial es de 5000 Ω -m.....	54
6.	PRESUPUESTO Y ANALISIS DE IMPACTOS	55
6.1.	Presupuesto.....	55
6.1.1.	Detalle de presupuesto.....	56
6.1.2.	Resumen del presupuesto	56
6.2.	Análisis de impactos.....	57
6.2.1.	Impacto técnico.....	57
6.2.2.	Impacto social.....	57

7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
7.1.	Conclusiones.....	57
7.2.	Recomendaciones	59
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	60

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Malla de puesta a tierra	8
Figura 3.2. Método de Wenner mediciones de la resistividad del terreno	9
Figura 3.3. Medición de la resistencia de puesta a tierra por el método de la caída de potencial.	10
Figura 3.4. Medición de la resistencia de puesta a tierra por el método de la pendiente.	11
Figura 3.5. Diseño preliminar de la malla.	16
Figura 3.6. Situaciones básicas de choque eléctrico.....	24
Figura 3.7. Circuito equivalente para la determinación de la tensión de contacto aplicada....	25
Figura 3.8. Circuito equivalente para la determinación de la tensión de toque aplicada.	26
Figura 3.9. Circuito equivalente para la determinación de la tensión de paso aplicada.....	27
Figura 3.10. Circuito equivalente para la determinación de la tensión de paso aplicada.....	28
Figura 3.11. Zonas de tiempo/corriente de los efectos de las corrientes alternas de 15 Hz a 100.	31
Figura 5.1. Flujograma de programación.	36
Figura 5.2. Corriente de falla en cuatro distintas posiciones de la malla tridimensional.	37
Figura 5.3. Curva de la corriente que circula en el cuerpo humano, con la falla en el extremo de la malla.....	39
Figura 5.4. Curva de la corriente que circula en el cuerpo humano, con la falla en el centro de la malla.	39
Figura 5.5. Curva de la corriente que circula en el cuerpo humano, con la falla en la mitad del lado vertical de la malla.....	39
Figura 5.6. Curva de la corriente que circula en el cuerpo humano, con la falla en la mitad del lado horizontal de la malla.....	40
Figura 5.7. Curva de voltajes de paso con falla en el extremo de la malla.	42
Figura 5.8. Curva de voltajes de paso con falla en el centro de la malla	43
Figura 5.9. Curva de voltajes de paso con falla en el lado vertical de la malla.....	44
Figura 5.10. Curva de voltajes de paso con falla en el lado horizontal de la malla.	45
Figura 5.11. Curva de voltajes de toque con falla en el extremo de la malla.....	47
Figura 5.12. Curva de voltajes de toque con falla en el centro de la malla.....	48
Figura 5.13. Curva de voltajes de toque con falla en el lado vertical de la malla.....	49
Figura 5.14. Curva de voltajes de toque con falla en el lado horizontal de la malla.....	50
Figura 5.15. Curva de voltaje de paso y toque cuando la corriente de falla tenga un valor de 5590 A.	51

Figura 5.16. Curva de voltaje de paso y toque cuando la corriente de falla tenga un valor de 10000 A.	52
Figura 5.17. Curva de corriente de paso y toque al varear la resistencia superficial de 2000 Ω -m.	53
Figura 5.18. Curva de corriente de paso y toque al varear la resistencia superficial de 4000 Ω -m.	54
Figura 5.19. Curva de corriente de paso y toque al varear la resistencia superficial de 5000 Ω -m.	55

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Beneficiarios del proyecto.	3
Tabla 2.2. Actividades relacionadas con los objetivos	6
Tabla 3.1. Impedancias de conductores.	20
Tabla 3.2. Porcentaje de personas que se protegen según la corriente de disparo.	30
Tabla 3.3. Relación entre energía específica y efectos fisiológicos.	30
Tabla 3.4. Factor f para el cálculo de resistencia de varilla.....	34
Tabla 5.1. Resumen de datos del Voltaje de Paso con cuatro posiciones diferentes de la corriente de falla	38
Tabla 5.2. Resumen de datos del Voltaje de Toque con cuatro posiciones de la corriente de falla	38
Tabla 5.3. Mediciones obtenidas en campo de diferentes tipos de suelo	41
Tabla 5.4. Datos de verificación del dimensionamiento de la malla con los datos de campo.	41
Tabla 5.5. Valores de voltajes de paso con falla en el extremo de la malla	42
Tabla 5.6. Valores de voltajes de paso con falla en el centro de la malla	43
Tabla 5.7. Valores de voltajes de paso con falla en el lado vertical de la malla	44
Tabla 5.8. Valores de voltajes de paso con falla en el lado horizontal de la malla	45
Tabla 5.9. Valores de voltajes de toque con falla en el extremo de la malla.....	46
Tabla 5.10. Valores de voltajes de toque con falla en el centro de la malla.....	47
Tabla 5.11. Valores de voltajes de toque con falla en el lado vertical de la malla.....	48
Tabla 5.12. Valores de voltajes de toque con falla en el lado horizontal de la malla.....	49
Tabla 5.13. Valores de voltaje de paso y toque cuando la corriente de falla tenga un valor de 5590 A	51
Tabla 5.14. Valores de voltaje de paso y toque cuando la corriente de falla tenga un valor de 10000 A.	52
Tabla 5.15. Valores de corriente de paso y toque al varear la resistencia superficial de 2000 Ω -m.....	53
Tabla 5.16. Valores de corriente de paso y toque al varear la resistencia superficial de 4000 Ω -m.....	54
Tabla 5.17. Valores de corriente de paso y toque al varear la resistencia superficial de 2000 Ω -m.....	54
Tabla 6.1. Detalle de presupuesto de personal	56
Tabla 6.2. Resumen del presupuesto	56

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICA

Autores:

Broncano Taipe Elvis Paul

Teneda Tipantaxi Angel Santiago

RESUMEN

La presente propuesta tecnológica se enmarcó en el desconocimiento de la variación de voltaje de paso y toque frente al cambio de la resistividad en los diferentes tipos de suelo, donde se encuentran instaladas la puesta a tierra, que en muchos casos ocasiona que se produzcan accidentes e incidentes en las operaciones eléctricas. Es por esto que se encuadro en la evaluación del voltaje de paso y toque, a través de una malla de puesta a tierra programada en un prototipo virtual, que permitió determinar los límites tolerables de la corriente que atraviesa por el cuerpo humano en función de las diferentes posiciones que toma dentro de una instalación eléctrica. La metodología que se utilizó para la recolección de la información, fue de tipo bibliográfica y de campo a través de un método inductivo hipotético, que se contrarresto con la construcción de un prototipo programado en una malla tridimensional en el programa HTML, que facilitó la visualización de la posición de la persona, además de demostrar las variaciones del potencial de paso y de toque, que ocurren al momento de suscitarse una falla ya sea interno o externo, de esta manera se logró evaluar el voltaje y corriente en cada una de las simulaciones de los circuitos, en varias posiciones y con diferentes resistividad del terreno. Se obtuvo como resultado que, en el voltaje de paso y toque, mientras la resistencia del suelo aumenta, la corriente que atraviesa por el cuerpo humano es alta, mientras que, si disminuye, la corriente es baja.

Palabras clave: Malla de puesta a tierra, voltaje de paso, voltaje de toque, resistividad del suelo.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES ACADEMIC UNIT

ELECTRICAL ENGINEERING CAREER

Authors:

Broncano Taibe Elvis Paul

Teneda Tipantaxi Angel Santiago

ABSTRACT

The present technological proposal was framed in the ignorance of the variation of step and touch voltage in front of the change of the resistivity in the different types of soil, where the grounding is installed, which in many cases could cause accidents and incidents in electrical operations. This is why this research project was based on in the evaluation of the step and touch voltage, through a grounding grid programmed in a virtual prototype, which allowed to determine the tolerable limits of the energy that passes through the human body based on the different positions that it takes inside an electrical installation. Bibliographic and field methodology was used to collect the information through a hypothetical inductive method, which was counteracted by the construction of a prototype programmed in a three-dimensional mesh in the HTML program, which facilitated the visualization of the position of the person, in addition to demonstrating the variations of the step and touch potential, which occur at the time of a failure either internal or external, in this way it was possible to evaluate the voltage and energy in each one of the simulations of the circuits, in various positions and with different resistivity of the ground. It was obtained as a result that, in the step and touch voltage, while the resistance of the ground increases, the energy which through the human body is high, while, if it decreases, the energy is low.

Keywords: Grounding mesh, step voltage, touch voltage, ground resistivity.

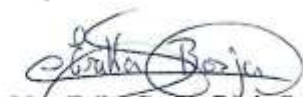
AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de la propuesta tecnológica al Idioma Inglés presentado por los Señores Egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELÉCTRICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS: BRONCANO TAIPE ELVIS PAUL Y TENEDA TIPANTAXI ÁNGEL SANTIAGO**, cuyo título versa “**ESTUDIO DEL VOLTAJE DE PASO Y VOLTAJE DE TOQUE MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO**”, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, febrero del 2020

Atentamente,



Msc. Erika Cecilia Borja Salazar
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 050216109-4



1. INFORMACIÓN BÁSICA

Propuesto por:

Broncano Taipe Elvis Paul y Teneda Tipantaxi Ángel Santiago.

Tema Aprobado:

“Estudio del voltaje de paso y voltaje de toque mediante la implementación de un módulo didáctico”.

Carrera:

Ingeniería Eléctrica.

Director del proyecto de titulación:

Ing. Mg. C. Proaño Maldonado Xavier Alfonso.

Equipo de trabajo:

Tutor: Ing. Mg. C. Proaño Maldonado Xavier Alfonso.

Nació en Latacunga, Ecuador en 1985. Sus estudios primarios los realizó en la Escuela Fiscal “Isidro Ayora”, recibió su título de Bachiller Técnico Industrial en el Colegio Técnico Superior “Ramón Barba Naranjo”, estudio en la Universidad Politécnica Nacional donde recibió el título de “Ingeniero Eléctrico”, realizó una maestría en la Universidad Técnica de Cotopaxi mención en “Gestión de Energías”, actualmente es docente en la Universidad Técnica de Cotopaxi, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Ponente 1: Broncano Taipe Elvis Paul.

Nació en Latacunga, Ecuador en 1996. Sus estudios primarios los realizó en la Escuela Fiscal Mixta “Carlos Egas Manrique”, recibió su título en Físico Matemático en el Colegio Nacional “Eudófilo Álvarez”, actualmente cursa sus estudios superiores en la Universidad Técnica de Cotopaxi, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Ponente 2: Teneda Tipantaxi Angel Santiago

Nació en Tungurahua, Ecuador en 1995. Sus estudios primarios los realizó en la Escuela Fiscal Mixta “La Merced”, recibió su título de Bachiller “Técnico Industrial” en el Colegio Técnico “Atahualpa”, actualmente cursa sus estudios superiores en la Universidad Técnica de Cotopaxi, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Lugar de ejecución:

Universidad Técnica de Cotopaxi, laboratorios de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Tiempo de duración del proyecto: Octubre-2019/Febrero-2020.

Fecha de entrega: Febrero 2020.

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y proyección ambiental.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Explotación y diseño de Sistemas eléctricos de potencia.

Tipo de propuesta tecnológica: Se desarrolló un prototipo virtual en 3D, el cual consta de una malla rectangular predeterminada, donde se podrá evaluar el voltaje de paso y voltaje de toque mediante la variación de: resistividad suelo, resistividad de la capa superficial y corriente de falla. La característica principal del proyecto planteado es la tecnología aplicada, debido a que en el proyecto se podrá ingresar valores reales de corrientes de cortocircuito, también se encontrará una guía de usuario, adicional se puede calcular las diferentes configuraciones de malla como son: malla rectangular, cuadrada y en L.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1. Título de la propuesta

“Estudio del voltaje de paso y voltaje de toque mediante la implementación de un módulo didáctico”.

2.2. Tipo de propuesta alcance

La propuesta del presente proyecto tiene como alcance el desarrollo de un prototipo que permita evaluar el voltaje de paso y toque comparado con la resistividad del terreno.

2.3. Área del conocimiento

El área del conocimiento pertenece a “07. Ingeniería, Industria y Construcción”, sub área del conocimiento “071. Ingeniería y Profesiones Afines”, sub área específica del conocimiento “0713. Electricidad y energía”.

2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica

La presente propuesta tecnológica se enmarcó en el desconocimiento de la variación de voltaje de paso y toque frente al cambio de la resistividad en los diferentes tipos de suelo, donde se

encuentran instaladas la puesta a tierra, que en muchos casos ocasiona que se produzcan accidentes e incidentes en las operaciones eléctricas. Es por esto que se encuadro en la evaluación del voltaje de paso y toque, a través de una malla de puesta a tierra programada en un prototipo virtual, que permitió determinar los límites tolerables de la corriente que atraviesa por el cuerpo humano en función de las diferentes posiciones que toma dentro de una instalación eléctrica. La metodología que se utilizó para la recolección de la información, fue de tipo bibliográfica y de campo a través de un método inductivo hipotético, que se contrarresto con la construcción de un prototipo programado en una malla tridimensional en el programa HTML, que facilitó la visualización de la posición de la persona, además de demostrar las variaciones del potencial de paso y de toque, que ocurren al momento de suscitarse una falla ya sea interno o externo, de esta manera se logró evaluar el voltaje y corriente en cada una de las simulaciones de los circuitos, en varias posiciones y con diferente resistividad del terreno. Se obtuvo como resultado que, en el voltaje de paso y toque, mientras la resistencia del suelo aumenta, la corriente que atraviesa por el cuerpo humano es alta, mientras que, si disminuye, la corriente es baja.

2.5. Objeto de estudio y campo de acción

2.5.1. Objeto de estudio

Desconocimiento de la variación de los voltajes de paso y toque frente al cambio de la resistividad del suelo, en un sistema de puesta a tierra rectangular.

2.5.2. Campo de acción

La resistividad del suelo en la implementación del sistema de puesta a tierra rectangular.

Tabla 2.1. Beneficiarios del proyecto.

Beneficiarios directos	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad Técnica de Cotopaxi. • Investigadores del proyecto.
Beneficiarios indirectos	<ul style="list-style-type: none"> • Empresas eléctricas, (públicas y privadas). • Estudiantes de Ingeniería Eléctrica.

2.6. Situación problémica y problema

2.6.1. Situación problémica

En nuestro país, existen varias metodologías que permiten hacer mediciones de resistencia e impedancia de la red de tierra y los voltajes superficiales, esto a través del “Sistemas de Puesta a Tierra”, con la finalidad de salvaguardar y proteger al contingente humano, los equipos

eléctricos y electrónicos, de corrientes transitorias peligrosas o producidas por fallas de aislamiento. Es importante reconocer la corriente que presenta el voltaje de paso y toque, los mismos que varían de acuerdo a la resistencia del cuerpo y la resistividad del suelo, información vital para el correcto dimensionamiento, construcción e instalación de los sistemas de puesta a tierra.

El máximo diferencial entre puntos que están haciendo contacto los dos pies de una persona, con una separación de un metro (voltaje de paso) y la tensión entre el punto de contacto de los pies de una persona que se encuentra parada y el punto de contacto de una o de sus dos manos al tocar una estructura metálica (voltaje de contacto), cuando ocurre una falla de fase a tierra, deben ser analizados de manera profunda y en especial la resistencia o resistividad del terreno en donde se va a colocar la malla a tierra.

La inexistencia de sistemas de puesta a tierra en algunos casos y el desconocimiento de la variación de los voltajes de paso y toque frente al cambio de la resistividad del suelo, ocasionado por la falta de aplicación de las normas existentes para la construcción de edificaciones. Lo anterior acompañado del desinterés por conocer los beneficios, que brinda la protección de un sistema de puesta a tierra, son los principales problemas que conllevan a la consecución de la presente propuesta tecnológica.

Investigación que surge en referencia a los escasos estudios realizados en el voltaje de paso y toque, mediante el cambio de las variables que interfieren en el estudio, como la resistividad del suelo, gravado y corriente de falla, haciéndose necesario, la construcción de un prototipo virtual que permita estudiar la corriente que atraviesa en una persona frente a su posición, a través de una interfaz programada en una PC.

2.6.2. Problema

Prácticamente todos los equipos eléctricos y electrónicos necesitan estar conectados a una red de puesta a tierra, como medio de protección contra disturbios o transitorios inestimables (descargas electrostáticas, descargas atmosféricas, interferencia electromagnética y errores humanos). Por tal motivo la aplicación de normas establecidas, permite obtener niveles seguros de voltajes de paso y de toque dentro del área cercada y en sus proximidades, además permite mejorar los aspectos técnicos y así tener un sistema de puesta a tierra que garantice la seguridad de las personas y bienes materiales.

A través de los cálculos en una malla de puesta a tierra, se busca mantener un diferencial de potencial bajo entre las diferentes estructuras metálicas, con las cuales se pretende resguardar

al personal de cualquier choque eléctrico. Para determinar el voltaje de paso y toque, es necesario establecer el dimensionamiento del mallado de puesta a tierra, el tiempo de despeje de falla y del gravado, estos factores influyen en la variación de los voltajes, variables que se necesitan para establecer el estudio, para ello se implementará un prototipo virtual, mismo que será elaborado para una mejor visualización de los resultados. Para el efecto, se toma como referencia estudios previos, donde establecen relaciones entre los voltajes y la resistividad del suelo.

La creación de un prototipo virtual, enlazado a un PC, por medio de un programa que ayude a visualizar los voltajes de paso y toque, es importante con el fin de determinar en que influye el tipo de suelo que se puede presentar al construir o elaborar el mallado de puesta a tierra y como la posición de una persona afecta al estudio planteado. El presente proyecto, permite, poner en práctica los conocimientos adquiridos en el transcurso de la vida estudiantil y plasmarlos en la creación de una propuesta tecnológica, analizando como la resistividad del suelo influye en los voltajes y la corriente que atraviesa en una persona, en relación a su posición. Se define la factibilidad de la presenta propuesta tecnológica, en razón que se cuenta con los recursos, tanto materiales y financieros para su consecución. Además, se dispone de la información necesaria para cubrir el sustento teórico y metodológico del sistema planteado.

2.7. Hipótesis

A través del análisis matemático y la programación de un prototipo, se podrá evaluar el voltaje de paso y toque en una malla de puesta a tierra de una persona en función de su posición.

2.8. Objetivos

2.8.1. General

Evaluar el voltaje de paso y toque, mediante el modelo de una malla de puesta a tierra, programada en un prototipo virtual, para determinar los límites tolerables de la corriente que atraviesa por el cuerpo humano en función a su posición.

2.8.2. Específicos

- Analizar los fundamentos teóricos en los que se enmarca el diseño e implementación de los sistemas puesta a tierra, a través de la medición de la resistividad del suelo para la tensión de toque y paso.
- Elaborar un prototipo virtual mediante la ejecución del programa HTML, para visualizar las variables planteadas, a través de los cálculos previos en el sistema de puesta a tierra.

- Comparar el voltaje de paso y toque, a través de la variación de la resistividad del terreno, de grava y la corriente de falla, en el sistema de puesta a tierra predeterminada.

2.9. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados

Tabla 2.2. Actividades relacionadas con los objetivos

Objetivos	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
Analizar los fundamentos teóricos en los que se enmarca el diseño e implementación de los sistemas puesta a tierra, a través de la medición de la resistividad del suelo para la tensión de toque y paso.	Búsqueda y análisis de información de los sistemas de malla de puesta a tierra, de la medición de la resistividad del suelo y la determinación del voltaje de paso y toque.	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentación teórica y metodológica de la propuesta. 	<p>Técnica: Análisis documental de textos, artículos, tesis y normativas.</p> <p>Instrumento: Fuentes de almacenamiento de datos.</p>
Elaborar un prototipo virtual mediante la ejecución del programa HTML, para visualizar las variables planteadas, a través de los cálculos previos en el sistema de puesta a tierra.	Diseñar el prototipo virtual, a través de un software	<ul style="list-style-type: none"> • Simulador de voltaje de paso y toque. • Adecuación de la malla puesta a tierra al prototipo. 	<p>Técnica: Aplicación práctica.</p> <p>Instrumento: Programa HTML.</p>
Comparar el voltaje de paso y toque, a través de la variación de la resistividad del terreno, de grava y la corriente de falla, en el sistema de puesta a tierra predeterminada	<p>Simulación de la resistividad del suelo, grava y corriente de falla en el prototipo del sistema de puesta a tierra.</p> <p>Constantes mediciones por medio del programa que permita reconocer las variaciones de voltajes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Resistividad del suelo. • Resistividad de grava. • Corriente de falla. • Voltaje de paso y toque. • Resistencia de la malla. 	<p>Técnica: Análisis de información obtenida en el prototipo.</p> <p>Instrumento: Programa HTML. Herramientas office.</p>

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Sistema de Puesta a Tierra

La puesta a tierra es la unión eléctrica de una parte del circuito eléctrico o de un tramo no perteneciente al mismo, mediante un conductor de cobre desnudo compuesto por uno o varios electrodos soterrados en el suelo, sin equipos de protección. El objetivo de un sistema de puesta a tierra o SPT es:

- a) Facilitar un camino a la corriente de tierra con la mínima resistencia.

- b) Eliminar las tensiones peligrosas entre los componentes metálicos en la zona de flujo de corriente y también entre dichos elementos y tierra.
- c) Garantizar la seguridad del ser humano, en las instalaciones y en su proximidad [1].

3.1.1. Puesta a tierra de servicio o de referencia

Es la que conecta a tierra, ya sea de manera temporal o permanente, el neutro de los grupos electrógenos o de los transformadores, por ejemplo:

- a) Cuando se dan mantenimiento a las redes eléctricas de distribución.
- b) Barra o borne de tierra principal.

3.1.2. Puesta a tierra de protección

Es la conexión directa a tierra de los tramos conductores pertenecientes a una instalación eléctrica, que no deben estar sometidos a una diferencia de potencial, pero que podrían ser puestas eventualmente en tensión, ya sea por avería o por contactos accidentales, por ejemplo:

- a) Las instalaciones de pararrayos.
- b) Las instalaciones realizadas con tubería metálica (agua, calderos, depósitos, instalaciones de ascensores y montacargas) y todo componente metálico que esté sujeto a la exposición con un conductor de baja tensión.
- c) Los circuitos de fuerzas, además de las estructuras y partes metálicas pertenecientes a la vivienda u industria.
- d) Los montajes de antenas, tales como: TV y Frecuencia Modulada. [2]

3.1.3. Importancia de la puesta a tierra

Los motivos principales por los que se debe realizar una correcta puesta a tierra, unida a un elemento de corte por intensidad de defecto, se describe a continuación:

- Limitar el voltaje debido a maniobras.
- Limitar los voltajes de las partes metálicas de los equipos o máquinas a valores no peligrosos para las personas.
- Limitar el voltaje debido al contacto no intencional con sistemas de mayor voltaje.
- Impedir la acumulación de cargas electrostáticas o inducidas en los equipos, máquinas o elementos metálicos que se hallen en zonas con riesgo de explosión.
- La puesta a tierra, opera como elemento protector en los casos siguientes: Contra las descargas atmosféricas, como elemento de unión de las diferentes masas, en redes con neutro aislado y como unión equipotencial.

3.2. Malla de tierra

Se la define, como el “conjunto de conductores eléctricos conectados en forma horizontal o vertical uniformemente espaciados, incluyendo electrodos de puesta a tierra enterrados en forma vertical, que se ubican en el interior del suelo” [3] . La malla de puesta a tierra en subestaciones eléctricas tiene una gran área de instalación ubicándose en el suelo del patio de maniobras y es recubierta con ripio (piedra en pequeños pedazos). Los conductores están soldados comúnmente con suelda exotérmica e instalada a una profundidad no mayor de 70 cm [4].

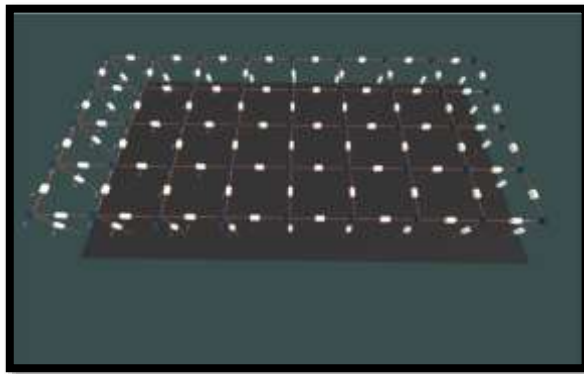


Figura 3.1. Malla de puesta a tierra.

3.2.1. Características básicas de una malla de puesta a tierra

Las puestas a tierra deben estar constituidas por materiales y elementos que permitan un correcto funcionamiento a lo largo de su expectativa de vida útil a un costo razonable. Las características básicas son:

- Baja resistencia y una distribución de voltaje de superficie razonable.
- Buena capacidad conductora.
- Larga durabilidad.

3.2.2. Los componentes básicos de una malla de puesta a tierra son:

- Conductor de puesta a tierra.
- Conectores o juntas.
- Varilla o jabalina de puesta a tierra.

3.3. Métodos de medición de la resistividad del terreno

Para que el diseño de un sistema de puesta a tierra sea correcto se requiere conocer el valor de la resistividad del terreno según la profundidad, y proporcionar una elección óptima sobre la

disposición, para que el sistema de puesta a tierra obtenga buenos resultados técnico-económicos.

Las técnicas de medida del método Wenner, son descritas en detalle en la IEEE Std. 80-2000. “IEEE Guía para medir la resistividad de la tierra, la impedancia de tierra y el potencial de la superficie de tierra de un sistema a tierra”, un extracto de la misma se describe a continuación [5].

3.3.1. Método de Wenner

Para determinar la resistividad del suelo, es necesario la circulación de una corriente por el suelo analizado, este método también se lo conoce como los cuatro electrodos, y se ocupa un telurómetro para dicha medición. Consiste, en 4 electrodos enterradas en línea recta, a igual distancia A y profundidad B, el voltaje entre los dos electrodos interiores de potencial, es medido y dividido entre la corriente que fluye a través de los dos electrodos externos, para dar un valor de resistencia en Ω .

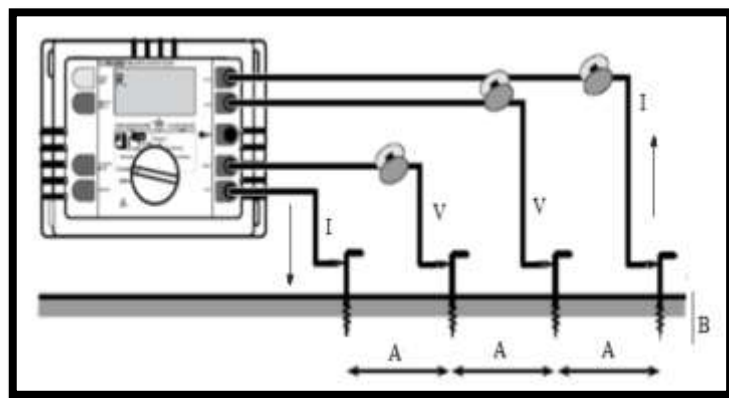


Figura 3.2. Método de Wenner mediciones de la resistividad del terreno
Fuente: [6].

La fórmula siguiente, mide la resistividad del terreno [4]:

$$\rho = \frac{4\pi AR}{1 + \frac{2A}{\sqrt{A^2 + 4B^2}} - \frac{2A}{\sqrt{4A^2 + 4B^2}}} \quad (1)$$

Donde:

R= Resistencia medida del terreno (Ohmios).

A= Distancia entre electrodos (Varillas) (m).

B= Profundidad a la que se enterró el electrodo (m).

ρ = Resistividad del suelo (Ohmios-m).

En la práctica se considera la distancia de enterramiento no mayor a $0.1 a$ [4]. Si la distancia de enterramiento b es muy pequeña en comparación con la distancia de separación entre electrodos a , se puede asumir $b=0$ entonces la ecuación (1) se reduce a:

$$\rho = 2\pi aR \quad (2)$$

La resistividad obtenida como resultado de las ecuaciones 1 y 2 representa la resistividad promedio a una profundidad h igual a la separación de los electrodos a es decir la separación entre los electrodos se considera la profundidad del estrato del suelo en dicha área, es decir $a = h$ [4]. Si la profundidad es grande en comparación con la longitud de separación de los electrodos $20b$ [7], entonces la resistividad aparente será dada por la ecuación 2.

3.3.2. Método de curva de caída de potencial

Este método consiste en clavar el electrodo de corriente (C) a una cierta distancia, de manera que se encuentra esté fuera de la zona de influencia de la puesta a tierra incógnita y luego se mide el valor de resistencia de puesta a tierra, variando la distancia del electrodo de voltaje (P), se puede observar que existe una zona de potencial plana, equivalente a un valor constante de resistencia. Ese es, por tanto, el verdadero valor de la resistencia de una puesta a tierra.

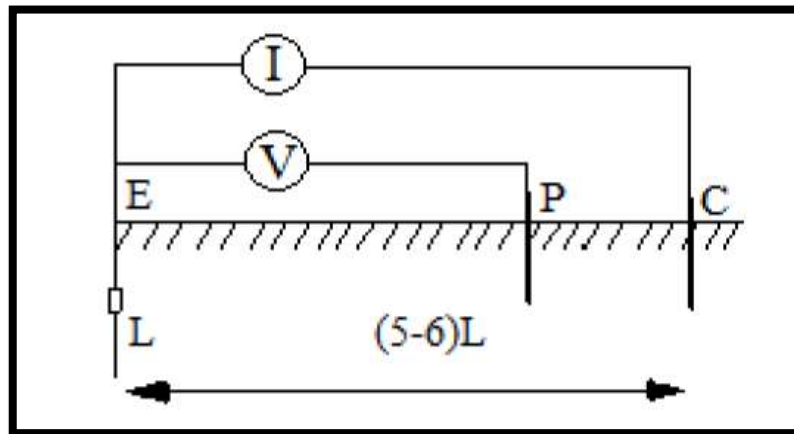


Figura 3.3. Medición de la resistencia de puesta a tierra por el método de la caída de potencial.

Fuente: [6].

Para que el método sea más simple se puede reducir el número de medidas a tres. Si se hace un promedio de ellas y el valor de cada medida se encuentra dentro del error aceptable para la medición (por ejemplo 5%), comparándola con el promedio, entonces, el valor "real" promedio hallado es el verdadero valor de la resistencia de puesta a tierra. Si se determina la mayor dimensión de la puesta a tierra (L), se puede decir que una distancia apropiada es cuando está entre 5 y 6 veces dicha dimensión, la figura 3.3, representa un esquema de medición de la resistencia de puesta a tierra por el método de caída de potencial.

3.3.3. Método de la pendiente

Este método se utiliza para medir sistemas de puesta a tierra de tamaño considerable, cuya máxima longitud supera los 30 m. o cuando la posición del centro de la puesta a tierra no es conocido o inaccesible como un edificio, La figura 3.4, muestra el procedimiento sugerido para medir técnicamente las resistencias de puesta a tierra en grandes sistemas [6].

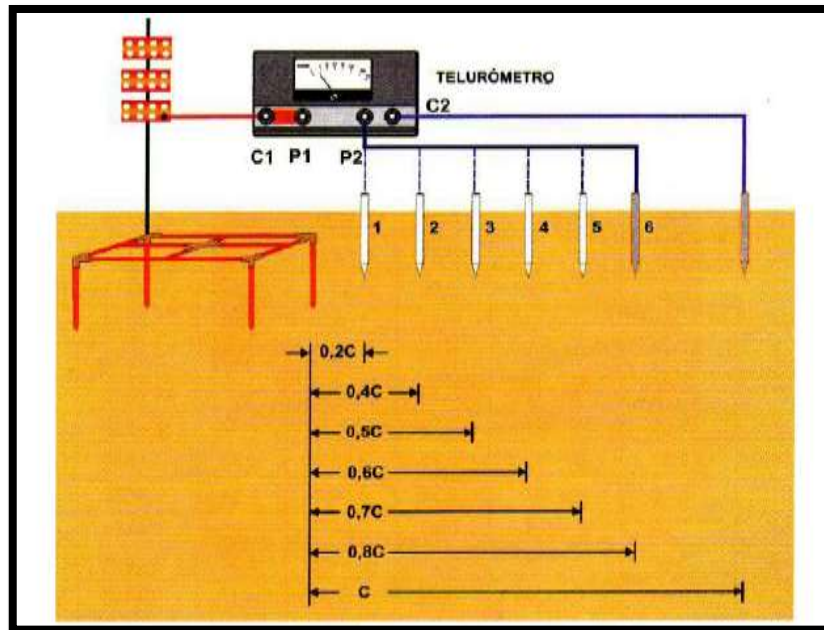


Figura 3.4. Medición de la resistencia de puesta a tierra por el método de la pendiente.
Fuente: [6].

3.4. Metodología para diseñar un sistema de puesta a tierra

El diseño de la red de tierra debe ser realizado de manera que no se presenten potenciales de riesgo para el personal que opere la subestación, o para los equipos que se encuentran en la subestación [5]. A continuación, se describe la metodología usada para diseñar la malla de puesta tierra en el presente proyecto.

3.4.1. Resistividad del suelo (ρ)

Se denomina resistividad del terreno a la propiedad que tiene para conducir la electricidad, y es conocida como la resistencia específica del terreno. En su medición, se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno donde se desee hacer el estudio porque los suelos no tienen composición uniforme a este resultado se conoce como resistividad aparente.

3.4.2. Dimensiones de la superficie de la subestación

Las dimensiones de la subestación se han obtenido por medio de la consideración de las longitudes de equipos y distancias mínimas de seguridad que debe cumplir la subestación.

3.4.3. Corriente máxima de falla a tierra o corriente de cortocircuito

La corriente de cortocircuito consta de una corriente alterna de frecuencia de servicio, con amplitud variable en el tiempo, y de una corriente continua variable (aperiódica) superpuesta, que se atenúa hasta hacerse cero [8] . El objetivo primordial del cálculo de la corriente de cortocircuito se basa en:

- a) Definir la capacidad de ruptura de los interruptores en un SEP, es decir, mediante el cálculo de la corriente simétrica donde se producen las corrientes de cortocircuito más elevadas.
- b) Ayudar a establecer un sistema adecuado de protecciones para diversas condiciones de falla, es decir, un cálculo de distribución de las corrientes por la red tanto simétrico como asimétrico.

3.4.3.1. Origen de los cortocircuitos

Los cortocircuitos tienen distintos orígenes [8]:

- a) **Por deterioro o perforación del aislamiento:** debido a calentamientos excesivos prolongados, ambiente corrosivo o envejecimiento natural.
- b) **Por problemas mecánicos:** rotura de conductores o aisladores por objetos extraños o animales, ramas de árboles en líneas aéreas e impactos en cables subterráneos.
- c) **Por sobretensiones:** debido a descargas atmosféricas maniobras o defectos.

En promedio, se están produciendo alrededor de 2.000 tormentas eléctricas en el mundo, ocupando las nubes de tormenta entre el 10 y 15% de la superficie terrestre. Alrededor de 2.000 personas fallecen por una descarga directa. La probabilidad de que mate un rayo es una en dos millones.

Las subestaciones de potencia son protegidas por puntas pararrayos colocadas sobre las estructuras, y por los hilos de guarda de las líneas que rematan en la subestación. Los hilos de guarda están conectados directamente a la malla de tierra de la subestación. Las subestaciones de distribución no son protegidas contra una descarga atmosférica directa, porque se ha comprobado que los rayos caen mayormente sobre las líneas. [9]

- d) **Por factores humanos:** falsas maniobras sustitución inadecuada de materiales, etc.

3.4.3.2. Corriente de corto circuito de un transformador

La corriente de cortocircuito se obtiene a través del método de por unidad de la norma ANSI/IEEE 141-1993 y [10], que consiste en obtener una corriente base tanto del primario

como del secundario y así obtener la corriente de cortocircuito simétrico y asimétricos a través de las siguientes ecuaciones:

- Corriente base:
$$I_f = \frac{kVA * 1000}{\sqrt{3} * k_B} \quad (3)$$

- Corriente Simétrica:
$$I_{ccmax} = \frac{100\%}{Z\%} * I_{sec} \quad (4)$$

- Corriente asimétrica:
$$I_{ccasim} = I_{ccmax} * F_{asim} \quad (5)$$

F_{asim} = Factor de asimetría = 1,25 (factor de depender de la relación X/R en el punto de falla [11]).

3.4.3.2.1. Valores típicos de impedancia porcentual de un transformador

La impedancia porcentual de un transformador es un valor medido que se encuentra impreso en la placa de identificación y que en realidad es una medición de voltaje.

3.4.4. Sección del conductor

Cada uno de los elementos del sistema de tierra incluyendo los conductores de la red, los cables de puesta a tierra de los equipos y estructuras y los electrodos, deben ser seleccionados de tal manera que presenten las siguientes características:

- Tengan la suficiente conductividad para que no contribuyan substancialmente a producir diferencias de potencial locales.
- Resistencia a la fusión y deterioro en las condiciones más desfavorables de magnitud y tiempo de duración de corriente de falla que pueden quedar expuestas.
- Sean capaces de mantener sus características aun cuando sean expuestos a la corrosión [12].

El conductor utilizado según el Código Nacional de Seguridad ANSI C2-1984 especifica AWG No. 6 cobre o AWG No. 4 aluminio, pero por normativa de los sistemas de puesta a tierra según la IEEE 80-2000 se ha seleccionado como mínimo el No. 2/0 AWG por razones mecánicas y de conductividad.

Se utiliza el cobre por su mejor conductividad tanto eléctrica como térmica y sobre todo por ser resistente a la corrosión debido a que es catódico respecto a otros materiales que pudieran estar enterrados cerca de él. La Sección del conductor a través de la norma IEEE 80-1996, para un sistema de tierra requerida, en función de la elevación de temperatura de corto tiempo, la magnitud y el tiempo de duración de la falla y cuando se conocen las constantes del material del conductor, se puede determinar por medio de la expresión:

$$A_{cmil} = 1973,52 * I \sqrt{\frac{\frac{ts * \alpha_r * \rho_r * 10^4}{TCAP}}{\ln\left(1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a}\right)\right)}} \quad (6)$$

O también se puede determinar a través de la expresión:

$$A_{mm^2} = I \sqrt{\frac{\frac{ts * \alpha_r * \rho_r * 10^4}{TCAP}}{\ln\left(1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a}\right)\right)}} \quad (7)$$

Donde:

I = corriente de falla asimétrica (kA)

A_{cmil} = área de la sección transversal del conductor (cmil)

A_{mm^2} = área de la sección transversal del conductor (mm²)

T_m = máxima temperatura permisible del material (°C)

T_a = temperatura ambiente (°C)

α_r = coeficiente de resistividad térmica a 0°C (1/°C)

ρ_r = resistividad del conductor a tierra referido a la T_f (μΩ-cm)

$k_0 = 1/\alpha_0$ o también $k_0 = (1/\alpha_0) - T_f$ en °C

T_{cap} = capacidad térmica por unidad de volumen (J/ (cm °C))

Una vez obtenido los resultados de sección del conductor a utilizarse se procede a ver el anexo 1 donde se encuentran las secciones de acuerdo a la normativa.

3.4.5. Tensiones de paso y toque máximas permitidas

Tanto el voltaje de paso como el de toque máximos que pueden presentarse en la subestación se los calculará para una persona con un peso promedio de 50 kg o 110 libras, así como también para un promedio de 70 kg o 154 libras [4]. Dentro del diseño de la red de tierra para la subestación se contempla el uso de una capa superficial de material aislante, el cual permite limitar de mejor manera los valores de las tensiones que pueden presentarse en la superficie de la subestación. Para considerar el efecto que se produce por la presencia del material superficial, se considera un factor denominado de reducción superficial, C_s ; el mismo que contempla una corrección para calcular la resistencia efectiva de un pie en presencia de una capa de material superficial. El factor C_s depende de la resistividad del material superficial y de la resistividad del suelo en el que se va a colocar la malla y se lo calcula mediante la siguiente fórmula.

$$C_s = 1 - \frac{0.09 * (1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2 * h_s + 0.09} \quad (8)$$

Donde:

C_s = Factor de reducción superficial.

h_s = Grosor de la capa superficial (m), es 0.1 mm., mínimo.

ρ_s = Resistividad de la capa superficial (Ohmios-m).

ρ = Resistividad del terreno (Ohmios-m).

Cabe indicar que en el caso más general que trata de colocar grava como material superficial, se tiene una resistividad superficial que puede variar entre $5000 > \rho_s > 2000 \Omega m$, y una altura superficial de 0.1 a 0.15 metros aproximadamente. Determinado el factor de corrección debido a la capa superficial de material aislante, se pueden obtener los voltajes de paso y choque máximos para la malla de tierra.

3.4.5.1. Criterio de tensiones de paso y de toque tolerables

La seguridad de una persona depende de la prevención de cantidades críticas de energía de choque absorbidas por el cuerpo humano, antes de que la falla sea despejada y el sistema desenergizado. Los voltajes máximos tolerables por un cuerpo humano de 50 kg., de peso corporal, durante un circuito accidental no debe exceder los siguientes límites [13]:

- Tensión de paso límite tolerable por un cuerpo de 50 kg. de peso corporal:

$$E_{p50} = (1000 + 6 * C_s * \rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (9)$$

- Tensión de toque límite tolerable por un cuerpo de 50 kg. de peso corporal:

$$E_{t50} = (1000 + 1.5 * C_s * \rho_s) * \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad (10)$$

Así también, los voltajes máximos tolerables por un cuerpo humano de 70 kg., de peso corporal, durante un circuito accidental no debe exceder los siguientes límites, a continuación, las ecuaciones necesarias:

- Tensión de paso límite tolerable por un cuerpo de 50 kg. de peso corporal:

$$E_{p70} = (1000 + 6 * C_s * \rho_s) * \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \quad (11)$$

- Tensión de toque límite tolerable por un cuerpo de 50 kg. de peso corporal:

$$E_{t70} = (1000 + 1,5 * 0,7245 * 2500) * \frac{0,157}{\sqrt{0,5}} \quad (12)$$

Dónde:

$R_c = 1000\Omega \rightarrow$ Resistencia promedio del cuerpo humano.

$I_B = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} =$ Corriente tolerable en función del tiempo por el cuerpo (A).

$t_s =$ Duración del choque (s).

$6 * C_s * \rho_s = 2R_f \rightarrow$ Resistencia a tierra de los 2 pies separados 1m en serie sobre la capa superficial.

$1.5C_s \rho_s = R_f / 2 \rightarrow$ Resistencia a tierra de los 2 pies juntos en serie sobre la capa superficial.

$C_s \rightarrow$ Factor de disminución de la capa superficial calculada con la ecuación.

$\rho_s \rightarrow$ Resistividad del material de la capa superficial en $\Omega\cdot m$.

Las tensiones de paso y de toque reales deben ser menores que los respectivos límites máximos permisibles (o tolerables) para obtener seguridad.

3.4.6. Definición de la geometría de la Malla

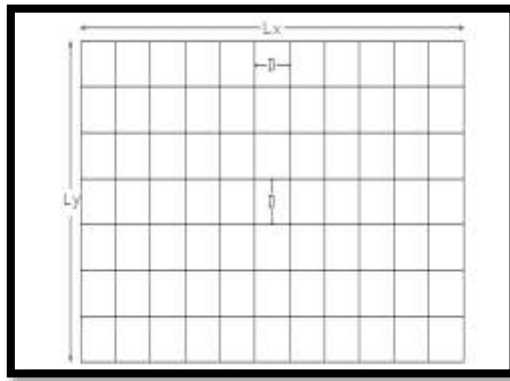


Figura 3.5. Diseño preliminar de la malla.

Fuente: [14].

La geometría de la malla debe ser lo más simétrica posible, la separación entre conductores de la malla es aleatoria, y debe irse ajustando hasta obtener los valores permitidos para las tensiones que se presentarán en la malla. Para el caso del presente proyecto se prevé un espacio rectangular de terreno para la construcción de la subestación.

Se determina su dimensionamiento a través de:

Número de conductores en el eje X.

$$n = \frac{L_y}{D} + 1 \quad (13)$$

Número de conductores en el eje Y.

$$m = \frac{L_y}{D} + 1 \quad (14)$$

Donde:

n= Número de conductores en el eje X

m= Número de conductores en el eje Y

Lx= Longitud del eje X (m)

Ly= Longitud del eje Y (m)

D= Separación entre conductores (m).

3.4.7. Longitud del Conductor a enterrarse

Para obtener la longitud del conductor, se debe obtener el perímetro externo de la malla en función de su geometría y posteriormente sumar la longitud de cada conductor horizontal y vertical que está dentro de la malla de puesta tierra, se da por las siguientes ecuaciones:

Longitud total de conductores.

$$L_c = n * L_x + m * L_y \quad (15)$$

Longitud total del perímetro.

$$L_p = 2 * L_x + 2 * L_y \quad (16)$$

LR=0 y LT=Lc, esto se da cuando su diseño no contiene ninguna varilla, si al diseño se le agrega varillas se determina mediante:

Longitud total de todas las varillas.

$$L_R = n_r * L_r \quad (17)$$

Longitud total de la malla de puesta a tierra.

$$L_T = L_c + L_r \quad (18)$$

Donde:

n= Número de conductores en el eje X

m= Número de conductores en el eje Y

Lx= Longitud del eje X (m)

Ly= Longitud del eje Y (m)

D= Separación entre conductores (m)

Lp= Longitud del perímetro (m)

Lc= Longitud total de conductores (m)

Lr= Separación de las carillas (m)

LR= Longitud total de todas las varillas (m)

LT= Longitud total de la malla (m)

nr= Número de varillas.

3.4.8. Resistencia de la Malla

En una malla de tierra el valor de su resistencia al paso de corriente debe ser el mínimo posible, por lo que es muy importante obtener la resistencia de diseño de la malla para poder juzgar si está dentro de los parámetros exigidos. La resistencia de la malla de tierra se la obtiene por medio de la siguiente ecuación, cabe mencionar que la resistencia resultante debe ser menor a 5Ω , este valor se toma como referencia por normativa, donde detalla que, para sistemas de puesta a tierra en subestaciones debe tener ese valor o menor en los mejores de los casos:

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1+h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \quad (19)$$

Donde:

L_T = Longitud total del conductor (m).

A= Área de la malla de tierra (m^2).

h= Profundidad de la malla (m).

ρ = Resistividad del terreno (Ohmios-m).

R_g = Resistencia de la malla (Ohmios).

3.4.9. Cálculo de la corriente de la malla (I_g)

Para el cálculo de la corriente máxima de la malla se la calcula en función de la siguiente expresión.

$$I_g = I_f * S_f * D_f \quad (20)$$

Donde:

I_g = Corriente máxima de disipación por la malla (A).

I_f = Corriente de falla de la malla (A), viene a ser la I_{ccmax} (A).

S_f = Factor de división de la corriente de falla.

D_f = Factor de decremento.

3.4.9.1. Factor de decremento (D_f)

Para ello se realiza los calculo pertinentes a través de las tablas y valores dados en la norma IEEE 80-2000, donde la T_a resulta de la relación de X/R , que son las componentes de la impedancia subtransitoria que interviene en una subestación.

Se determina por la siguiente ecuación:

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{2h} * \left(1 - e^{-\frac{2ts}{T_a}}\right)} \quad (21)$$

Donde:

t_s = Duración de la falla en s.

T_a = Constante de tiempo de la componente DC.

$$T_a = \frac{X}{\omega R} = \frac{X}{R} * \frac{1}{2\pi f} \quad (22)$$

X, R = Componentes de la impedancia subtransitoria de falla que se usan para determinar la relación X/R .

3.4.9.2. Factor de crecimiento (C_P)

Si la malla de puesta a tierra se construye teniendo en cuenta la capacidad total de la subestación, y no se consideran aumentos futuros de carga ni de alimentadores.

El factor de crecimiento será: $C_P = 1$.

3.4.9.3. Cálculo del factor de división de corriente (S_f)

Existe una serie de desarrollos matemáticos, curvas y tablas que permiten encontrar el valor de S_f pero resulta mucho más práctico utilizar la tabla 3.1, con la cual solo se escoge el número de líneas de transmisión y los neutros de distribución dependiendo el caso de estudio.

El factor de división de corriente será entonces:

$$S_f = \frac{Z_{eq}}{Z_{eq} + R_g} \quad (23)$$

Donde:

$(Z_{eq})X/Y$ = impedancia equivalente de X cables de guarda de líneas de transmisión e Y neutros de alimentadores de distribución.

R_g = Resistencia del sistema de puesta a tierra de la subestación.

S_f = Factor de división de corriente.

Tabla 3.1. Impedancias de conductores.

Número de líneas de transmisión	Número de neutros de distribución	Zeq (ohms) Rtg=15 , Rdg=25	Zeq (ohms) Rtg=100 , Rdg=200	Equivalente de Zeq (ohms) Rtg=100 , Rdg=200
1	1	0.91+0.485i	3.27+0.652i	3,334367106
1	2	0.54+0.33i	2.18+0.412i	2,218590544
1	4	0.295+0.20i	1.32+0.244i	1,342362097
1	8	0.15+0.11i	0.732+0.133i	0,743984543
1	12	0.10+0.076i	0.507+0.091i	0,515101932
1	16	0.079+0.057i	0.387+0.069i	0,39310304
2	1	0.685+0.302i	2.18+0.442i	2,224356986
2	2	0.455+0.241i	1.63+0.324i	1,661889286
2	4	0.27+0.165i	1.09+0.208i	1,109668419
2	8	0.15+0.10i	0.685+0.122i	0,695779419
2	12	0.10+0.07i	0.47+0.087i	0,477984309
2	16	0.08+0.055i	0.366+0.067i	0,37208198
4	1	0.45+0.16i	1.30+0.273i	1,328355751
4	2	0.34+0.15i	1.09+0.22i	1,111980216
4	4	0.23+0.12i	0.817+0.16i	0,832519669
4	8	0.134+0.083i	0.546+0.103i	0,555630273

Fuente: [14].

Nota: Impedancia equivalente aproximada de cables de guarda de líneas de transmisión y neutros de distribución (Alimentadores).

El proceso del cálculo consiste en derivar una representación equivalente de los cables de guarda, neutros, etc. Esto es, conectarlos a la malla en la subestación y luego resolver el equivalente para determinar qué fracción de la corriente total de falla fluye entre la malla y la tierra circundante, y qué fracción fluye a través de los cables de guarda o neutros, hacia las tierras de los pie de torres que entran y sacan líneas de la subestación [14]. Sf depende de:

- a) Localización de la falla.
- b) Magnitud de la resistencia de la malla de puesta a tierra de la subestación, dependiendo de la longitud.
- c) Cables y tubos enterrados en las vecindades de la subestación o directamente conectados al sistema de puesta a tierra.
- d) Cables de guarda, neutros u otras trayectorias de retorno por tierra.
- e) Líneas de transmisión que entran y alimentadores que salen de la subestación; cantidad, número de cables de guarda y la impedancia de cada uno; cantidad y resistencia de puestas a tierra de pies de torre; longitud de líneas de transmisión y alimentadores; material y calibre de cables de guarda y neutros.

3.4.9.4. Evaluación del GPR

El GPR permite verificar el estado del sistema de mallado de puesta a tierra, debido a que un buen sistema debe proporcionar una resistencia baja de tierra, con el fin de minimizar la elevación del potencial de tierra GPR, dada por:

$$\text{GPR} = I_g * R_g \quad (24)$$

3.4.10. Obtención de los coeficientes K_i , K_m y K_s

3.4.10.1. Coeficiente K_m

El cálculo del coeficiente K_m se lo realiza por medio de la aplicación de la siguiente expresión [15]:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) + \frac{K_u}{K_h} \left(\frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right] \quad (25)$$

Donde:

D =espaciamiento entre conductores paralelos.

d =diámetro del conductor de la red (m).

K_u = factor de ajuste de peso y efectos internos de la red.

K_h = factor de ajuste de peso y profundidad de la red.

h = profundidad de los conductores horizontales enterrados de la malla de puesta a tierra (m).

Cuando se tiene un proceso con varillas de tierra a lo largo del perímetro de la red, con varias varillas de tierra en las esquinas de la red:

$$K_{ij} = 1; K_h = 1,225 \quad (26) \text{ y } (27)$$

Cuando no se tiene varillas de tierra o con pocas varillas esparcidas en la red, pero ninguna en las esquinas o en el perímetro de la red del sistema de tierra, se utilizará la siguiente ecuación presentada a continuación:

$$K_{ij} = \frac{1}{(2n)^{2/n}}; K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad (28) \text{ y } (29)$$

Donde:

n =factor de geometría o número efectivo de conductores paralelos.

h_0 = 1.0 m profundidad de referencia de la red.

El número efectivo de conductores paralelos n en una red dada o irregular se presenta por el número de conductores paralelos en una red rectangular equivalente:

$$n = n_a n_b n_c n_d \quad (30)$$

Donde:

$$n_a = \frac{2L_a}{L_p} \quad (31)$$

$n_b = 1$ para las redes cuadradas

$n_c = 1$ para las redes cuadradas y rectangulares

$n_d = 1$ para las redes cuadradas, rectangulares y en forma de L.

De lo contrario:

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}} \quad (32)$$

$$n_c = \left[\frac{L_x L_y}{A} \right]^{0.7A}; \quad n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \quad (33) \text{ y } (34)$$

Donde:

L_c = longitud total de conductores horizontales de la red (m)

L_p = longitud perimetral de la red (m)

A = área cubierta por la red del sistema de tierra (m^2)

L_x = longitud máxima de la red sobre el eje x (m)

L_y = longitud máxima de la red sobre el eje y (m)

D_m = distancia máxima entre dos puntos cualesquiera de la red (m).

0.7 = constante

Para redes sin electrodos de tierra o redes con pocos electrodos esparcidos en la red, pero ninguno localizado en las esquinas o a lo largo del perímetro de la red, la longitud efectiva L_M de los conductores enterrados de la red es:

$$L_M = L_C + L_R \quad (35)$$

Donde:

L_R = longitud total de todas las varillas de tierra (m)

Para redes con varillas de tierra en las esquinas, como también a lo largo del perímetro y distribuidos en el área de la red, la longitud efectiva L_M de los conductores enterrados incluyendo las varillas.

está determinada por:

$$L_M = L_C + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R \quad (36)$$

Donde:

L_r = longitud de cada varilla de tierra (m).

L_C = Longitud total de los conductores (m).

3.4.10.2. Coeficiente K_i

El factor de ajuste de la geometría o de irregularidad de la red K_i en función de n está definido como:

$$K_i = 0.644 + 0.148n \quad (37)$$

3.4.10.3. Coeficiente K_s

El coeficiente K_s , es calculado en función de la siguiente ecuación:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] \quad (38).$$

3.4.11. Tensiones de diseño

Las tensiones de diseño hacen referencia a los voltajes de choque y paso obtenidos para los valores de diseño de la malla.

3.4.11.1. Tensión de Malla

La tensión de malla debe compararse con el voltaje de toque máximo obtenido en las secciones anteriores. El voltaje de malla se lo obtiene por medio de la siguiente expresión presentada a continuación.

$$E_m = \frac{K_i * K_m * \rho * I_G}{L} \quad (39)$$

3.4.11.2. Tensión de Paso

La tensión de paso de diseño se la calcula por medio de:

$$E_s = \frac{\rho * I_G * K_s * K_i}{L} \quad (40)$$

3.4.12. Verificación de Tensiones permitidas

Las tensiones que deben verificarse son las tensiones de diseño de malla y paso, con las tensiones de choque y paso máximas permitidas para la malla que se está diseñando. Siempre el valor de cada tensión de diseño debe ser menor o máximo igual a su valor correspondiente en las tensiones máximas permitidas.

3.5. Tensiones tolerables por el cuerpo humano

Las tensiones de diseño hacen referencia a los voltajes de toque y paso obtenidos para los valores de diseño de la malla [13].

En la figura 3.6, se indican las diferentes formas de contactos circunstanciales que una persona puede cometer entre dos puntos dentro de una subestación, presentándose para cada caso un tipo de tensión de contacto las cuales son [16]:

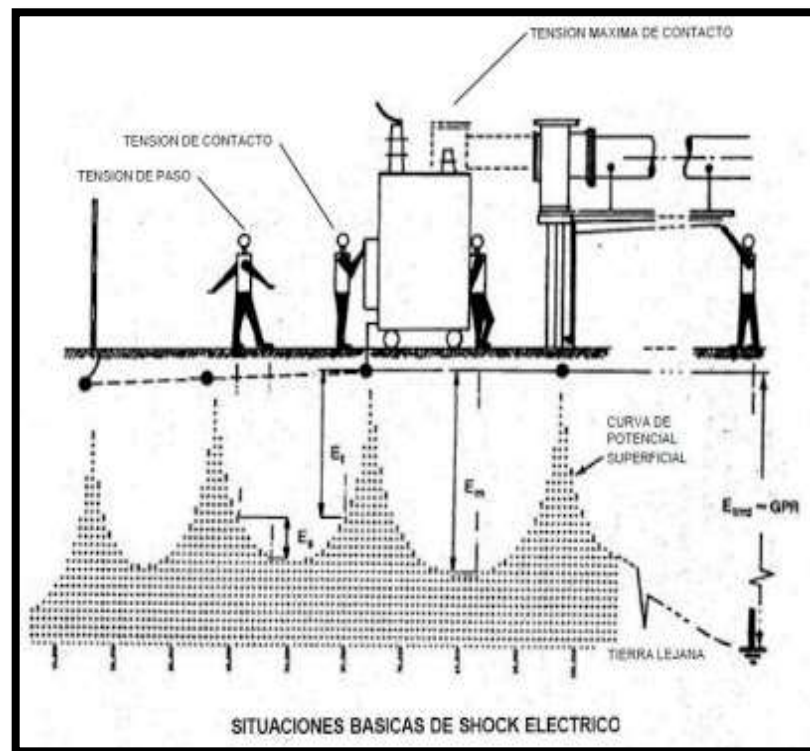


Figura 3.6. Situaciones básicas de choque eléctrico.

Fuente: [13].

Por lo tanto, es necesario establecer para cada tipo tensión de contacto una tensión tolerable por el cuerpo humano basándose en la corriente tolerable.

3.5.1. Tensión de malla máxima

La tensión de malla máxima, es la tensión de toque en el centro de una malla de la red, esta tensión es mayor conforme la malla está más alejada del centro de la red, por lo que la tensión

de malla máxima se tendrá en la malla de las esquinas de la red del sistema de tierra. Este incremento depende del tamaño de la red, número y localización de varillas de tierra, separación entre conductores paralelos, diámetro y profundidad de los conductores y perfil de la resistividad del terreno [17].

Podemos definir a la tensión de toque o tensión de malla máxima, como la máxima diferencia de tensión entre el punto de contacto de los pies de una persona que se encuentra parada en el área de la subestación y el punto de contacto de una o de sus dos manos al tocar una estructura metálica cuando ocurre una falla de fase a tierra.

En la Figura 3.7, se muestra como la resistencia de puesta a tierra de la instalación, está ahora formado por la suma de R_1 y R_0 y al ser recorrida por una corriente de puesta a tierra como consecuencia de un defecto de aislamiento.

Se desarrollará una diferencial de potencial, (tensión de contacto), V_0 sobre la fracción R_1 de la misma, existente entre los puntos A y B.

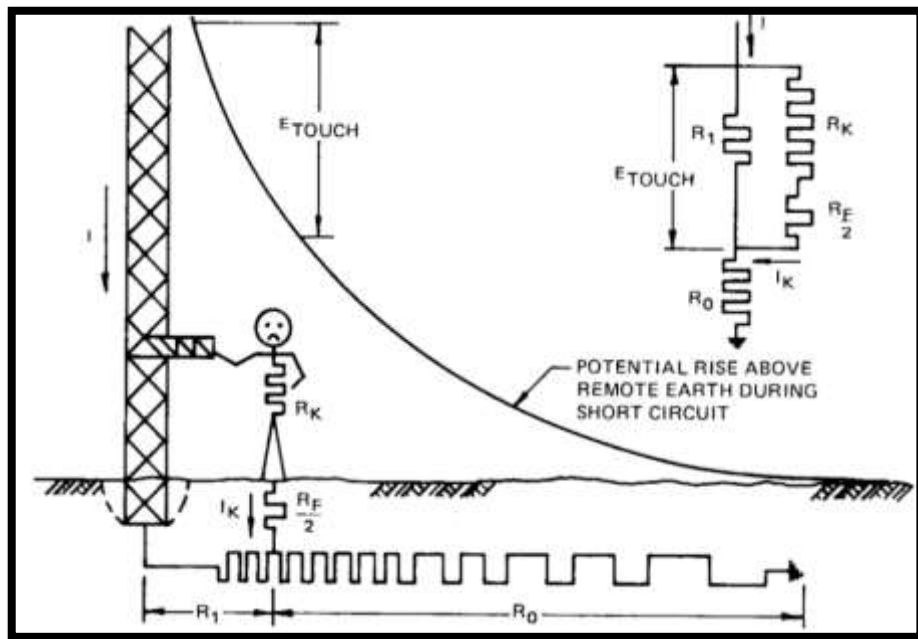


Figura 3.7. Circuito equivalente para la determinación de la tensión de contacto aplicada.

Fuente: Tomado [4].

Debido a que la máxima tensión de malla se tiene en la malla de las esquinas de la red, en el diseño de un sistema de tierra solo se considera esta tensión de malla en el estudio y se puede calcular con la siguiente ecuación:

La tensión de malla debe compararse con el voltaje de toque máximo obtenido en las secciones anteriores.

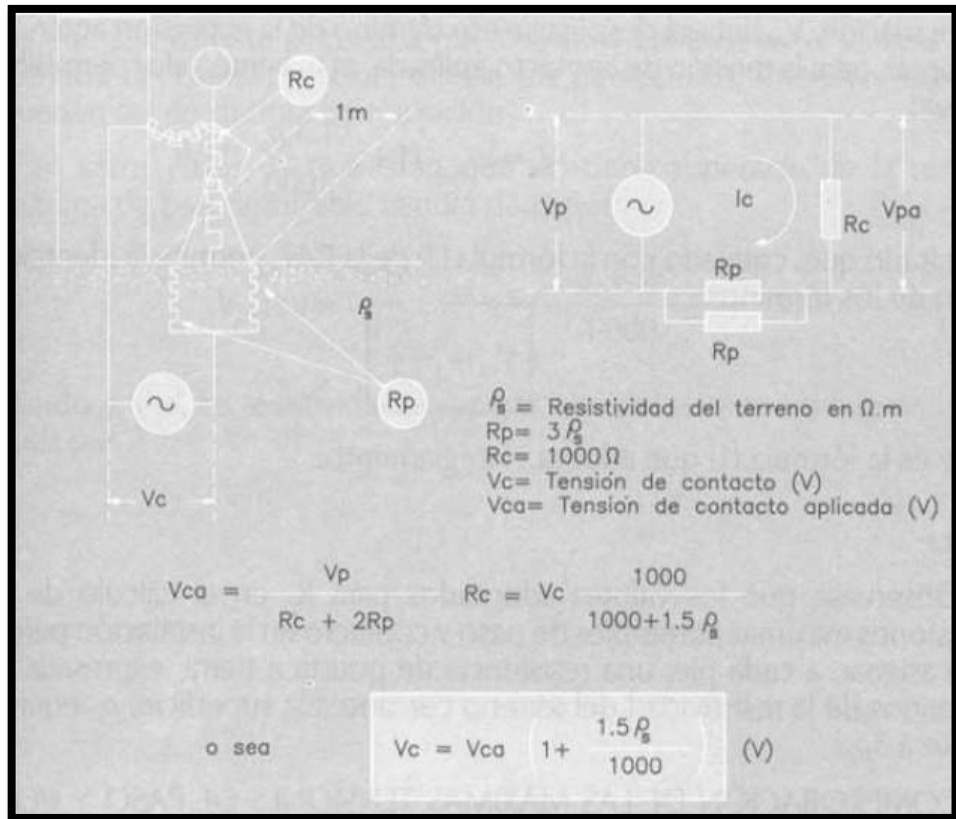


Figura 3.8. Circuito equivalente para la determinación de la tensión de toque aplicada.
Fuente: [18].

A causa de la interacción entre los dos pies, que ahora están juntos, debe adoptarse para la resistencia de tierra de los mismos, en paralelo, un valor ligeramente superior a la mitad de la resistencia de cada pie:

Con lo que la tensión de contacto aplicada será:

$$V_{ca} = \frac{V_c}{R_c + R_p/2} R_c = \frac{V_c \cdot 1000}{1000 + 1.5 \rho_s} \quad (41)$$

Donde:

R_c = Resistencia del cuerpo 1000Ω

V_c = Tensión de contacto

$R_p = 3 \rho_s$

ρ_s = Resistividad del terreno $\Omega \cdot m$

Obsérvese que los valores adoptados para R_p en el cálculo de las tensiones máximas admisibles de paso y contacto en la instalación permiten asignar, a cada pie, una resistencia de puesta a tierra, expresada en términos de la resistividad del terreno cercano a la superficie, ρ_s equivalente a $3 \rho_s$.

3.5.2. Tensión de paso máxima

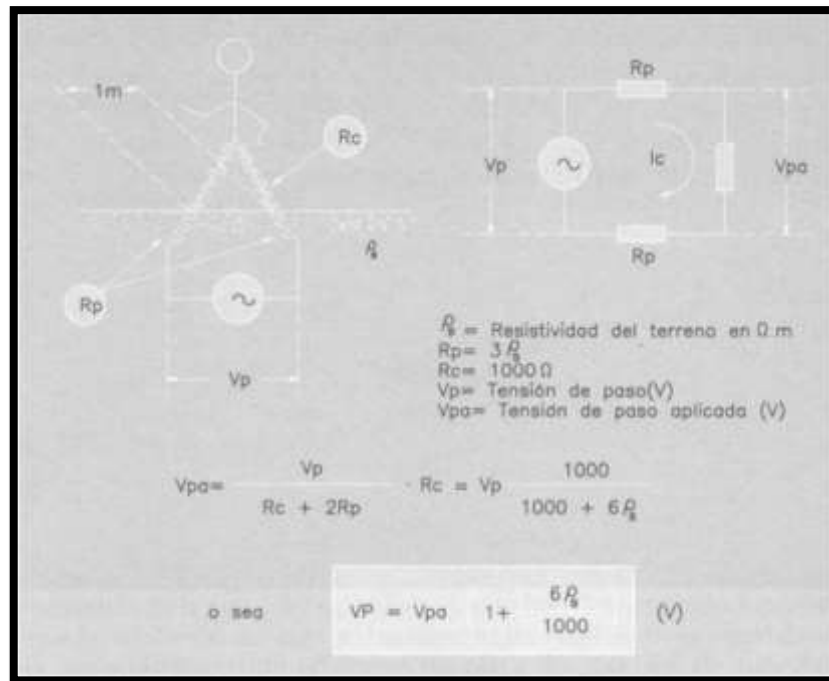


Figura 3.9. Circuito equivalente para la determinación de la tensión de paso aplicada.

Fuente: [18].

Dado que, en el paso, los dos pies no están nunca posados completamente en el suelo de forma simultánea, se asocia a cada pie una superficie inferior (200cm^2 en lugar de 314cm^2) y una resistencia de tierra mayor $3\rho_s$. Por tanto, la tensión de paso aplicada vendrá dada por la siguiente ecuación, ver figura 3.9.

$$V_{pa} = \frac{V_p}{R_c + 2R_p} R_c \quad (42)$$

Donde:

R_c = Resistencia del cuerpo $1000\ \Omega$

V_p = Tensión de paso

$R_p = 3\rho_s$

ρ_s = Resistividad del terreno $\Omega \cdot m$

V_{pa} = Tensión de paso aplicado en el cuerpo.

La tensión de paso máxima, es la tensión de paso entre un punto sobre el exterior de una de las esquinas de la red y un punto diagonalmente a un metro fuera de la red. Las tensiones de paso son inherentemente menos peligrosas que las tensiones de malla. Pero cuando la seguridad del sistema de tierra solo se consigue colocando sobre la superficie una capa de material de alta

resistividad (como roca triturada) y dicha capa no se prolonga al exterior de la red, los potenciales de paso fuera de la red pueden resultar peligrosos.

Podemos definir objetivamente a la tensión de paso como la máxima diferencia de potencial entre los puntos que están haciendo contacto los dos pies de una persona, con una separación de un metro, que se encuentra caminando en el área de la subestación al ocurrir una falla de fase a tierra [19].

En la Figura 3.10, se muestra como el circuito que han constituido $R_p+R_c+R_p$ al entrar en paralelo sobre R_2 , altera el reparto de potenciales que existía previamente de forma que será preciso recurrir al teorema de Thevenin para evaluar la corriente que recorre a la rama equivalente al cuerpo humano como cociente entre la tensión de paso preexistente, V_p y la resistencia resultante de la puesta en paralelo de (R_1+R_0) con R_2 , en serie con la que materializa a la persona, también muestra como en dependencia de la distancia va disminuyendo la probabilidad de electrocución en la persona.

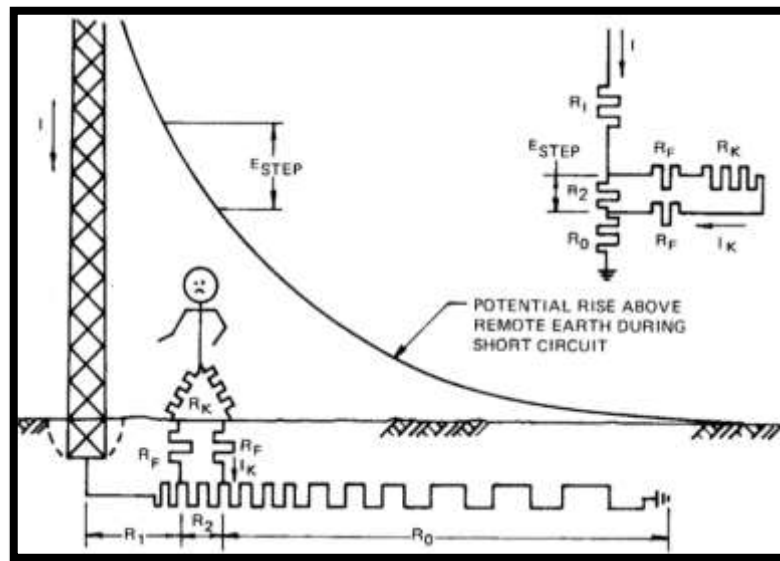


Figura 3.10. Circuito equivalente para la determinación de la tensión de paso aplicada.

Fuente: [18].

Por lo que se recomienda que la tensión de paso obtenida se compare con la tensión de paso tolerable, una vez que en el estudio se haya obtenido una tensión de malla menor que la de toque tolerable. En caso de que se obtenga en este punto un potencial de paso mayor que el tolerable, se puede evitar extendiendo la capa de material de alta resistividad hacia fuera de la cerca o eliminando esquinas o proyecciones agudas en la red apropiadamente. La tensión de paso se determina con la siguiente ecuación: [1].

La tensión de paso de diseño sin varillas se la calcula por medio de:

$$E_s = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_S \cdot K_i}{L} \quad (43)$$

La tensión de paso de diseño agregado varillas en su sistema, se la calcula por medio de:

$$E_s = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_S \cdot K_i}{0,75 \cdot L_C + 0,85 \cdot L_R} \quad (44)$$

Donde:

E_s = tensión de paso (V)

K_i = coeficiente de ajuste de la geometría de la red

K_S = coeficiente de profundidades de enterramiento

L_C = Longitud total de los conductores de la red (m)

I_G = corriente de falla que circula en la red del sistema de tierra (A)

L_R = Longitud total de las varillas (m)

3.6. Corriente tolerable por el cuerpo humano

3.6.1. Electropatología

Esta disciplina estudia los efectos de corriente eléctrica, potencialmente peligrosa, que puede producir lesiones en el organismo, así como el tipo de accidentes que causa. Las consecuencias del paso de la corriente por el cuerpo humano pueden ocasionar desde una simple molestia hasta la muerte, dependiendo del tipo de contacto:

- Los accidentes con origen eléctrico pueden ser producidos por: contactos directos (bipolar o fase-fase, fase-neutro, fase-tierra), contactos indirectos (inducción, contacto con masa energizada, tensión de paso, tensión de contacto, tensión transferida), impactos de rayo, fulguración, explosión, incendio, sobrecorriente y sobretensiones.
- Los seres humanos expuestos a riesgo eléctrico, se clasifican en individuos tipo “A” y tipo “B”. El tipo “A” es toda persona que lleva conductores eléctricos que terminan en el corazón en procesos invasivos; para este tipo de paciente, se considera que la corriente máxima segura es de 80 μ A. El individuo tipo “B” es aquel que está en contacto con equipos eléctricos y que no lleva conductores directos al corazón.
- Algunos estudios, principalmente los de Dalziel, han establecido niveles de corte de corriente de los dispositivos de protección que evitan la muerte (ver Tabla 3.2).
- En la figura 3.11, tomada de la NTC 4120, con referente IEC 60479-2, se detallan las zonas de los efectos de la corriente alterna de 15 Hz a 100 Hz.

Tabla 3.2. Porcentaje de personas que se protegen según la corriente de disparo.

CORRIENTE DE DISPARO	6 mA (rms)	10 mA (rms)	20 mA (rms)	30 mA (rms)
Hombres	100%	98,50%	7,50%	0%
Mujeres	99,50%	60%	0%	0%
Niños	92,50%	7,50%	0%	0%

Fuente: [20].

- Biegelmeier estableció la relación entre el $I^2 \cdot t$ (energía específica) y los efectos fisiológicos (ver Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Relación entre energía específica y efectos fisiológicos.

Energía Específica $I^2 \cdot t$. (mA)	PERCEPCIONES Y REACCIONES FISIOLÓGICAS
4 a 8	Sensaciones leves en dedos y en tendones de los pies
10 a 30	Rigidez muscular suave en dedos, muñecas y codos
15 a 45	Rigidez muscular en dedos, muñecas, codos y hombros. Sensación en las piernas
40 a 80	Rigidez muscular y dolor en brazos y piernas
70 a 120	Rigidez muscular, dolor y ardor en brazos, hombros y piernas

Fuente: [20].

- Debido a que los umbrales de soportabilidad de los seres humanos, tales como el de paso de corriente (1,1 mA), de reacción a soltarse (10 mA) y de rigidez muscular o de fibrilación (25 mA) son valores muy bajos; la superación de dichos valores puede ocasionar accidentes como la muerte o la pérdida de algún miembro o función del cuerpo humano.
- El paso de corriente por el cuerpo, puede ocasionar el estado fisiopatológico de shock, que presenta efectos circulatorios y respiratorios simultáneamente.
- La fibrilación ventricular consiste en el movimiento anárquico del corazón, el cual no sigue su ritmo normal y deja de enviar sangre a los distintos órganos.
- El umbral de fibrilación ventricular depende de parámetros fisiológicos y eléctricos, por ello se ha tomado la curva C1 como límite para diseño de equipos de protección. Los valores umbrales de corriente en menos de 0,2 segundos se aplican solamente durante el período vulnerable del ciclo cardíaco.
- Electrificación es un término para los accidentes con paso de corriente no mortal.
- La electrocución se da en los accidentes con paso de corriente, cuya consecuencia es la muerte, la cual puede ser aparente, inmediata o posterior.

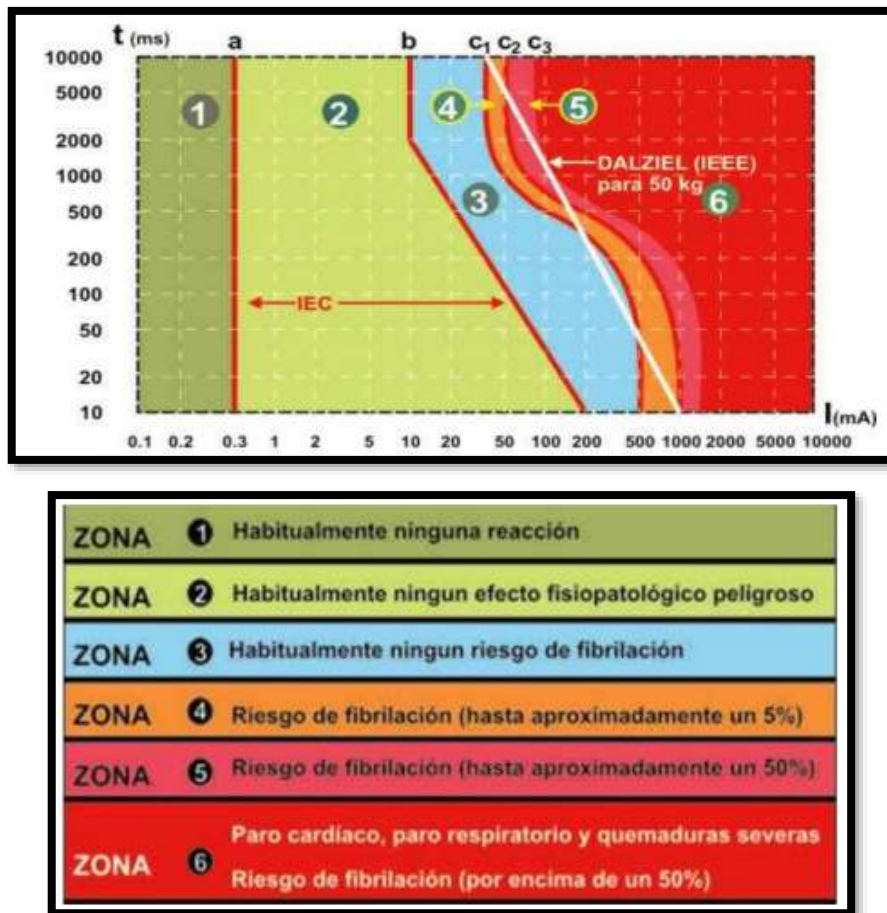


Figura 3.11. Zonas de tiempo/corriente de los efectos de las corrientes alternas de 15 Hz a 100.

Fuente: [20].

- Cuando circula corriente por el organismo, siempre se presentan en mayor o menor grado tres efectos: nervioso, químico y calorífico.
- En cada caso de descarga eléctrica intervienen una serie de factores variables con efecto aleatorio, sin embargo, los principales son: Intensidad de la corriente, la resistencia del cuerpo humano, trayectoria, duración del contacto, tensión aplicada y frecuencia de la corriente.
- La tetanización muscular es la anulación de la capacidad del control muscular, la rigidez incontrolada de los músculos como consecuencia del paso de una corriente eléctrica por el cuerpo.
- La asfixia se produce cuando el paso de la corriente afecta al centro nervioso que regula la función respiratoria, ocasionando el paro respiratorio. Casi siempre por contracción del diafragma.
- Las quemaduras o necrosis eléctrica se producen por la energía liberada al paso de la corriente por el cuerpo humano (calentamiento por efecto Joule) o por radiación térmica de un arco eléctrico.

- El bloqueo renal o paralización de la acción metabólica de los riñones, es producido por los efectos tóxicos de las quemaduras o mioglobinuria.
- Pueden producirse otros efectos colaterales tales como fracturas, conjuntivitis, contracciones, golpes, aumento de la presión sanguínea, arritmias, fallas en la respiración, dolores sordos, paro temporal del corazón, etc.
- El cuerpo humano es un buen conductor de la electricidad. Para efectos de cálculos, se ha normalizado la resistencia como 1000Ω . Experimentalmente se mide entre las dos manos sumergidas en solución salina, que sujetan dos electrodos y una placa de cobre sobre la que se para la persona. En estudios más profundos el cuerpo humano se ha analizado como impedancias (Z) que varían según diversas condiciones. Los órganos como la piel, los músculos, etc., presentan ante la corriente eléctrica una impedancia compuesta por elementos resistivos y capacitivos.
- Los estados en función del grado de humedad y su tensión de seguridad asociada son:
 - a. Piel perfectamente seca (excepcional): 80 V
 - b. Piel húmeda (normal) en ambiente seco: 50 V
 - c. Piel mojada (más normal) en ambientes muy húmedos: 24 V
 - d. Piel sumergida en agua (casos especiales): 12 V. [21]

3.7. Valor de resistencia de conductor y varilla de puesta a tierra

El propósito principal es conducir la energía eléctrica de falla de la subestación hacia tierra, los materiales usuales de construcción son de aluminio o cobre. El aluminio por sus características tiene una menor conductividad eléctrica produciendo mayores pérdidas, pero tiene un costo relativamente bajo. El cobre es un mejor conductor que el aluminio, sin embargo, el costo es mucho mayor [13].

3.7.1. Resistencia del conductor de una puesta a tierra

El conductor del mallado de puesta a tierra se puede determinar a través de las ecuaciones de Dwight según la norma IEEE 80-1986 o también [22], misma que resulta más exactas debido a su cálculo mucho más larga que el de la forma más sencilla y se puede determinar por medio de la expresión:

$$R_s = \frac{\rho}{2\pi L_x} \left(\ln \left(\frac{2L_x}{r} \right) + \ln \left(\frac{L_x}{h} \right) + \frac{2h}{L_x} - \frac{h^2}{L_x^2} - 2 \right) \quad (45)$$

Resistencia equivalente en referencia a la resistencia de la tierra.

$$R_{eqc} = \frac{R_s * R_t}{R_s + R_t} \quad (46)$$

Donde:

R_s = Resistencia de un solo conductor (Ω)

R_{eqc} = Resistencia equivalente con respecto a tierra (Ω)

L_x = Longitud del eje X (m)

r = Radio del conductor (m)

h = Altura de la malla (m)

R_t = Resistencia de la tierra (Ω).

3.7.2. Resistencia de la varilla de puesta a tierra

Generalmente se las denomina como jabalinas, varillas o electrodo vertical de puesta a tierra, usualmente en las instalaciones de puesta a tierra se las coloca en forma vertical/perpendicular a la superficie, soldados con el conductor horizontal de puesta a tierra en los vértices, dependiendo de la configuración de la malla. Los materiales más usuales para la construcción de jabalinas son:

- Acero (por ejemplo, en sistemas de conexión a tierra en cimentación).
- Acero galvanizado.
- Acero recubierto de cobre.
- Acero hiperaleado.
- Cobre
- Aleaciones de cobre.

Debido a la resistencia mecánica y a la estabilidad frente a la corrosión, las secciones transversales usuales de los electrodos son:

- Cobre 16 mm²
- Aluminio 35 mm²
- Acero 50 mm²

La resistencia de un conductor o varilla se determina por procedimientos usuales. Como la resistencia de contacto es despreciable por su escaso valor, la parte más significativa es resistencia que rodea al conductor. El estudio en este trabajo se centrará en el uso de varillas típicas de longitud 1.8 m y 2.4 m. En el caso de jabalinas conectadas en serie (alargamiento de jabalinas), dependiendo de la dureza del terreno puede requerirse varillas de mayor diámetro (3/4”).

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \left(\frac{4L}{r} \right) - 1 \right) \quad (47)$$

Multiplicado por el factor F.

$$R_v = \frac{R}{nr} * F \quad (48)$$

Donde:

R= Resistencia de una sola varilla (Ω)

ρ = Resistividad del suelo (Ωm)

L= Longitud de la varilla (m)

r= Radio de la varilla (m)

nr= Número de varillas (m)

F=Factor f

Tabla 3.4. Factor f para el cálculo de resistencia de varilla.

Número de varillas	F
2	1.16
3	1.29
4	1.36
8	1.68
12	1.80
16	1.92
20	2
24	2.16

Fuente: [1].

4. METODOLOGÍA

La metodología que se utiliza en el presente proyecto, se basa en etapas establecidas en los objetivos; parte de la recopilación de una base teórica, lo cual conlleva a la elaboración de un prototipo del programa HTML ver anexo1, que demuestre las variaciones relacionadas al voltaje de paso y toque, a través de la resistividad del terreno, en los sistemas de puesta a tierra.

4.1. Tipos de la investigación

Se utilizó los siguientes tipos de investigación:

- **Bibliográfica.** - A través del análisis de fuentes bibliográficas, se sustenta teóricamente, por medio de información de fuentes secundarias, utilizando textos, libros, guías, folletos, revistas, artículos, tesis y normas establecidas, para la evaluación del voltaje de paso y voltaje de toque, dependiendo de la resistividad y características del suelo, como también la resistividad de la capa superficial y de la corriente de cortocircuito. Además de los tipos de equipos que permitan la medición de resistencia y resistividad del suelo.

- **De campo.** - La presente investigación tiene su desarrollo fundamental en la toma de mediciones de distintos tipos de suelos, también evaluar a través de diferentes posiciones y considerando la resistividad de varios terrenos por medio de la metodología de Wenner. Esto por medio de un prototipo que facilite este objetivo (el programa Html). Se realizaron varias mediciones de suelos ver anexo 2, con el propósito de evaluar la corriente que atraviesa por la persona en diferentes posiciones.

4.2. Nivel de investigación

- **Descriptiva.** - Permitió describir las variables de forma separada, es decir la evaluación de toque y paso con sus definiciones, características, normativas y la resistividad del suelo de igual forma, sin necesidad de establecer la incidencia en los resultados de la medición del voltaje en diferentes posiciones, además de obtener resultados veraces gracias a la precisión del prototipo utilizado
- **Explicativa.** - Este nivel de investigación, va más allá de la descripción de conceptos y características establecidas de las variables; están dirigidos a responder a las causas de los eventos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar que voltaje refleja en la evaluación de toque y paso por la resistividad de cada tipo de suelo y si estas variables, están relacionadas con la cantidad de corriente que puede circular por la persona.

4.3. Métodos de la investigación

- **Método hipotético-inductivo.** En la investigación, se plantea que depende de las características del terreno la cantidad de corriente que atraviesa en las personas en una malla de puesta a tierra dependiendo de su posición. A través del trabajo, se pretende aceptar o rechazar esta aseveración.

4.4. Instrumentos de investigación

- **Fichas de Observación.** - Este instrumento permitió el registro de información indispensable, por la importancia que la información primaria (de campo) sea registrada en fichas de trabajo por medio de la observación, misma que se realiza en las diferentes mediciones y considerando las diferentes variables expuestas.
- **Prototipo.** - El prototipo se desarrolló en programación HTML para la resolución del voltaje ver anexo 3 y en el programa Proteus 8 Profesional que permite determinar las equivalencias ver anexo 4.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Flujograma

El flujograma presentado a continuación corresponde a la programación realizada en el prototipo virtual, donde se muestra el respectivo procedimiento de ejecución para la obtención de datos en el sistema propuesto, teniendo como punto principal la evaluación del voltaje de paso y toque, así también se detalla los parámetros y valores que toman al ingresar en el prototipo propuesto, los cuales son: resistividad del suelo, resistividad de la capa superficial, corriente de falla y tiempo de simulación. Con los parámetros detallados anteriormente, se procede a la ejecución del programa para el análisis del voltaje de paso y voltaje de toque, de acuerdo a la posición que adopte la persona en dicho momento, al producirse una corriente de falla en cualquier punto del sistema de puesta a tierra, cabe mencionar que también se realizó la programación de los cálculos de las diferente configuraciones de malla (cuadrada, rectangular y en L), misma que fueron sometidas a la respectiva validación con los ejemplos propuestos de la normativa IEEE Std. 80-2000.

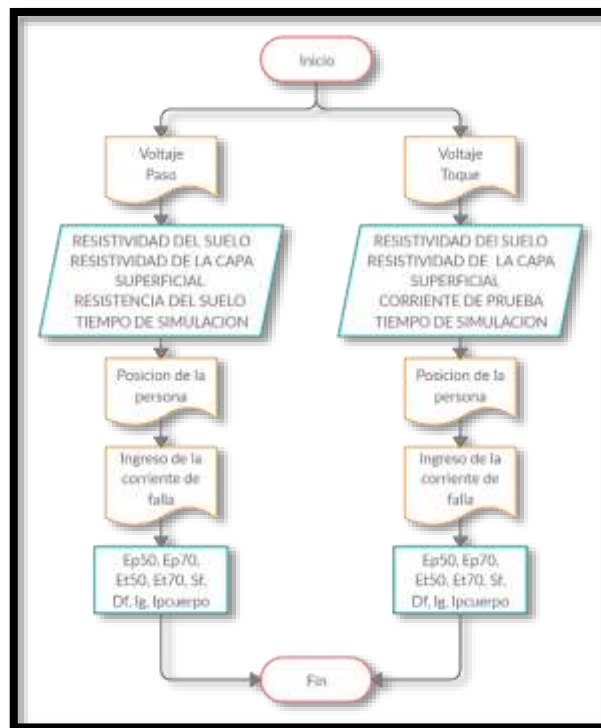


Figura 5.1. Flujograma de programación.

5.2. Dimensionamiento de la malla para el caso base.

Una vez desarrollado el programa, se procede a dimensionar la malla a través del análisis matemático para el caso base, eligiendo la malla rectangular para el estudio planteado, a continuación se detalla los resultados obtenidos en la programación: para el dimensionamiento

de la malla se utilizaron valores de ingreso detalladas en el anexo 5, en el cual se establece una malla de 20x40 m., con conductores de 9x5 a una separación de 5 metros entre conductores, en base a los resultados obtenidos se procede a realizar el análisis del caso base con la variación de las posiciones de la persona alrededor del sistema de puesta a tierra. Para la posición de la persona tenemos como referencia el literal 3.5, donde se detalla los voltajes máximos que puede soportar una persona tanto para el voltaje de paso y voltaje de toque.

5.3. Análisis de resultados dependiendo de la posición de la persona caso base.

5.3.1. Corriente de falla, posición de la persona en la malla tridimensional

El diseño establecido para el análisis del proyecto planteado, se determina una malla de puesta a tierra tridimensional programada en el prototipo virtual, misma que permite que el investigador puede decidir la posición de la persona, así como también la corriente de falla, es decir, colocarlo en cualquier lugar, para conocer la cantidad de voltaje y corriente circula a través del cuerpo de la persona, lo mencionado se detallara en el anexo 6.

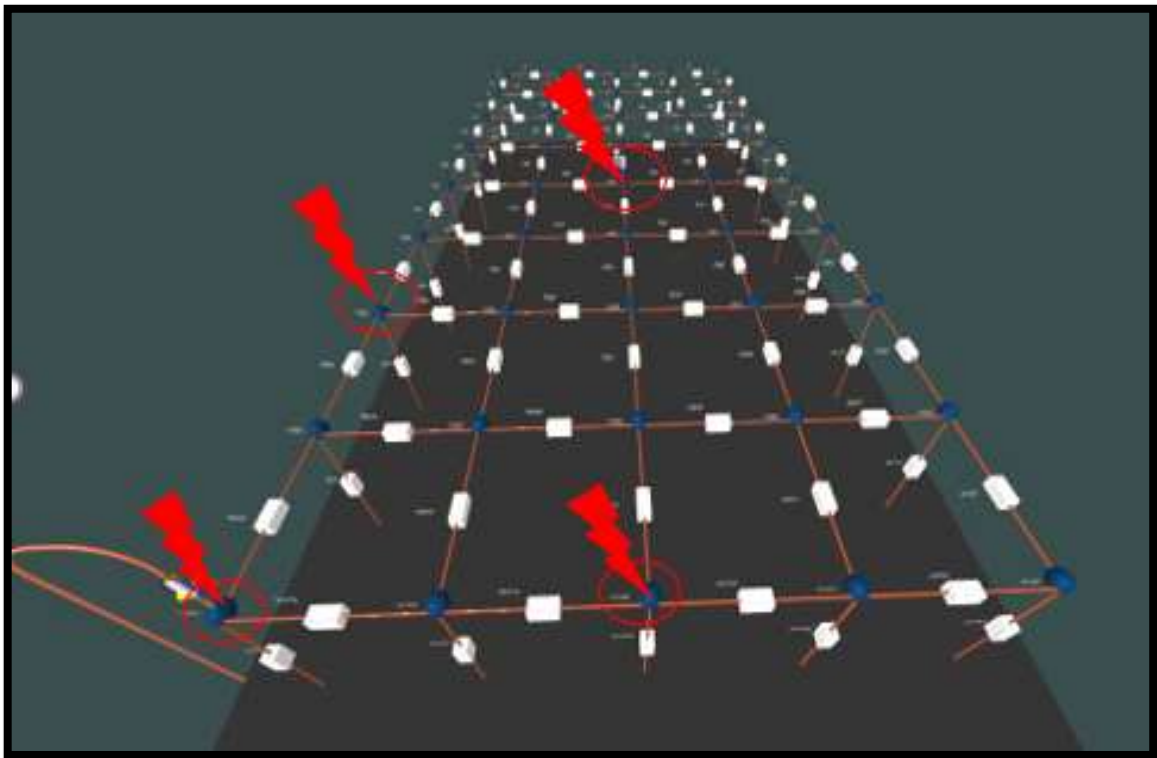


Figura 5.2. Corriente de falla en cuatro distintas posiciones de la malla tridimensional.

A continuación, para una mejor visualización y análisis se detallan los siguientes resultados de campo obtenidos en la adquisición de datos al variar la posición y la corriente de falla, manteniendo los valores de ingreso del caso base, con el objetivo de verificar que voltaje y corriente atraviesa en la persona en dicho momento de ejecución:

Tabla 5.1. Resumen de datos del Voltaje de Paso con cuatro posiciones diferentes de la corriente de falla

Voltaje de Paso							
Falla en el extremo		Falla en el centro		Falla en la mitad del lado vertical		Falla en la mitad del lado horizontal	
Distancia (m)	Ip cuerpo (mA)	Distancia (m)	Ip cuerpo (mA)	Distancia (m)	Ip cuerpo (mA)	Distancia (m)	Ip cuerpo (mA)
5	7,54	5	6,88	5	6,08	5	5,16
10	2,27	10	2,89	10	1,91	10	1,97
15,81	0,19	11,18	0,70	15,81	0,24	15	0,93
22,36	0,02	14,14	1,21	18,03	0,07	20,62	0,11
26,93	0,01	15,81	0,28	22,36	0,00	25,50	0,06
33,54	0,03	18,03	0,62	29,15	0,05	31,62	0,08
40,31	0,03	20,62	0,09	32,02	0,09	36,40	0,04
44,72	0,01	22,36	0,17	36,06	0,02	41,23	0,01

Tabla 5.2. Resumen de datos del Voltaje de Toque con cuatro posiciones de la corriente de falla

Voltaje de Toque							
Falla en el extremo		Falla en el centro		Falla en la mitad del lado vertical		Falla en la mitad del lado horizontal	
Distancia (m)	Ip cuerpo (mA)	Distancia (m)	Ip cuerpo (mA)	Distancia (m)	Ip cuerpo (mA)	Distancia (m)	Ip cuerpo (mA)
5	25,38	5	23,86	5	17,23	5	20,46
10	7,63	10	9,72	10	6,43	10	6,64
15,81	2,17	14,14	4,08	15,81	2,24	15	3,13
22,36	0,86	11,18	5,35	18,03	1,50	20,62	1,29
26,93	0,55	18,03	2,07	22,36	1,00	25,50	0,77
33,54	0,25	15,81	3,61	29,15	0,46	31,62	0,29
40,31	0,09	22,36	0,57	32,02	0,29	36,40	0,15
44,72	0,03	20,62	0,29	36,06	0,08	41,23	0,04

5.3.2. Curvas del comportamiento de la corriente de falla que circula a través del cuerpo humano.

A continuación, se presenta el resumen de resultados a través de la diferencia de curvas de la corriente de paso y toque que atraviesa por el cuerpo humano, cuando ocurre una falla y adopta cierta posición el individuo dentro del estudio planteado, misma que se encuentra determinada o calculada a partir del voltaje de toque y paso, con la resistencia de la persona, el cual permite observar los diferentes resultados arrojados por el prototipo virtual de una manera más detallada.

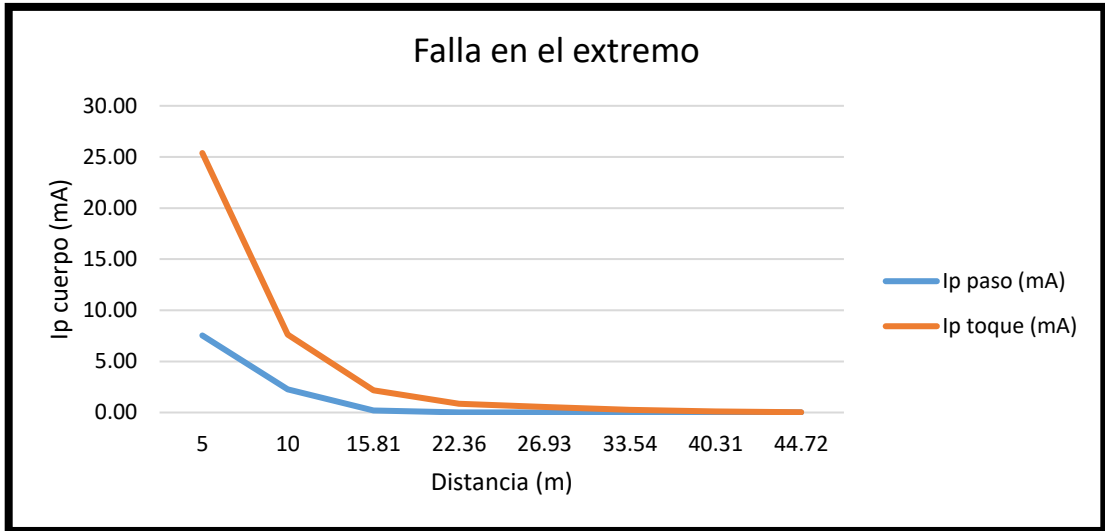


Figura 5.3. Curva de la corriente que circula en el cuerpo humano, con la falla en el extremo de la malla.

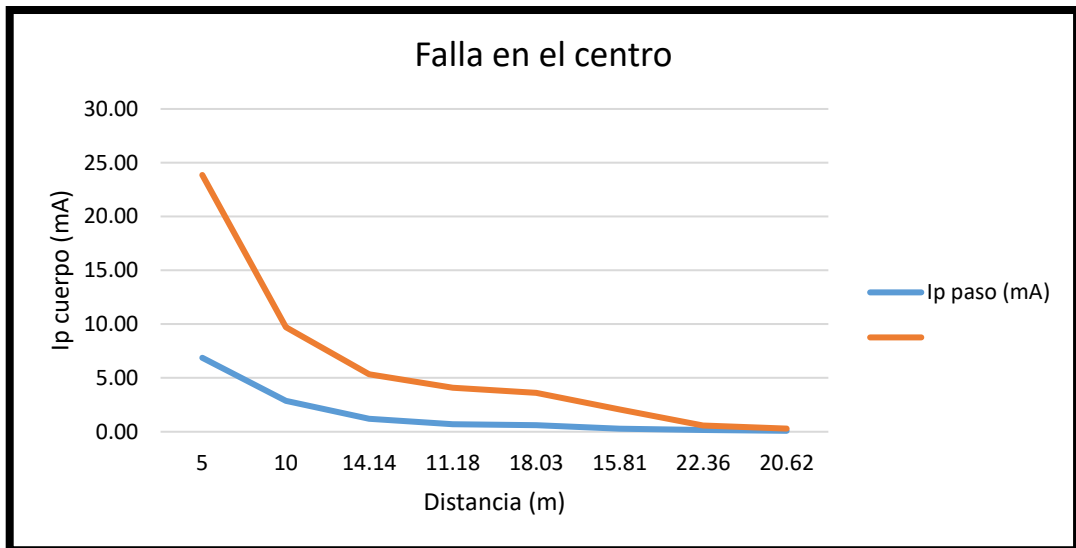


Figura 5.4. Curva de la corriente que circula en el cuerpo humano, con la falla en el centro de la malla.

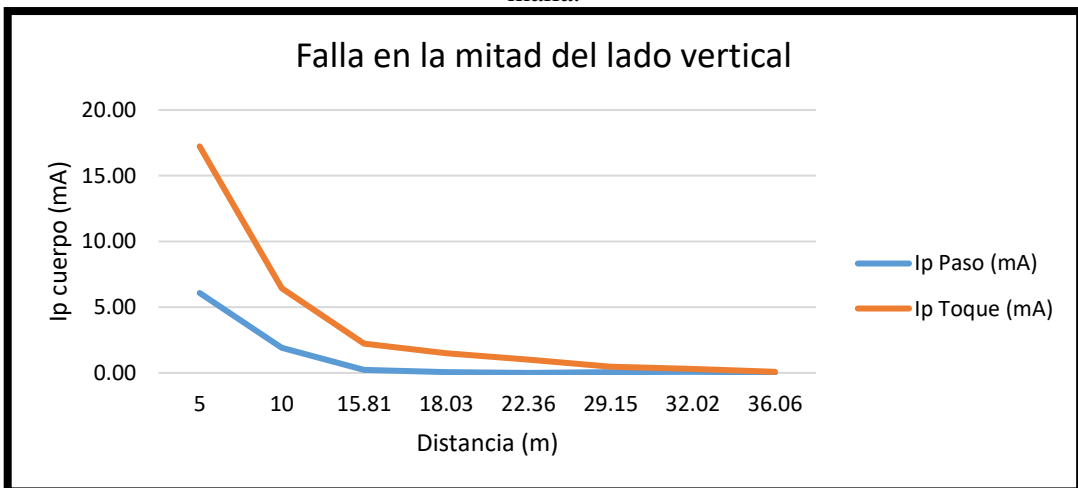


Figura 5.5. Curva de la corriente que circula en el cuerpo humano, con la falla en la mitad del lado vertical de la malla.

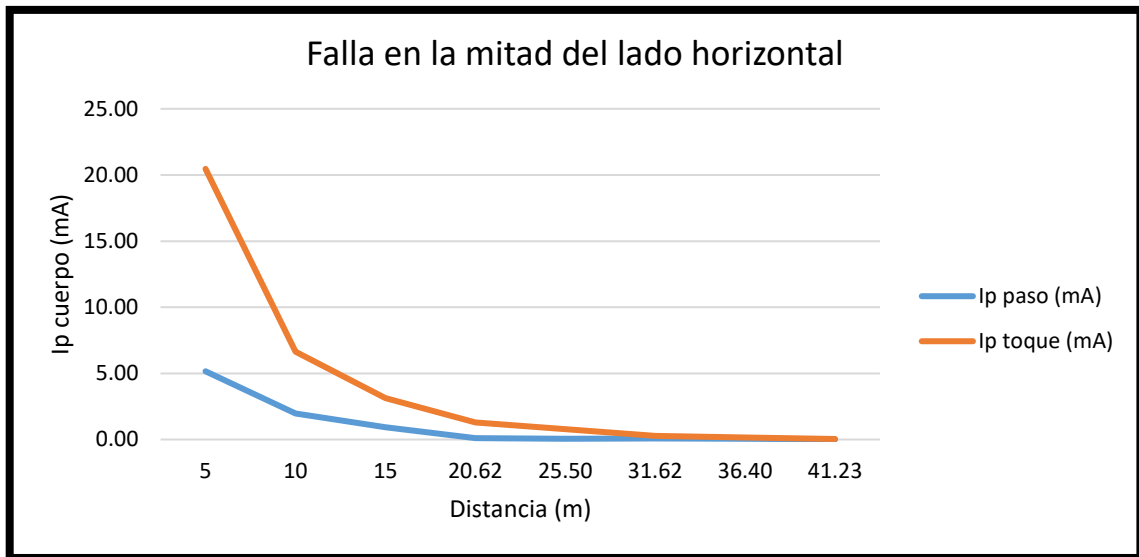


Figura 5.6. Curva de la corriente que circula en el cuerpo humano, con la falla en la mitad del lado horizontal de la malla.

5.3.3. Resumen de resultados:

Los resultados presentados en el literal 5.3.1., detallan la variación de la corriente que atraviesa por el cuerpo humano durante una falla como se describe en el literal 3.5, es decir, varía en dependencia a la posición y la distancia a la que se encuentra la falla, con respecto a la persona. Cabe mencionar que para un mejor análisis se determinó la corriente como una mejor muestra de cómo actúan los voltajes en un sistema de puesta a tierra, misma corriente que se determina a través del voltaje de paso y voltaje de toque, conjuntamente con la resistencia misma de la persona (1000Ω).

En resumen, a través de los datos obtenidos, se puede visualizar que la malla establecida con los datos base, para el análisis de los voltajes de paso y toque cumple con su dimensionamiento y a su vez protege a la persona, ya que los niveles de corriente calculados no causan daño alguno como se puede ver en la figura 3.11, donde se detalla el límite admisible de corriente en el cuerpo humano. Cabe mencionar, que cuando la persona se encuentra en el punto más crítico de la malla y ocurre una falla, la malla hace que la corriente se disipe y resguarde a la persona.

5.4. Análisis de resultados al varear la resistividad del suelo

Para el respectivo análisis en dependencia de la variación de la resistividad del suelo se procede a realizar varias pruebas a través de las mediciones obtenidas en campo, manteniendo la resistividad de la capa superficial, la corriente de falla y el tiempo de simulación. Los puntos a analizar será la variación del voltaje de toque y pasó al cambiar los parámetros establecidos en el prototipo virtual, para esto se tomarán datos del anexo 2 y se verificara que cantidad de corriente circula a través del cuerpo humano.

Tabla 5.3. Mediciones obtenidas en campo de diferentes tipos de suelo

Sector	Resistividad (Ω -m)
Bethlemitas (Arena arcillosa)	362,26490
Culaguango (Arena silíceas)	468,64708
Chaupi (Humus)	27,21797
Chávez Pamba (Arena arcillosa)	55,36272
La Cocha (Pantanosos)	14,25105
San Lorenzo (Limo)	27,72456
Chasqui (Arena silíceas)	1116,07435
San Felipe (Arena silíceas)	728,09551
Tapalan (Pedregoso desnudo)	1812,19631

5.4.1. Voltaje de paso y voltaje de toque

Al variar la resistividad del suelo a través de los datos obtenidos en campo de las distintas mediciones, en el cual se encontraron 5 tipos de suelos (Arena arcillosa, Arena silíceas, Humus, Limo y Pedregoso desnudo) y 9 mediciones se procede a realizar las diferentes pruebas en el prototipo virtual.

A continuación, se detalla los valores calculados en la malla y la verificación del dimensionamiento de la malla con los datos de campo:

Tabla 5.4. Datos de verificación del dimensionamiento de la malla con los datos de campo

Tipo de Suelo	R. del suelo (Ω m)	Resistencia (Ω)	Sin Varilla			Con Varilla				
			Em	GPR		Em	Et50	Ep	Ep50	
Caso base	280,71	4,84	209,95	957,21	NO	124,31	609,75	100,30	1946,85	SI
Bethlemitas	362,26	6,24	218,79	997,50	NO	117,73	615,98	104,66	1971,77	NO
Culaguango	468,65	8,08	207,82	1031,38	NO	121,86	624,10	108,33	2004,26	NO
San Felipe	72,10	12,75	217,01	1076,98	NO	127,43	644,80	113,28	2087,05	NO
Chávez	55,36	0,95	111,20	551,89	NO	64,24	592,54	57,10	1878,02	SI
Chasqui	1116,07	16,92	221,17	1097,66	NO	129,96	663,30	115,53	2161,04	NO
Chaupi	27,22	0,47	71,85	356,57	NO	41,25	590,39	36,67	1869,42	SI
San Lorenzo	27,72	0,48	72,77	361,17	NO	41,79	590,43	37,15	1869,57	SI
La Cocha	14,25	0,25	43,96	218,16	NO	25,13	589,40	22,34	1865,46	SI
Tapalan	1812,20	31,23	226,79	1125,56	NO	133,38	718,24	118,57	2380,82	NO

5.4.2. Análisis del Voltaje de Paso en cuatro posiciones de la malla establecida en el prototipo virtual.

5.4.2.1. Falla en el extremo de la malla establecida

Tabla 5.5. Valores de voltajes de paso con falla en el extremo de la malla

Voltaje de Paso									
Falla en el extremo									
distancia (metros)	Ip (mA)								
	362,26 Ω m	468,64 Ω m	728,09 Ω m	55,36 Ω m	1116,07 Ω m	27,21 Ω m	27,72 Ω m	14,25 Ω m	1812,19 Ω m
0	7,86	8,13	8,48	4,34	8,72	2,80	2,84	1,72	8,89
10	2,36	2,44	2,55	1,30	2,62	0,84	0,85	0,52	2,67
15,81	0,20	0,20	0,21	0,11	0,22	0,07	0,07	0,04	0,22
22,36	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02
26,93	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
33,54	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03
40,31	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03
44,72	0,01	0,01	0,01	0,004	0,01	0,003	0,003	0,002	0,01

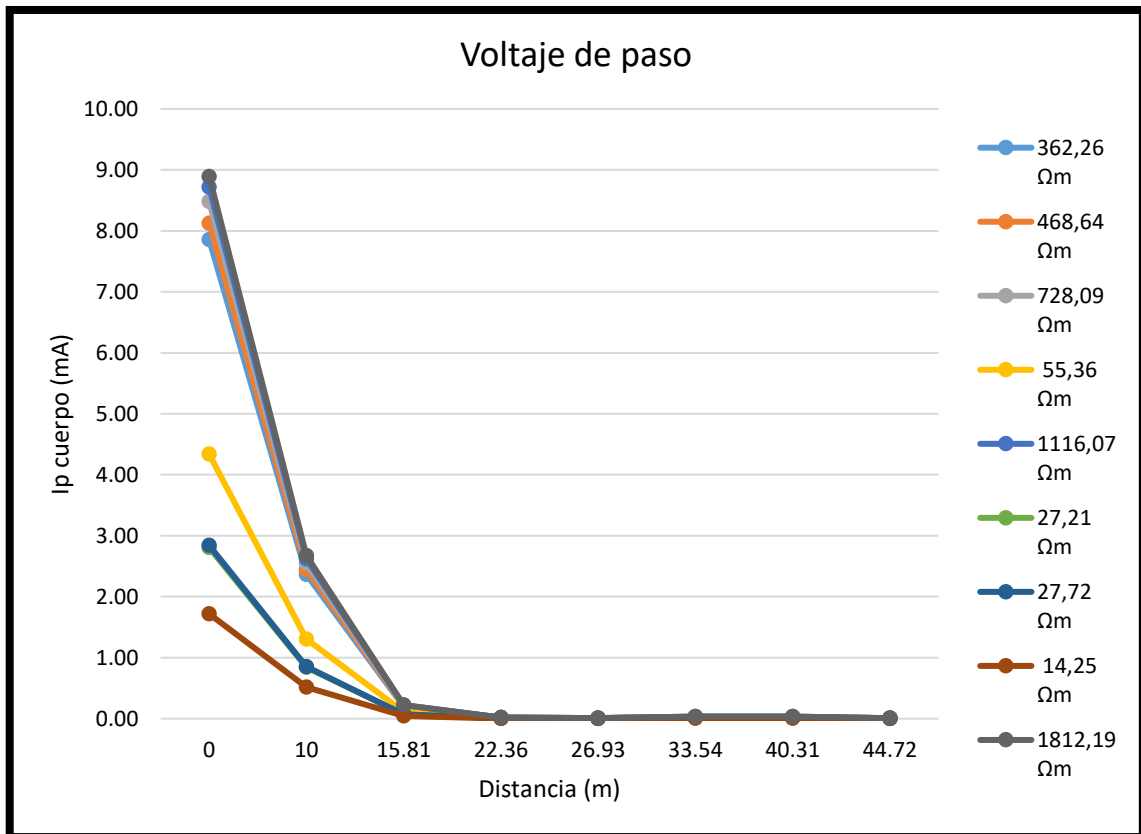


Figura 5.7. Curva de voltajes de paso con falla en el extremo de la malla.

5.4.2.2. Falla en el centro de la malla establecida

Tabla 5.6. Valores de voltajes de paso con falla en el centro de la malla

Voltaje de Paso									
Falla en el centro									
distancia (metros)	Ip (mA)								
	362,26 Ω m	468,64 Ω m	728,09 Ω m	55,36 Ω m	1116,07 Ω m	27,21 Ω m	27,72 Ω m	14,25 Ω m	1812,19 Ω m
0	7,17	7,42	7,74	3,96	7,95	2,56	2,59	1,57	8,12
10	3,01	3,11	3,25	1,66	3,34	1,07	1,09	0,66	3,41
11,18	0,73	0,75	0,78	0,40	0,81	0,26	0,26	0,16	0,82
14,14	1,26	1,31	1,36	0,70	1,40	0,45	0,46	0,28	1,43
15,81	0,29	0,30	0,31	0,16	0,32	0,10	0,11	0,06	0,33
18,03	0,64	0,66	0,69	0,35	0,71	0,23	0,23	0,14	0,73
20,62	0,09	0,09	0,10	0,05	0,10	0,03	0,03	0,02	0,10
22,36	0,18	0,18	0,19	0,10	0,20	0,06	0,06	0,04	0,20

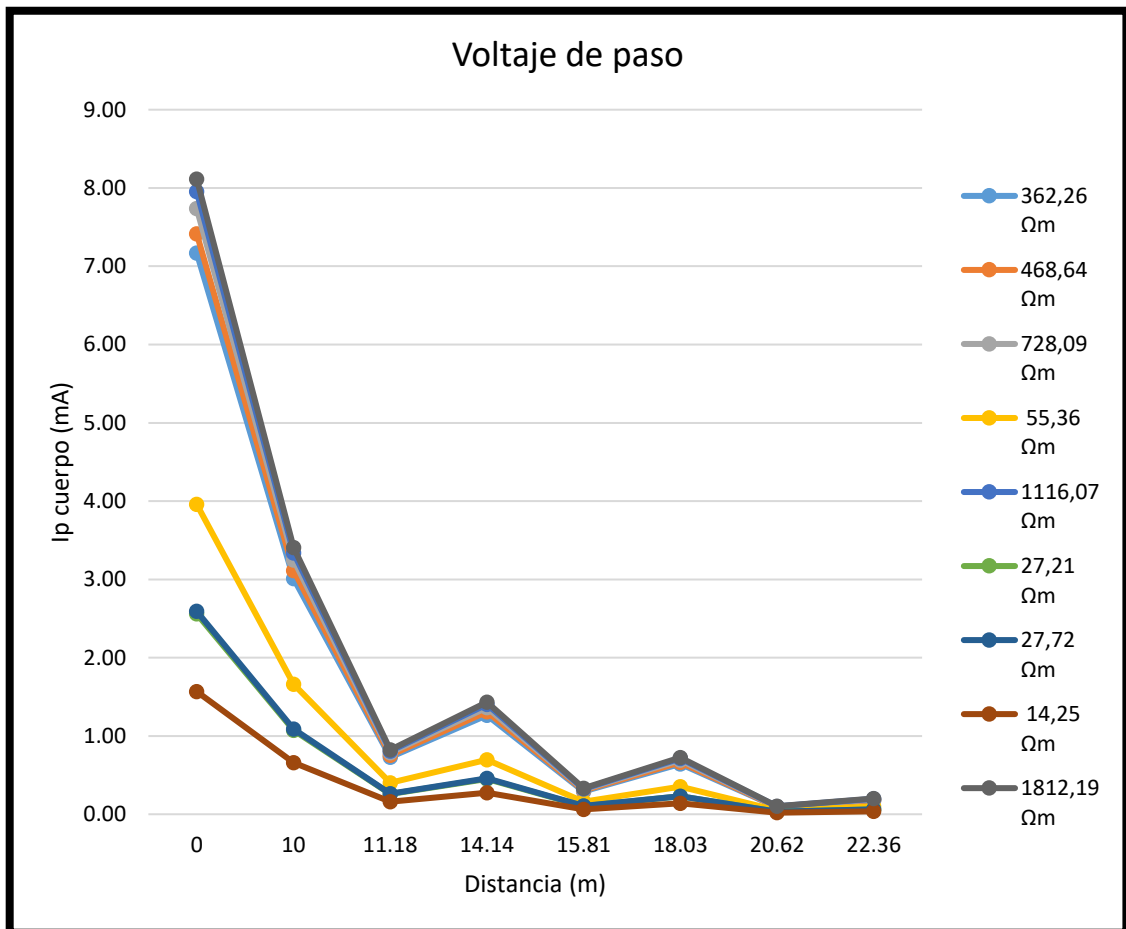


Figura 5.8. Curva de voltajes de paso con falla en el centro de la malla

Fuente: Elaboración propia.

5.4.2.3. Falla en la mitad del lado vertical de la malla establecida

Tabla 5.7. Valores de voltajes de paso con falla en el lado vertical de la malla

Voltaje de Paso									
Falla en la mitad del lado horizontal									
distancia (metros)	Ip (mA)								
	362,26 Ω m	468,64 Ω m	728,09 Ω m	55,36 Ω m	1116,07 Ω m	27,21 Ω m	27,72 Ω m	14,25 Ω m	1812,19 Ω m
0	6,34	6,56	6,84	3,50	7,03	2,26	2,29	1,39	7,18
10	1,99	2,06	2,15	1,10	2,21	0,71	0,72	0,44	2,25
15,81	0,25	0,25	0,26	0,14	0,27	0,09	0,09	0,05	0,28
18,03	0,07	0,07	0,07	0,04	0,08	0,02	0,02	0,01	0,08
22,36	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
29,15	0,05	0,05	0,06	0,03	0,06	0,02	0,02	0,01	0,06
32,02	0,09	0,09	0,10	0,05	0,10	0,03	0,03	0,02	0,10
36,06	0,03	0,03	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03

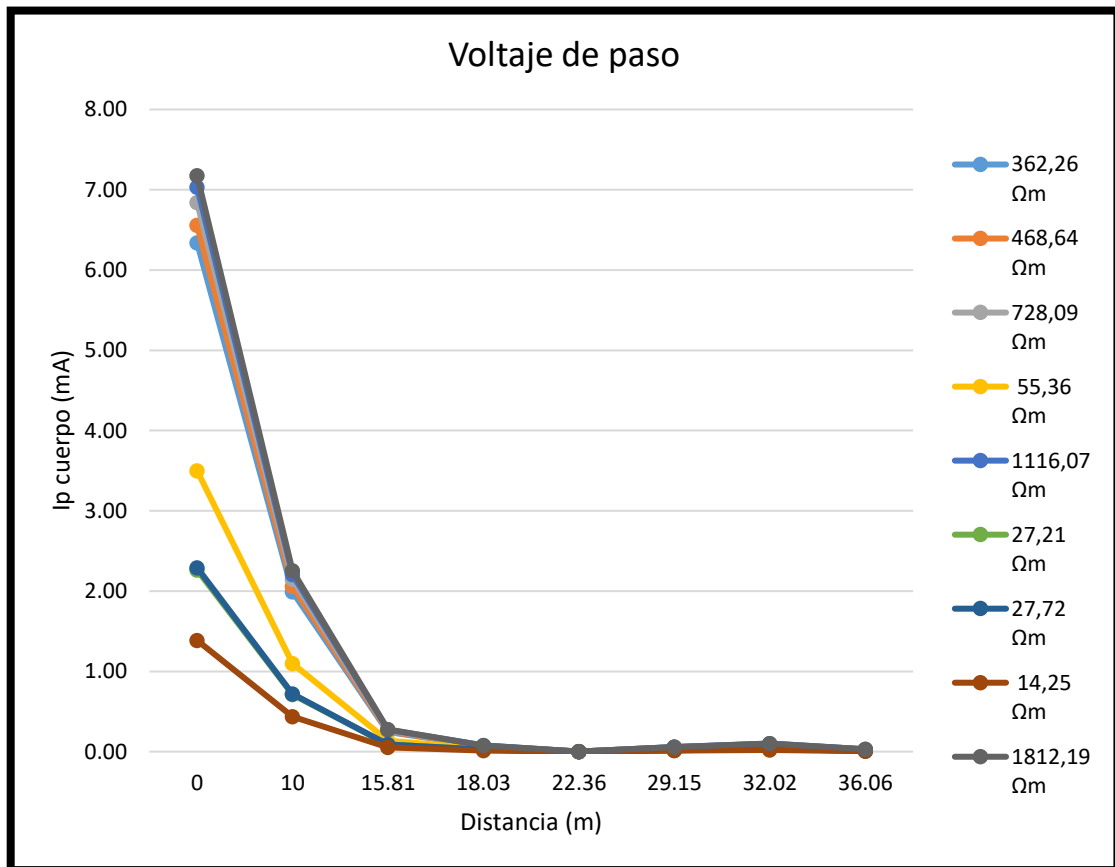


Figura 5.9. Curva de voltajes de paso con falla en el lado vertical de la malla

5.4.2.4. Falla en el extremo de la mitad del lado horizontal de la malla establecida

Tabla 5.8. Valores de voltajes de paso con falla en el lado horizontal de la malla

Voltaje de Paso									
Falla en la mitad del lado horizontal									
distancia (metros)	Ip (mA)								
	362,26 Ω m	468,64 Ω m	728,09 Ω m	55,36 Ω m	1116,07 Ω m	27,21 Ω m	27,72 Ω m	14,25 Ω m	1812,19 Ω m
0	5,38	5,56	5,80	2,97	5,96	1,92	1,94	1,18	6,09
10	2,06	2,13	2,22	1,14	2,28	0,73	0,74	0,45	2,33
15	0,97	1,00	1,04	0,53	1,07	0,35	0,35	0,21	1,10
20,62	0,11	0,12	0,12	0,06	0,12	0,04	0,04	0,02	0,13
25,50	0,06	0,06	0,07	0,03	0,07	0,02	0,02	0,01	0,07
31,62	0,09	0,09	0,10	0,05	0,10	0,03	0,03	0,02	0,10
36,40	0,05	0,05	0,05	0,03	0,05	0,02	0,02	0,01	0,05
41,23	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,004	0,005	0,003	0,01

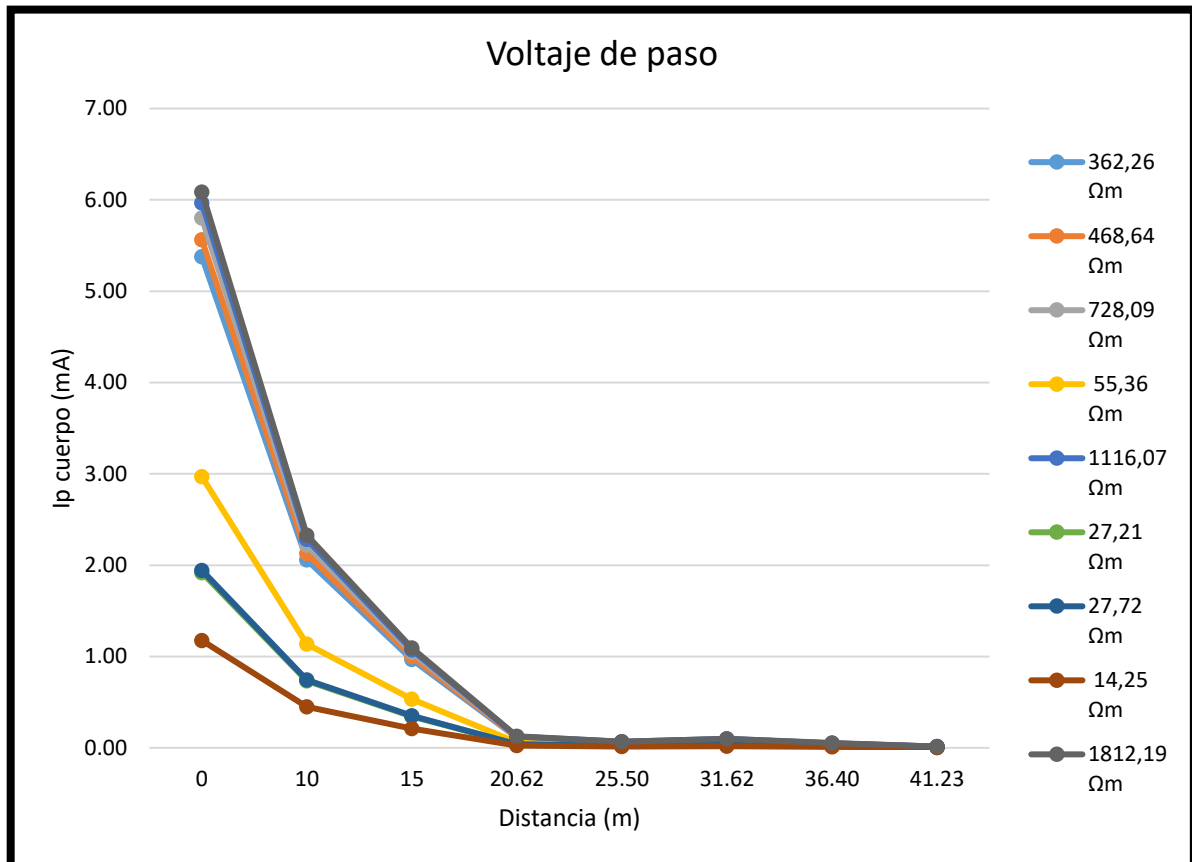


Figura 5.10. Curva de voltajes de paso con falla en el lado horizontal de la malla.

A través del programa virtual, se puede realizar el estudio en diferentes posiciones, como se observa, la corriente que atraviesa por la persona varia, es decir, mientras la resistividad del

suelo aumenta la corriente que atraviesa a través del cuerpo humano es alta y si la resistividad del suelo disminuye esta corriente que atraviesa es menor.

Por lo tanto, es imprescindible crear una malla de puesta a tierra en dependencia para cada tipo de suelo, ya sea por factores económicos cuando se tenga una baja resistividad y no sea necesario un sistema de puesta a tierra con muchas varillas enterradas en su interior o por condiciones de seguridad cuando la resistencia del suelo es mucho mayor a la establecida para una subestación que es de 5 ohmios, esta misma hace que se eleve la corriente que atraviesa en la persona y pueda provocar grandes daños.

Al encontrarse dentro de los datos permisibles y la persona se encuentre cerca a la falla en un instante, permite que toda la corriente se vaya a través de la malla y proteja a la persona, pero si excede uno de los valores (Rg, Ep50, Et50 o Et70, Ep70) hace que circule una mayor corriente a través del cuerpo humano.

Por lo tanto, a través de los datos obtenidos en campo se puede visualizar que en los suelos de Chávez Pamba (Arena Arcillosa), Chaupi (Humus), San Lorenzo (Limo) y La Cocha (Humus), cumple con el dimensionamiento de la malla y la falla en el punto más crítico protege a la persona, mientras que en los restantes tipos de suelo no cumple con el dimensionamiento de la malla en el caso más crítico, pero debido al calibre del conductor 2/0 AWG que se eligió, para el análisis en la malla establecida protege a la persona.

5.4.3. Análisis del Voltaje de Toque en cuatro posiciones de la malla establecida en el prototipo virtual

5.4.3.1. Falla en el extremo de la malla establecida

Tabla 5.9. Valores de voltajes de toque con falla en el extremo de la malla

Voltaje de Toque									
Falla en el extremo									
distancia (metros)	Ip (mA)								
	362,26 Ωm	468,64 Ωm	728,09 Ωm	55,36 Ωm	1116,07 Ωm	27,21 Ωm	27,72 Ωm	14,25 Ωm	1812,19 Ωm
0	26,46	34,22	42,50	27,64	29,33	9,45	9,57	5,79	29,91
10	7,97	8,22	8,58	4,39	8,82	2,84	2,88	1,74	8,99
15,81	2,27	0,39	2,44	1,25	2,51	0,81	0,82	0,50	2,56
22,36	0,90	0,40	0,97	0,50	1,00	0,32	0,32	0,20	1,01
26,93	0,57	0,20	0,62	0,32	0,63	0,20	0,21	0,13	0,65
33,54	0,26	0,19	0,28	0,14	0,29	0,09	0,14	0,06	0,29
40,31	0,17	0,10	0,11	0,05	0,11	0,03	0,04	0,02	0,11
44,72	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03

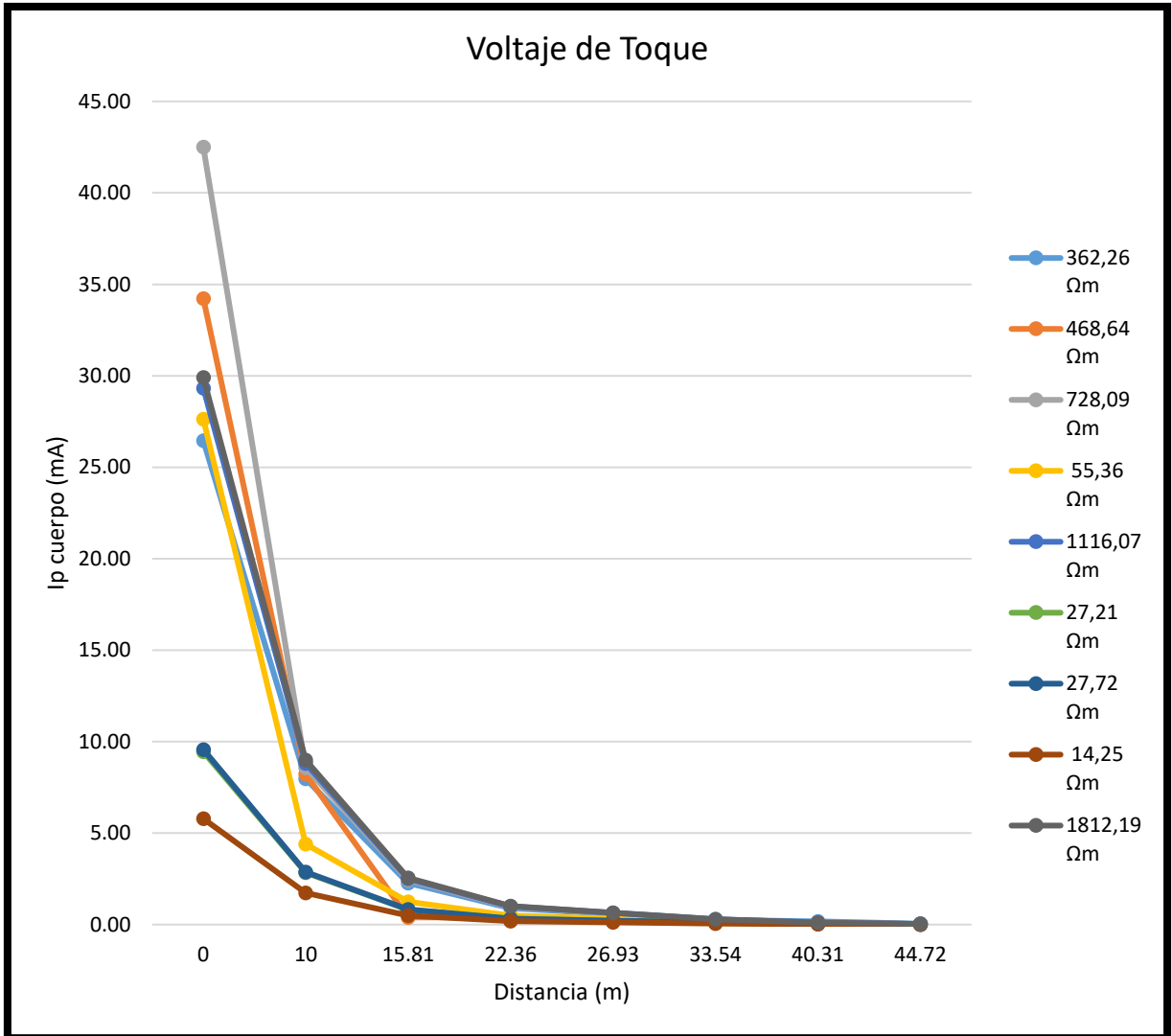


Figura 5.11. Curva de voltajes de toque con falla en el extremo de la malla.

5.4.3.2. Falla en el centro de la malla establecida

Tabla 5.10. Valores de voltajes de toque con falla en el centro de la malla

Voltaje de Paso									
Falla en el centro									
distancia (metros)	Ip (mA)								
	362,26 Ωm	468,64 Ωm	728,09 Ωm	55,36 Ωm	1116,07 Ωm	27,21 Ωm	27,72 Ωm	14,25 Ωm	1812,19 Ωm
0	24,87	25,72	26,83	13,74	27,57	8,88	9,00	5,44	28,12
10	12,33	7,96	10,93	5,60	11,23	3,62	3,66	2,22	11,45
11,18	4,26	2,53	4,59	2,35	4,72	1,52	1,54	0,93	4,81
14,14	7,70	4,40	6,02	3,08	6,18	1,99	2,02	1,22	6,30
15,81	1,67	2,23	2,33	1,19	2,39	0,77	0,78	0,47	2,44
18,03	3,77	3,90	4,06	2,08	4,18	1,35	1,36	0,82	4,26
20,62	1,03	0,61	0,64	0,33	0,66	0,21	0,21	0,13	0,67
22,36	0,59	0,32	0,33	0,17	0,34	0,11	0,11	0,07	0,35

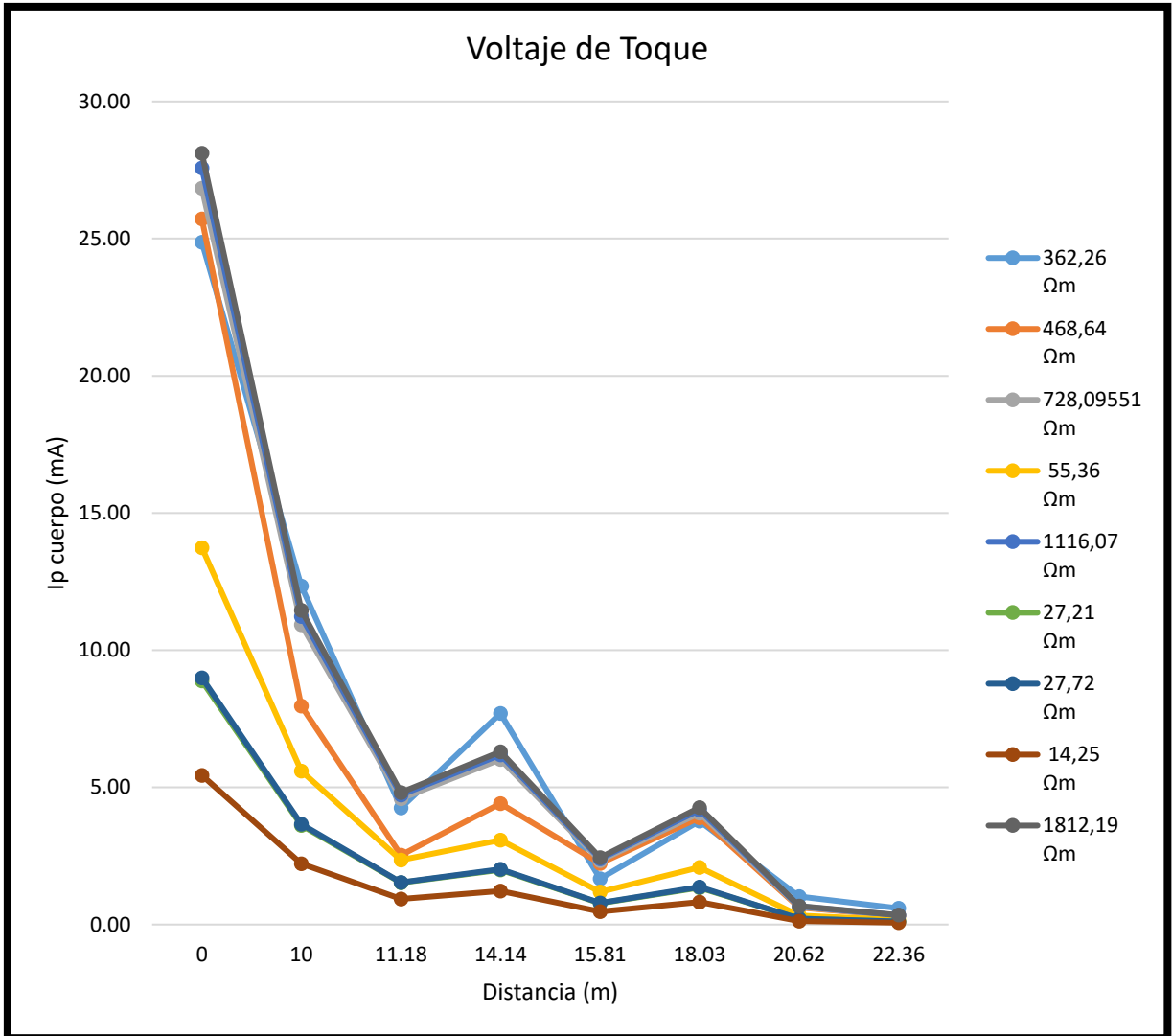


Figura 5.12. Curva de voltajes de toque con falla en el centro de la malla

5.4.3.3. Falla en la mitad del lado vertical de la malla establecida

Tabla 5.11. Valores de voltajes de toque con falla en el lado vertical de la malla

Voltaje de Paso									
Falla en la mitad del lado vertical									
distancia (metros)	Ip (mA)								
	362,26 Ωm	468,64 Ωm	728,09551 Ωm	55,36 Ωm	1116,07 Ωm	27,21 Ωm	27,72 Ωm	14,25 Ωm	1812,19 Ωm
0	17,96	18,57	19,38	9,92	19,91	6,41	6,50	3,93	20,30
10	6,70	6,93	7,23	3,70	7,43	2,39	2,42	1,47	7,58
15,81	0,23	2,41	2,51	1,29	2,58	0,83	0,84	0,51	2,63
18,03	0,74	1,61	1,68	0,86	1,73	0,56	0,56	0,34	1,76
22,36	0,37	1,08	1,13	0,58	1,16	0,37	0,38	0,23	1,18
29,15	0,30	0,50	0,52	0,37	0,54	0,17	0,17	0,11	0,55
32,02	0,22	0,31	0,33	0,17	0,34	0,11	0,11	0,07	0,34
36,06	0,09	0,09	0,09	0,05	0,10	0,03	0,03	0,02	0,10

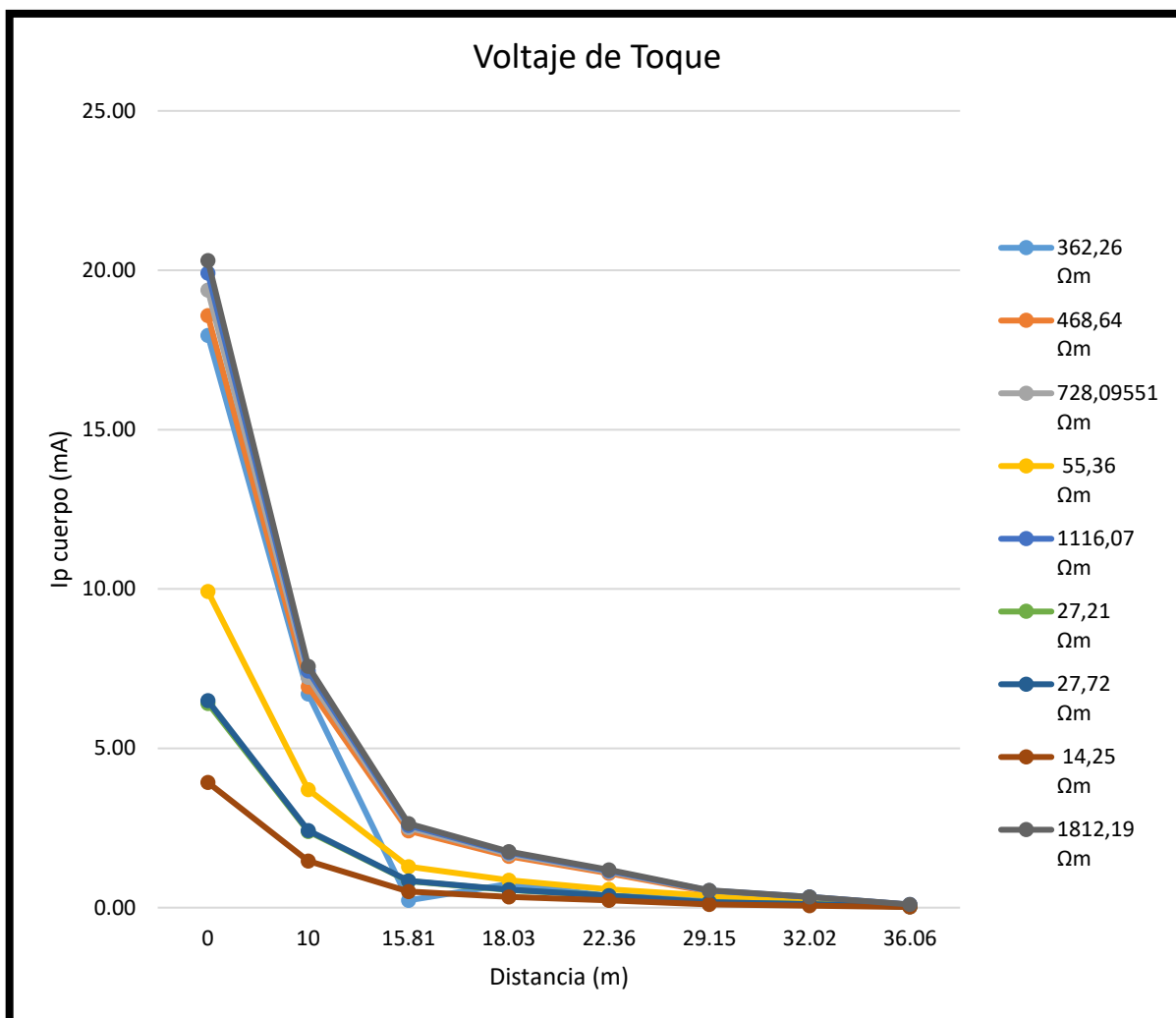


Figura 5.13. Curva de voltajes de toque con falla en el lado vertical de la malla.

5.4.3.4. Falla en la mitad del lado horizontal de la malla establecida

Tabla 5.12. Valores de voltajes de toque con falla en el lado horizontal de la malla

Voltaje de Paso									
Falla en la mitad del lado horizontal									
distancia (metros)	Ip (mA)								
	362,26 Ωm	468,64 Ωm	728,09 Ωm	55,36 Ωm	1116,07 Ωm	27,21 Ωm	27,72 Ωm	14,25 Ωm	1812,19 Ωm
0	21,33	22,06	23,01	11,78	23,64	7,62	7,71	4,67	24,11
10	6,93	7,16	7,47	3,83	7,68	2,47	2,51	1,51	7,83
15	0,76	3,37	3,52	1,80	3,61	1,16	1,18	0,71	3,68
20,62	0,92	1,39	1,45	0,74	1,49	0,48	0,49	0,29	1,52
25,50	0,53	0,83	0,87	0,44	0,89	0,29	0,29	0,18	0,91
31,62	0,25	0,31	0,32	0,16	0,33	0,11	0,11	0,07	0,34
36,40	0,15	0,16	0,17	0,09	0,17	0,06	0,06	0,03	0,18
41,23	0,08	0,04	0,05	0,02	0,05	0,01	0,02	0,01	0,05

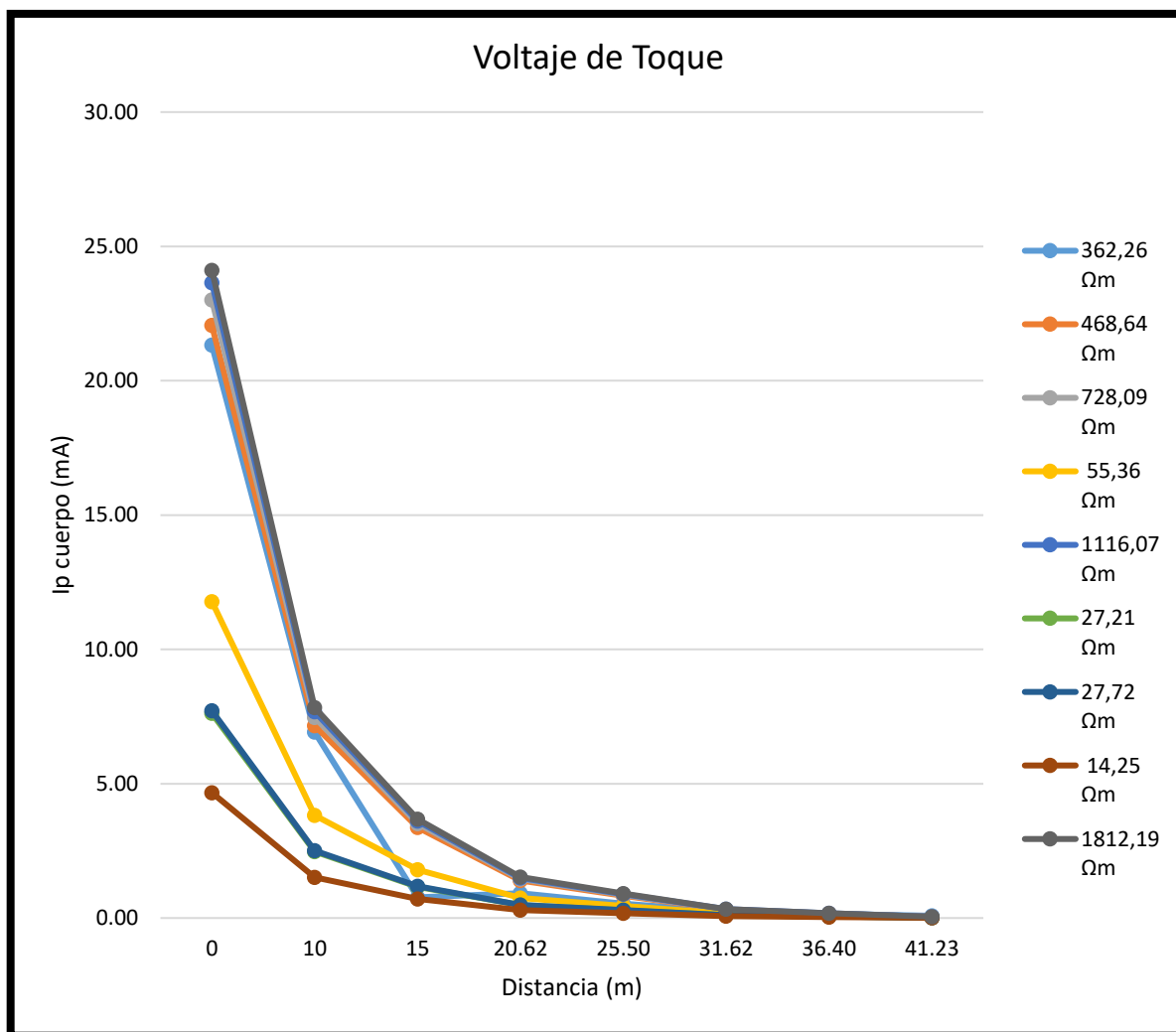


Figura 5.14. Curva de voltajes de toque con falla en el lado horizontal de la malla

Al igual que el caso anterior el voltaje de toque se evalúa mediante la variación de la resistividad del suelo a través de los datos obtenidos en campo de las distintas mediciones, en el cual se puede visualizar los valores que toma la corriente al ocurrir una falla, por lo tanto, mientras la resistividad del suelo aumenta la corriente que atraviesa a través del cuerpo humano es mucho mayor y si la resistividad del suelo disminuye esta corriente que atraviesa por el cuerpo humano es mucho menor. Además, al evaluar la corriente en los voltajes se puede visualizar que en el voltaje de toque hay una mayor fluidez de corriente eléctrica debido a que se encuentra en contacto directo con un objeto metálico, por lo que es importante la creación de una malla de puesta a tierra en dependencia al tipo de suelo.

Otra forma de verificar además de obtener las corrientes es a través del cálculo de la malla en donde se puede visualizar en la tabla II.2 del índice, que tipo de suelos cumplen con el dimensionamiento y que tipos exceden. Por lo tanto, a través de los datos obtenidos se muestra que, al ingresar los valores de la resistividad del suelo, medidas en campo cumplen con el

dimensionamiento y otras no, así también se visualiza que la corriente que circula por la persona protege y permanece dentro de los límites tolerables debido al tipo de conductor elegido para la malla establecida en el prototipo virtual.

5.5. Análisis del Voltaje de Paso y Toque al variar la corriente de falla en la malla establecida del prototipo virtual.

Manteniendo los parámetros de diseño de la malla establecida en el prototipo virtual, se procede a la variación de la corriente de falla, para verificar hasta que valor es el máximo admisible que soportara la malla cuando ocurra una sobre corriente de cualquier origen, así también se demostrara como afecta y circula la corriente a través del cuerpo humano, ya sea al incrementar o disminuir en el programa.

5.5.1.1. Análisis del voltaje de paso y toque cuando la corriente de falla tenga un valor de 5590 A.

Tabla 5.13. Valores de voltaje de paso y toque cuando la corriente de falla tenga un valor de 5590 A

distancia (metros)	Voltaje de Paso	Voltaje de Toque
	Ip paso (mA)	Ip toque (mA)
0	40,28	135,66
10	12,11	40,78
15,81	1,02	11,62
22,36	0,09	4,60
26,93	0,04	2,93
33,54	0,15	1,32
40,31	0,15	0,50
44,72	0,04	0,14

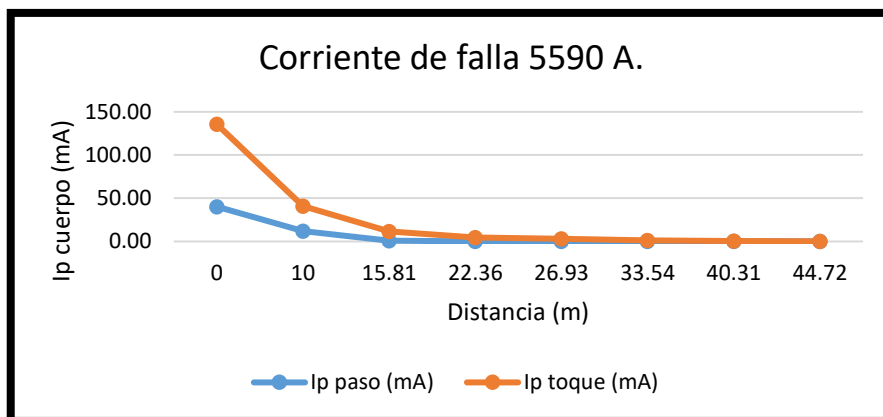


Figura 5.15. Curva de voltaje de paso y toque cuando la corriente de falla tenga un valor de 5590 A.

Al tomar un valor de corriente de falla de 5590 Amperios se puede visualizar que cumple con todos los parámetros establecidos en el dimensionamiento, pero al comprobar este valor en el

prototipo virtual se puede visualizar que la corriente que circula a través del cuerpo humano será mucho mayor, por lo que provocaría grandes accidentes, incluso hasta la muerte, por tal motivo es necesario verificar los voltajes de paso y toque, para observar si la corriente que circula en la persona es indicada o excede los parámetros de normalización.

5.5.1.2. Análisis del voltaje de paso y toque cuando la corriente de falla tenga un valor de 10000 A.

Tabla 5.14. Valores de voltaje de paso y toque cuando la corriente de falla tenga un valor de 10000 A.

distancia (metros)	Voltaje de Paso	Voltaje de Toque
	Ip paso (mA)	Ip toque (mA)
0	72,05	242,68
10	21,66	72,94
15,81	1,82	20,79
22,36	0,15	8,24
26,93	0,07	5,25
33,54	0,27	2,36
40,31	0,27	0,90
44,72	0,07	0,25

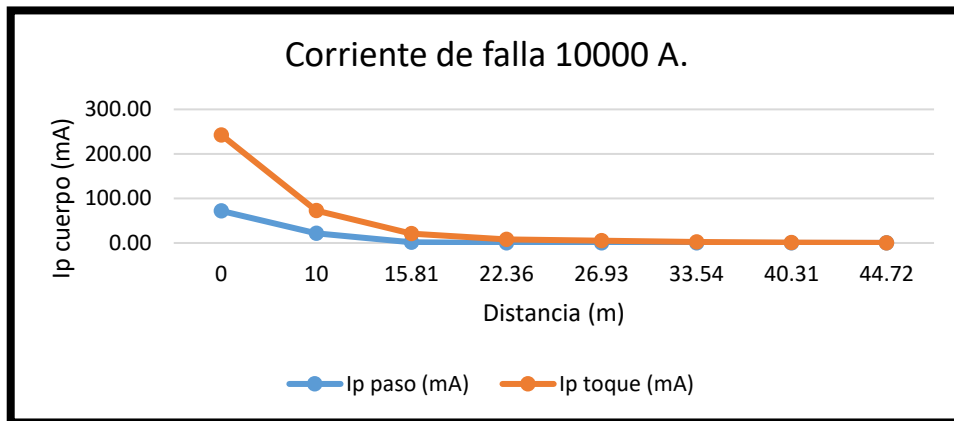


Figura 5.16. Curva de voltaje de paso y toque cuando la corriente de falla tenga un valor de 10000 A.

Para una mejor interpretación se toma una corriente que excede los parámetros del cálculo del dimensionamiento, mismo que permite visualizar como la corriente que circula a través del cuerpo humano afecta a la persona, por lo cual es necesario un estudio y dimensionamiento para cada corriente de falla específicamente.

Además, la corriente en el voltaje de toque es mucho mayor que la del voltaje de paso debido a que se encuentra en contacto directo con un objeto metálico, así también existe mayor cantidad

de corriente en los extremos, es decir, cerca de las varillas o en las varillas la corriente que circula en el ser humano es mayor que en la mitad de la malla.

5.6. Análisis del Voltaje de Paso y Toque al variar la resistividad de la capa superficial

5.6.1. Análisis del voltaje de paso y toque cuando la resistividad superficial es de 2000 Ω -m

Tabla 5.15. Valores de corriente de paso y toque al varezar la resistencia superficial de 2000 Ω -m.

distancia (metros)	Voltaje de Paso	Voltaje de Toque
	Ip paso (mA)	Ip toque (mA)
0	9,28	30,14
10	2,79	9,06
15,811	0,23	2,58
22,361	0,02	1,02
26,926	0,01	0,65
33,541	0,03	0,29
40,311	0,03	0,11
44,721	0,01	0,03

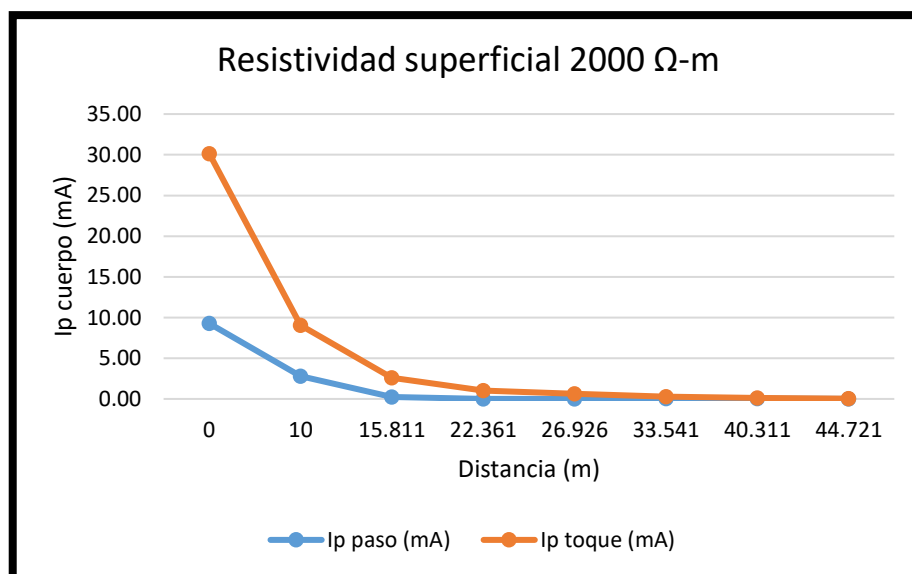


Figura 5.17. Curva de corriente de paso y toque al varezar la resistencia superficial de 2000 Ω -m.

5.6.2. Análisis del voltaje de paso y toque cuando la resistividad superficial es de 4000 Ω -m

De la misma manera se procede a realizar la variación de la resistividad de la capa superficial, manteniendo los valores de ingreso del caso base, pero con una variación en la capa superficial superior a la inicial, con una falla en el extremo de la malla, a través de distintas posiciones de la persona.

Tabla 5.16. Valores de corriente de paso y toque al varear la resistencia superficial de 4000 Ω -m.

distancia (metros)	Voltaje de Paso	Voltaje de Toque
	Ip paso (mA)	Ip toque (mA)
0	4,82	17,23
10	1,45	5,18
15,81	0,12	1,48
22,36	0,01	0,58
26,93	0,00	0,37
33,54	0,02	0,17
40,31	0,02	0,06
44,72	0,00	0,02

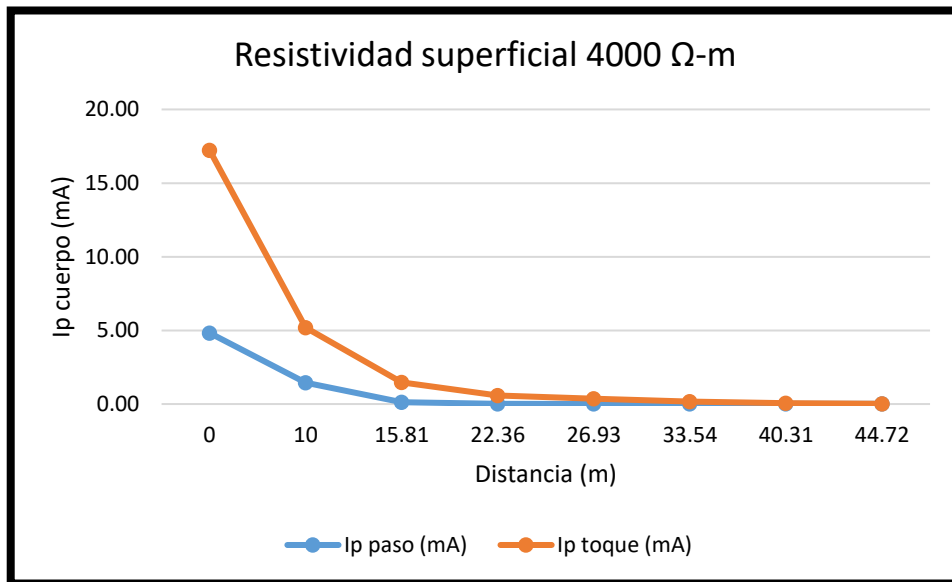


Figura 5.18. Curva de corriente de paso y toque al varear la resistencia superficial de 4000 Ω -m.

5.6.3. Análisis del voltaje de paso y toque cuando la resistividad superficial es de 5000 Ω -m

Tabla 5.17. Valores de corriente de paso y toque al varear la resistencia superficial de 2000 Ω -m.

distancia (metros)	Voltaje de Paso	Voltaje de Toque
	Ip paso (mA)	Ip toque (mA)
0	3,89	14,19
10	1,17	4,26
15,81	0,10	1,22
22,36	0,01	0,48
26,93	0,00	0,31
33,54	0,01	0,14
40,31	0,01	0,05
44,72	0,00	0,01

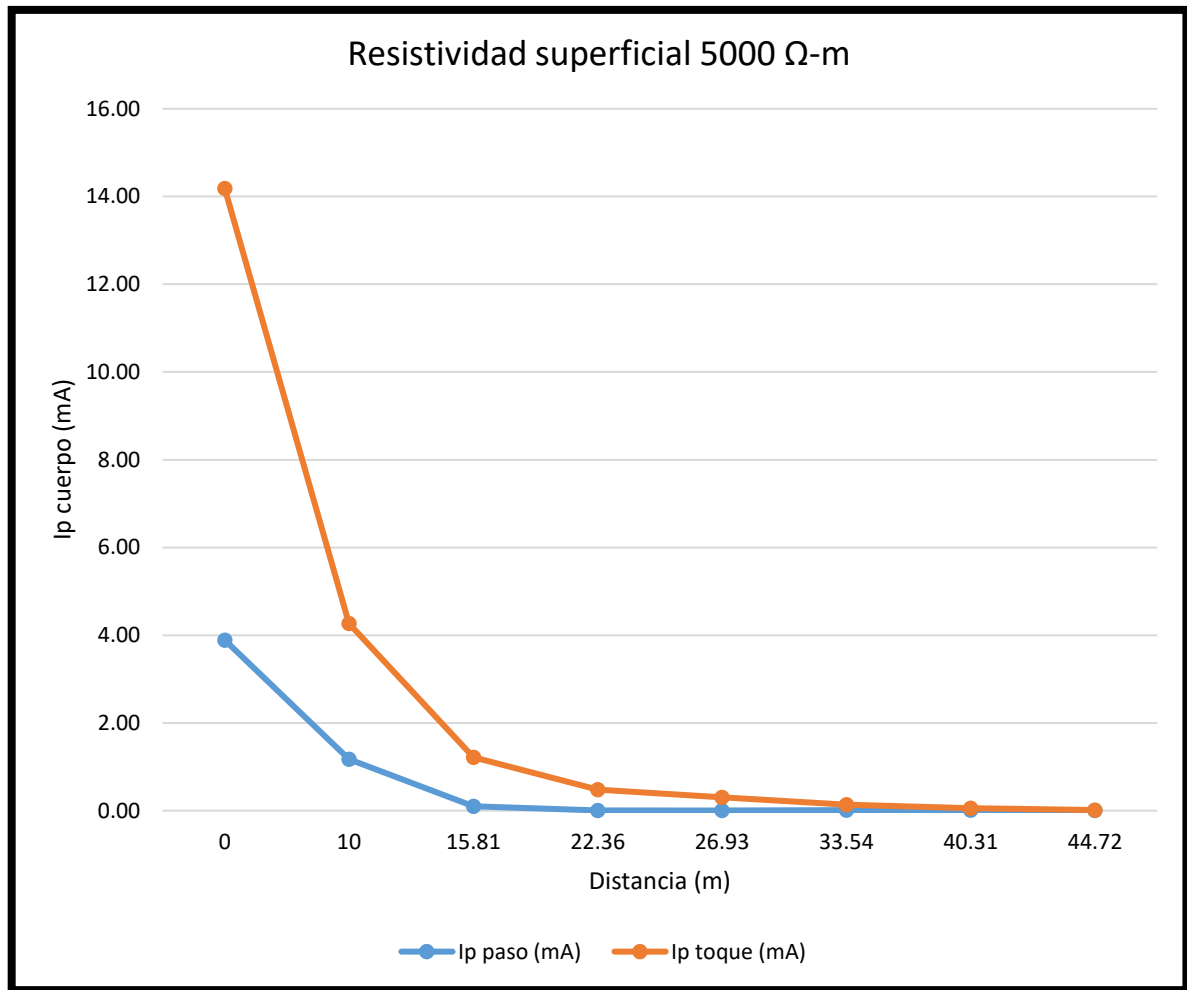


Figura 5.19. Curva de corriente de paso y toque al varezar la resistencia superficial de 5000 Ω -m.

Al variar la resistividad superficial, manteniendo los valores iniciales del caso base de la resistividad del suelo, la corriente de falla y el tiempo de simulación en el prototipo virtual, se puede observar que cuando toma un valor alto (5000 Ω -m), la corriente resultante que atraviesa por el cuerpo humano es baja, mientras que si esta resistividad superficial es baja (2000 Ω -m) la corriente aumenta haciendo que la malla no proteja a la persona.

Cabe mencionar que al variar la resistividad de la capa superficial este afectara directamente a los voltajes de paso y toque tolerables, pero no a los voltajes de diseño.

6. PRESUPUESTO Y ANALISIS DE IMPACTOS

6.1. Presupuesto

Para el desarrollo del presente proyecto se basó en el cuadro de actividades que se realizó durante el semestre, ver anexo 8, las actividades desarrolladas durante el periodo académico dan como resultado el siguiente presupuesto, donde se detalla cada uno de los costos que abarco la ejecución del prototipo virtual.

6.1.1. Detalle de presupuesto

Tabla 6.1. Detalle de presupuesto de personal

RECURSOS	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Humanos				
Programador	1	Personas	\$ 800,00	\$ 800,00
Asesor	1	Personas	\$ 400,00	\$ 300,00
Total, Recursos Humanos:				\$1.100,00
Materiales				
Papel bond	3	Resmas	\$ 5,00	\$ 15,00
Impresiones blanco y negro	600	Unidades	\$ 0,05	\$ 30,00
Impresiones a color	300	Unidades	\$ 0,10	\$ 30,00
Carpetas	2	Unidades	\$ 0,40	\$ 0,80
Anillados	6	Unidades	\$ 4,00	\$ 24,00
Empastados	3	Unidades	\$ 20,00	\$ 60,00
Lápices	4	Unidades	\$ 1,00	\$ 4,00
Total, Recursos Materiales:				\$ 163,80
Tecnológicos				
Computador	400	Horas	\$ 0,25	\$ 100,00
Uso de internet	200	Horas	\$ 0,50	\$ 100,00
Scanner	12	Unidades	\$ 0,50	\$ 6,00
Total, Recursos Tecnológicos:				\$ 206,00
Movilización y transporte				
Alimentación	40	Unidades	\$ 2,50	\$ 100,00
Movilización	20	Unidades	\$ 5,00	\$ 100,00
Total, Movilización y transporte:				\$ 200,00
SUB TOTAL RECURSOS:				\$1.669,80
			10% imprevistos	\$ 72,04
TOTAL, RECURSOS:				\$1.741,84

6.1.2. Resumen del presupuesto

Tabla 6.2. Resumen del presupuesto

RECURSOS	VALOR TOTAL
Humanos	\$ 1.100,00
Materiales	\$ 163,80
Tecnológicos	\$ 206,00
Movilización y transporte	\$ 200,00
Imprevistos	\$ 72,04
	\$ 1.741,84

El presupuesto total de la construcción del prototipo tomando en cuenta los elementos constitutivos que pueden ser cambiados es de 1.741,84 dólares.

6.2. Análisis de impactos

6.2.1. Impacto técnico

El proyecto permite demostrar el estudio de la funcionalidad del prototipo y de la malla de puesta a tierra, los voltajes de paso y toque, las corrientes que se disiparan por ella y como afectan al cuerpo humano en las diferentes posiciones, a través de los distintos tipos de suelos. Esto demuestra la funcionalidad y sirve como fuente de investigación para futuros trabajos.

6.2.2. Impacto social

La implementación del proyecto permite a docentes y estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica socializar y opinar sobre los voltajes de paso y de toque en relación a la caracterización del terreno. Además del impacto e importancia que tiene en la concientización de la seguridad de los bienes humanos y materiales al utilizar estos mecanismos de protección.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- En conformidad con la norma IEEE STD 80-2000, se indica que la malla dependerá principalmente de la resistividad del suelo, el cual influye en el dimensionamiento de los sistemas de puesta a tierra, obteniéndose una resistencia total de la malla de 4,83731 ohm al agregar varillas en el caso base, por lo tanto para cumplir con el dimensionamiento, una malla sin varillas debe indicar que la elevación de potencial sea menor que el voltaje de toque tolerable, ya sea para los 50kg o 70kg en dependencia al usuario, mientras que en la malla con varillas se debe realizar una comparación de los voltajes tolerables con las de diseño, con el objetivo de resguardar la seguridad de la persona.
- Mediante la programación del prototipo virtual, a través del análisis matemático se determina una malla de 20x40 metros, con 24 varillas, dando resultados de voltajes tolerables a 50kg (Ep50: 1946,85 y Et50: 609,75) y voltajes de diseño (Em:114,012 y Ep:100,30), además a través de la comparación del prototipo virtual con la normativa IEEE 80-2000 en las configuraciones cuadrada, rectangular y en L, se evidencia que la corriente máxima a disiparse por la malla, la elevación del potencial y el voltaje de malla no cumplen, debido a la inconsistencia de la norma en el procedimiento de cálculo en la malla cuadrada.
- Al inyectar la corriente máxima de falla de 1045,924401 A, en el prototipo virtual del caso base, tomada a la mayor potencia del cálculo de la corriente de cortocircuito del

transformador, se determina que el voltaje de paso y toque no son elevados ($E_p:100,30 < E_p50:1946,85$ y $E_m:114,012 < E_t50: 609,75$), debido a que el sistema de puesta a tierra fue dimensionado para soportar condiciones del caso base, dando una protección al ser humano y los equipos con corrientes máximas de paso de $7,53616A$. y de toque de $26,06005A$. Al incrementar el valor calculado de corriente para el dimensionamiento (Ejemplo: 5990 y 10000 Amperios), los voltajes de paso y toque exceden los umbrales de protección de la persona ($73,98$ y $241,94$), haciéndolo peligroso para la integridad del operador y su alrededor.

- Al variar los datos de ingreso en el prototipo virtual sin exceder más allá de lo establecido, la corriente que circula a través del cuerpo humano, no excede el umbral de intensidad de corriente que provoque algún efecto fisiológico, en conclusión, la corriente y los voltajes tanto de paso como de toque que atraviesan por el cuerpo humano, serán similares debido a que la persona toma un valor de resistencia de 1000Ω .
- Mediante la variación de la resistividad del suelo ($362,26$; $468,65$; $55,36$; $27,21$; $728,09$; $27,72$; $14,25$ y $1812,2$ ohm) en el prototipo virtual, se determina que, si la resistividad del suelo aumenta, la corriente que atraviesa por el cuerpo humano también aumenta, mientras que, si esta disminuye, la corriente es baja. Considerando que, cuando se habla de voltaje de toque ($26,06005A$) a diferencia del de paso ($7,53616A$), el voltaje y la corriente que atraviesa por la persona es mayor, por la relación directa que tiene con el objeto, es decir, la diferencia de potencial y la corriente que se presentan en los voltajes de estudio varían de acuerdo a la resistencia del cuerpo, su posición y la resistividad del suelo.
- La corriente de falla, ocasionada por una máquina, por maniobra o por una descarga atmosférica, que circula por el cuerpo humano, cuando la falla es cercana resulta mucho mayor $26,06005A$ (caso más crítico), que cuando la falla sea más alejada con un valor despreciable de $0,00781 A$, es decir, mientras la falla se encuentre cercano a la persona este recibirá mayor intensidad, todo dependerá del lugar y del valor de ingreso que tomen en los parámetros establecidos del prototipo virtual.
- A través de las mediciones efectuadas en campo de la resistividad de los diferentes suelos se determina mediante el análisis matemático valores de $0,95$; $0,47$; $0,48$ y $0,25 \Omega$, mismas que se encuentran en conformidad a la norma IEEE STD 80-2000 para el diseño de puesta a tierra, es decir, son menores a los 5Ω establecidas por norma de un mallado de puesta a tierra para una subestación. En los restantes tipos de suelo $6,24$;

8,08; 12,75; 16,92 y 31,23 Ω , no cumplen con el dimensionamiento de la malla en el caso más crítico, pero debido al diseño del calibre del conductor 2/0 AWG del prototipo virtual protege a la persona.

7.2. Recomendaciones

- Se recomienda determinar el método de medición de la resistividad del suelo, acorde a las características y variabilidad de las subestaciones, que además sea fiable, esto acompañado del correcto cálculo de la corriente de cortocircuito, considerando los parámetros técnicos del transformador, datos necesarios para el diseño de la malla de puesta a tierra. El uso de prototipos, facilita a la medición y anticipa a evitar accidentes e incidentes eléctricos, en este caso se aconseja utilizar el prototipo de malla tridimensional, que permite realizar las evaluaciones del voltaje de paso y toque en diferentes tipos de suelo y posiciones de la persona. Se deben
- Utilizar la información que consta en la norma IEEE STD 80-2000, que indica que una malla de puesta a tierra dependerá principalmente de la resistividad del suelo, por lo que es necesario analizar de manera profunda la resistencia del terreno en donde se va a colocar la malla a tierra debido a que está directamente relacionada con la descarga del voltaje.
- Observar las condiciones de la malla sin varillas para cumplir con las condiciones requeridas menor a los 5 ohmios, mientras que en la malla con varillas, se debe comparar los voltajes tolerables con las de diseño, con el objetivo de resguardar la seguridad material y personal, así como también considerar en la programación del prototipo virtual los distintos cálculos en los diferentes tipos de malla, a través de los datos de corriente máxima de disipación y observar cómo actúa el voltaje y corriente de la malla.
- Considerar en los análisis del voltaje de toque y paso si la corriente que circula por el cuerpo humano, no excede el umbral de intensidad de corriente que pueda provocar algún efecto fisiológico. Tomar en cuenta que, al variar los parámetros establecidos en el prototipo virtual, permite conocer y visualizar los voltajes de paso y toque, es decir, el incremento o disminución de los voltajes en la malla, por lo que, al exceder los valores de ingreso en los parámetros establecidos podría llegar a afectar la seguridad de la persona.
- Se sugiere que en la diferencia de potencial y la corriente que se presentan en el voltaje de toque y paso, se debe tomar en cuenta la resistencia del cuerpo, resistividad del suelo

la tierra y su posición, ya que mientras la falla se encuentre más cerca a la persona este recibirá mayor intensidad o descarga.

- Tomar en cuenta las mediciones obtenidas en campo de los diferentes tipos de suelo, que cumplan con el dimensionamiento de la malla y que no sobrepase el límite admisible por norma de una malla de puesta a tierra, también se considere el calibre del conductor.
- La Universidad Técnica de Cotopaxi siga manteniendo las políticas centradas en el desarrollo de habilidades para la vida, la autonomía, emancipación y bienestar de los jóvenes mediante propuestas de tecnológicas basada en la cooperación, participación, respeto y tolerancia incorporando programas de interpretación técnico, enfocado a soluciones y aplicaciones de mallas de puesta a tierra para mejorar la protección de personas.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Bruno, «ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com,» ingenieriaelectricaexplicada, 2012. [En línea]. Available: <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com/2012/07/tensiones-de-contacto-y-paso-en-et.html>. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [2] O. Castro y J. Asdrúbal, «Cálculo de la malla de puesta a tierra de una subestación,» Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2003.
- [3] D. A. Taipe, *Aplicación del programa computacional GRNDSTUDIO VI.0*, Quito: Escuela Politecnica Nacional, 2013.
- [4] I. A. S. 81-1983, *Guide for Measuring Earth Resistivity*,, 2012.
- [5] D. Sánchez Bolaños y D. A. Cardona Duarte, «Sección 250-280,» de *Manual de código electrico Colombiano NTC*, Pereira , Universidad Tecnológica de Pereira, 2008, p. 41.
- [6] F. Casas Ospina, *Tierras soporte de la seguridad eléctrica*, Medellín: Seguridad eléctrica Ltda, 2008.
- [7] F. Longatt, *Sistemas de puesta a tierra y protección contra*, recuperado de: www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.phd, 2014.

- [8] G. L. Ferro, Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna, Argentina: Universidad Nacional de Mar del Plata, 2015.
- [9] R. Ruelas, SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA, 2008.
- [10] G. Ferro, «Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna,» Universidad Nacional del Mar del plata, Mar del Plata, 2015.
- [11] C. d. c. circuito, «Calculadora de corto circuito,» [En línea]. Available: <https://www.calculatorsconversion.com/es/calculadora-cortocircuito-sistemas-electricos-kva/>.
- [12] Zone, «www.sectorelectricidad.com,» sectorelectricidad, 2010. [En línea]. Available: <http://www.sectorelectricidad.com/11085/tensiones-de-toque-y-paso-alrededor-de-una-subestacion/>. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [13] A. /. I. S. 80-2000, «Guide for Safety in AC Substations Grounding,» (revisión de la IEEE Std 80-1986)., 1986.
- [14] J. M. Ramírez Castaño y E. A. Cano Plata, «Sistema de puesta a tierra: Diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF,» Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 2010.
- [15] C. Astudillo y M. Cajamarca, El cálculo de sistemas de puesta a tierra aplicación de la norma IEEE 80-2000, Cuenca: Universidad de Cuenca, 2012.
- [16] V. Castillo y E. Marquez, «<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15616/1/UPS-GT002158.pdf>,» 2018. [En línea]. Available: dspace.ups.edu.ec. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [17] «www.omicronenergy.com,» omicronenergy, 2014. [En línea]. Available: <https://www.omicronenergy.com/es/aplicaciones/pruebas-en-sistemas-de-puesta-a-tierra/pruebas-de-tension-de-paso-y-de-contacto/>. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [18] R. García, Puesta a tierra de instalaciones eléctricas, Barcelona: MACOMBO, 1999.
- [19] H. Alvizures, «biblioteca.usac.edu.gt,» 2006. [En línea]. Available: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0579_EA.pdf. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [20] Anónimo, «REGLAMENTOTÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE),» Bogotá, 2013.
- [21] A. Ingenieria, «ASEI Ingenieria,» ASEI Ingenieria, 30 Agosto 2013. [En línea]. Available: <https://www.asei-ingenieria.com/documents/retie.pdf>. [Último acceso: 30 Noviembre 2019].

- [22] S. Hurtado y L. Inga, Diseño de malla puesta a tierra, Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana, 2010.
- [23] C. Quinga y M. Gualotuña, «Diseño y construcción de un sistema de puesta a tierra para la protección eléctrica del mini centro comercial Mi Balón,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2014.
- [24] C. Bolívar, Nuevo estudio de voltajes peligrosos en sistemas de puesta a tierra., Quito: Escuela Politécnica Nacional, 1983.
- [25] W. Pardo, «Diseño de puestas a tierra y apantallamientos electricos para proteccion de equipos y personas de la Universidad de las Fuerzas Armadas,» Universidad de las Fuerzas Armadas, Cotopaxi.
- [26] F. Sinchi, Diseño y determinación de sistemas de puesta a tierra mediante pruebas de campo con elementos comunes utilizados en la región, incluyendo GEM y electrodo químico, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2017.
- [27] E. Torres, Procedimeinto de medición de las tensiones de toque y de paso en una red de distribución eléctrica, Lima: Universidad Nacional de Ingenieria, 2008.
- [28] I. Lopez, «Informe Técnico,» IEE transmotor S.A.C., 2009.
- [29] «Tensiones de contacto y paso en ET,» 23 07 2012. [En línea]. Available: <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com/2012/07/tensiones-de-contacto-y-paso-en-et.html>. [Último acceso: 20 06 2019].
- [30] A. Jaramillo, «Mediciones de tensiones de paso y contacto,» Ingenieria Total LTDA, España.
- [31] L. Sayas, «www.osinergminorienta.gob.pe,» Osiner, 2011. [En línea]. Available: <http://www.osinergminorienta.gob.pe/documents/54705/339840/capitulo+5.pdf>. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [32] M. Guzman, «repositorio.ucsg.edu.ec,» 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3598/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-48.pdf>. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [33] P. Blasco, «riunet.upv.es,» 2015. [En línea]. Available: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/75509/PRACTICA%20AT__RiuNET%202en1.pdf?sequence=1. [Último acceso: 20 Junio 2019].

- [34] J. Orozco, «tesis.ipn.mx,» 2008. [En línea]. Available: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/1516/1/DISENOTIERRASUBESTACIONES%20.pdf>. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [35] J. Gallo, «www.dspace.espol.edu.ec,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/11079/1/Riesgos%20por%20las%20tensiones%20de%20paso%20y%20de%20contacto%20con%20valores%20subestandaesx.pdf>. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [36] «www.servelec.mx,» servelec, 2011. [En línea]. Available: <https://www.servelec.mx/pruebas-a-transformadores.html>. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [37] I. Cuadros Acosta, «Geek Electrónica,» Geek Electrónica, 19 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://geekelectronica.com/leyes-de-kirchhoff/>. [Último acceso: 30 Noviembre 2019].

ANEXOS

ANEXO I. SECCIÓN DEL CONDUCTOR

Tabla I.1. Dimensiones típicas de los conductores de puesta a tierra.

Calibre AWG o kcmil	Const.	Diámetro exterior		Área	
		N. hilos		mm ²	in ²
		mm	in		
8	7	3,70	0,146	8,318	0,0129
6	7	4,66	0,184	13,21	0,0205
4	7	5,88	0,232	21,12	0,0327
2	7	7,42	0,292	33,54	0,0520
1/0	7	9,36	0,368	53,52	0,083
2/0	7	10,5	0,414	67,35	0,1044
3/0	7	11,8	0,464	84,91	0,1316
4/0	7	13,3	0,522	107,4	0,1665

Fuente: [14].

DESCRIPTION	Material conductivity (%)	α_r factor at 20°C (1/°C)	K_0 at 0°C (0°C)	Fusing temperature T_m	ρ_r 20°C ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)	TCAP thermal capacity [$\text{J}/(\text{cm}^3\cdot^\circ\text{C})$]	Kf
Copper, annealed soft-drawn	100	0,00393	234	1083	1,72	3,42	7
Copper, commercial hard-drawn	97	0,00381	242	1084	1,78	3,42	7,06
Cooper-clad steel wire	40	0,00378	245	1084	4,4	3,85	10,45
Cooper-clad steel wire	30	0,00378	245	1084	5,86	3,85	12,06
Cooper-clad steel rod	20	0,00378	245	1084	8,62	3,85	14,64
Aluminum, EC grade	61	0,00403	228	657	2,86	2,56	12,12
Aluminum, 5005 alloy	53,5	0,00353	263	652	3,22	2,6	12,41
Aluminum, 6201 alloy	52,5	0,00347	268	654	3,28	2,6	12,47
Aluminum-clad steel wire	20,3	0,0036	258	657	8,48	3,58	17,2
Steel, 1020	10,8	0,00316	605	1510	15,9	3,28	15,95
Stainless-clad steel rod	9,8	0,0016	605	1400	17,5	4,44	14,72
Zinc-coated steel rod	8,6	0,0032	293	419	20,1	3,93	28,96
Stainless steel, 304	2,4	0,0013	749	1400	72	4,03	30,05

Figura I.1. Constantes de los materiales conductores.

Fuente: [14].

ANEXO II. MEDICIONES DE DISTINTOS TIPOS DE SUELOS

Anexo II.1. Medición de la resistividad en suelos uniformes


Tabla II.1. Medición de la resistividad del suelo de Bethlehemitas (Arena)

Modelado de suelo uniforme - Humus											
Separación (m)	Resistencia Dirección 1 (Ωm)	Resistencia Dirección 2 (Ωm)	Resistencia Dirección 3 (Ωm)	Resistencia Dirección 4 (Ωm)	Resistencia Promedio (Ωm)	Resistividad Dirección 1 (Ωm)	Resistividad Dirección 2 (Ωm)	Resistividad Dirección 3 (Ωm)	Resistividad Dirección 4 (Ωm)	Resistividad Promedio (Ωm)	Porcentaje Variación (%)
1	73	75,7	70,4	68	71,775	458,67253	475,63713	442,33625	427,25660	450,97563	
2	36	35,2	33,3	28	33,125	452,38934	442,33625	418,46014	351,85838	416,26103	7,69767
3	22	18,7	15,3	13,2	17,3	414,69023	352,48670	288,39821	248,81414	326,09732	21,66038
4	9,8	12,2	10,7	8	10,175	246,30086	306,61944	268,92033	201,06193	255,72564	21,57996
Promedio					33,09375	Promedio					362,26490

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI						
Formato para el reporte de medición de resistividad del terreno						
Código: 001	Versión		Nombre del proceso:			
Página			1 de 1			
Reporte de medición de resistividad del terreno						
Sector	Bethlehemitas					
Equipo de medición	Telurometro 4234 ER					
Fecha de medición	4 de Noviembre del 2019					
Descripción del suelo						
Superficie del terreno	húmedo	<input checked="" type="checkbox"/>	seco	<input type="checkbox"/>	muy seco	<input type="checkbox"/>
Uso del suelo	cultivo	<input checked="" type="checkbox"/>	montañoso	<input type="checkbox"/>	otros	<input type="checkbox"/>
Tipo de suelo	grava	<input type="checkbox"/>	arcilla	<input type="checkbox"/>	limo	<input type="checkbox"/>
Mediciones de Resistencia del Suelo						
Profundidad (m)	Distancia entre Electrodo (m)	Resistencia (Ohmios)	Resistividad (Ωm)	Observaciones		
0,75	1	71,775	450,97563			
1,5	2	33,125	416,26103			
2,25	3	17,3	326,09732			
3	4	10,175	255,72564			
Promedio		33,09375	362,26490			
						
Elaborado Por: Nombre: Broncano Elvis Fecha: 04 de Noviembre del 2019			Elaborado Por: Nombre: Teneda Angel Fecha: 04 de Noviembre del 2019			
Nota:	SUELO TIPO ARENA ARCILLOSA (50-500 Ωm)					

Tabla II.2. Medición de la resistividad del suelo de Culaguango (Arena)

Modelado de suelo uniforme - Humus											
Separación (m)	Resistencia Dirección 1 (Ωm)	Resistencia Dirección 2 (Ωm)	Resistencia Dirección 3 (Ωm)	Resistencia Dirección 4 (Ωm)	Resistencia Promedio (Ωm)	Resistividad Dirección 1 (Ωm)	Resistividad Dirección 2 (Ωm)	Resistividad Dirección 3 (Ωm)	Resistividad Dirección 4 (Ωm)	Resistividad Promedio (Ωm)	Porcentaje Variación (%)
1	59	67	62,4	58	61,6	370,7079	420,9734	392,0708	364,4247	387,0442	8,3333
2	37	39	38,3	44	39,575	464,9557	490,0885	481,2920	552,9203	497,3141	12,4447
3	21,6	18,7	20,3	29	22,4	407,1504	352,4867	382,6460	546,6371	422,2301	15,0979
4	28	22	21,2	19,2	22,6	703,7168	552,9203	532,8141	482,5486	568,0000	
Promedio					36,54375	Promedio					468,6470841

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			
Formato para el reporte de medición de resistividad del terreno			
Código: 001	Versión		Nombre del proceso:
Página			1 de 1

Reporte de medición de resistividad del terreno

Sector	Culaguango
Equipo de medición	Telurometro 4234 ER
Fecha de medición	4 de Noviembre del 2019

Descripción del suelo

Superficie del terreno	húmedo	<input checked="" type="checkbox"/>	seco	<input type="checkbox"/>	muy seco	<input type="checkbox"/>
Uso del suelo	cultivo	<input type="checkbox"/>	montañoso	<input type="checkbox"/>	otros	<input type="checkbox"/>
Tipo de suelo	grava	<input type="checkbox"/>	arcilla	<input type="checkbox"/>	limo	<input type="checkbox"/>

Mediciones de Resistencia del Suelo				
Profundidad (m)	Distancia entre Electrodos (m)	Resistencia (Ohmios)	Resistividad (Ohmios-Metros)	Observaciones
0,75	1	61,6	387,044215	
1,5	2	39,575	497,314117	
2,25	3	22,4	422,230053	
3	4	22,6	567,999952	
Promedio		36,54375	468,6470843	


Elaborado Por:
Nombre: Broncano Elvis
Fecha: 04 de Noviembre del 2019

Elaborado Por:
Nombre: Teneda Angel
Fecha: 04 de Noviembre del 2019

Nota:	SUELO TIPO ARENA SILICEA (200-3000 Ωm)
-------	---

Tabla II.3. Medición de la resistividad del suelo de Chávez Pamba (Arena arcillosa)

Modelado de suelo uniforme - Humus											
Separación (m)	Resistencia Dirección 1 (Ωm)	Resistencia Dirección 2 (Ωm)	Resistencia Dirección 3 (Ωm)	Resistencia Dirección 4 (Ωm)	Resistencia Promedio (Ωm)	Resistividad Dirección 1 (Ωm)	Resistividad Dirección 2 (Ωm)	Resistividad Dirección 3 (Ωm)	Resistividad Dirección 4 (Ωm)	Resistividad Promedio (Ωm)	Porcentaje Variación (%)
1	12,8	15	13,2	12,6	13,4	80,42477193	94,24777961	82,93804605	79,16813487	84,19468312	
2	4,1	6	4,82	3,92	4,71	51,52211952	75,39822369	60,56990636	49,26017281	59,18760559	29,70149254
3	2,4	3	2,2	1,7	2,325	45,23893421	56,54866776	41,46902303	32,04424507	43,82521752	25,95541401
4	1,75	1,5	1,3	0,9	1,3625	43,98229715	37,69911184	32,6725636	22,61946711	34,24335992	21,86379928
Promedio					5,449375	Promedio					55,36271654

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			
Formato para el reporte de medición de resistividad del terreno			
Código: 001	Versión		Nombre del proceso:
Página			1 de 1


Reporte de medición de resistividad del terreno

Sector	Chavez Pamba
Equipo de medición	Telurómetro 4234 ER
Fecha de medición	4 de Noviembre del 2019

Descripción del suelo

Superficie del terreno	húmedo	<input checked="" type="checkbox"/>	seco	<input type="checkbox"/>	muy seco	<input type="checkbox"/>
Uso del suelo	cultivo	<input type="checkbox"/>	montañoso	<input checked="" type="checkbox"/>	otros	<input type="checkbox"/>
Tipo de suelo	grava	<input type="checkbox"/>	arcilla	<input checked="" type="checkbox"/>	limo	<input type="checkbox"/>

Mediciones de Resistencia del Suelo				
Profundidad (m)	Distancia entre Electrodo (m)	Resistencia (Ohmios)	Resistividad (Ohmios-Metros)	Observaciones
0,75	1	13,4	84,1946831	
1,5	2	4,71	59,1876056	
2,25	3	2,325	43,8252175	
3	4	1,3625	34,2433599	
Promedio		5,44938	55,36272	




Elaborado Por:
Nombre: Broncano Elvis
Fecha: 04 de Noviembre del 2019

Elaborado Por:
Nombre: Teneda Angel
Fecha: 04 de Noviembre del 2019

Nota:	SUELO TIPO ARENA ARCILLOSA (50-500 Ωm)
-------	---

Tabla II.4. Medición de la resistividad del suelo de Chaupi (Humus)

Modelado de suelo uniforme - Humus											
Separación (m)	Resistencia Dirección 1 (Ωm)	Resistencia Dirección 2 (Ωm)	Resistencia Dirección 3 (Ωm)	Resistencia Dirección 4 (Ωm)	Resistencia Promedio (Ωm)	Resistividad Dirección 1 (Ωm)	Resistividad Dirección 2 (Ωm)	Resistividad Dirección 3 (Ωm)	Resistividad Dirección 4 (Ωm)	Resistividad Promedio (Ωm)	Porcentaje Variación (%)
1	6,4	6,2	5,7	5	5,825	40,21239	38,95575	35,81416	31,41593	36,59955	
2	2,4	2,1	1,98	1,9	2,095	30,15929	26,38938	24,88141	23,87610	26,32655	28,06867
3	1,37	1,2	1,15	1,03	1,1875	25,82389	22,61947	21,67699	19,41504	22,38385	5,00000
4	1,01	0,99	0,9	0,85	0,9375	25,38407	24,88141	22,61947	21,36283	23,56194	10,50119
Promedio					2,51125	Promedio					27,21797

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			
Formato para el reporte de medición de resistividad del terreno			
Código: 001	Versión		Nombre del proceso:
Página			1 de 1

Reporte de medición de resistividad del terreno

Sector	Chaupi
Equipo de medición	Telurometro 4234 ER
Fecha de medición	4 de Noviembre del 2019

Descripción del suelo

Superficie del terreno	húmedo	<input checked="" type="checkbox"/>	seco	<input type="checkbox"/>	muy seco	<input type="checkbox"/>
Uso del suelo	cultivo	<input checked="" type="checkbox"/>	montañoso	<input type="checkbox"/>	otros	<input checked="" type="checkbox"/>
Tipo de suelo	grava	<input type="checkbox"/>	arcilla	<input type="checkbox"/>	limo	<input type="checkbox"/>

Mediciones de Resistencia del Suelo				
Profundidad (m)	Distancia entre Electrodo (m)	Resistencia (Ohmios)	Resistividad (Ohmios-Metros)	Observaciones
0,75	1	5,825	36,5995544	
1,5	2	2,095	26,3265464	
2,25	3	1,1875	22,3838477	
3	4	0,9375	23,5619449	
Promedio		2,51125	27,21797335	




Elaborado Por:
Nombre: Broncano Elvis
Fecha: 04 de Noviembre del 2019

Elaborado Por:
Nombre: Teneda Angel
Fecha: 04 de Noviembre del 2019

Nota:	SUELO TIPO HUMUS (10-150Ωm)
-------	-----------------------------

Tabla II.5. Medición de la resistividad del suelo de San Lorenzo (Limo)

Modelado de suelo uniforme - Humus											
Separación (m)	Resistencia Dirección 1 (Ω m)	Resistencia Dirección 2 (Ω m)	Resistencia Dirección 3 (Ω m)	Resistencia Dirección 4 (Ω m)	Resistencia Promedio (Ω m)	Resistividad Dirección 1 (Ω m)	Resistividad Dirección 2 (Ω m)	Resistividad Dirección 3 (Ω m)	Resistividad Dirección 4 (Ω m)	Resistividad Promedio (Ω m)	Porcentaje Variación (%)
1	2,4	3,1	2,8	2,2	2,625	15,07964474	19,47787445	17,59291886	13,82300768	16,49336143	29,81283422
2	2,07	1,95	1,81	1,65	1,87	26,01238717	24,5044227	22,74513081	20,73451151	23,49911305	28,55778415
3	2,3	1,9	1,43	1,35	1,745	43,35397862	35,81415625	26,95486497	25,44690049	32,89247508	13,47107438
4	1,6	1,45	2,2	0,8	1,5125	40,21238597	36,44247478	55,2920307	20,10619298	38,01327111	
Promedio					1,938125	Promedio					27,72455517

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			
Formato para el reporte de medición de resistividad del terreno			
Código: 001	Versión		Nombre del proceso:
Página			1 de 1

Reporte de medición de resistividad del terreno

Sector	San Lorenzo
Equipo de medición	Telurometro 4234 ER
Fecha de medición	4 de Noviembre del 2019

Descripción del suelo

Superficie del terreno	húmedo	<input checked="" type="checkbox"/>	seco	<input type="checkbox"/>	muy seco	<input type="checkbox"/>
Uso del suelo	cultivo	<input type="checkbox"/>	montañoso	<input type="checkbox"/>	otros	<input type="checkbox"/>
Tipo de suelo	grava	<input type="checkbox"/>	arcilla	<input type="checkbox"/>	limo	<input checked="" type="checkbox"/>

Mediciones de Resistencia del Suelo				
Profundidad (m)	Distancia entre Electrodo (m)	Resistencia (Ohmios)	Resistividad (Ohmios-Metros)	Observaciones
0,75	1	2,625	16,4933614	
1,5	2	1,87	23,499113	
2,25	3	1,745	32,8924751	
3	4	1,5125	38,0132711	
Promedio		1,93813	27,72456	





Elaborado Por:
Nombre: Broncano Elvis
Fecha: 04 de Noviembre del 2019

Elaborado Por:
Nombre: Teneda Angel
Fecha: 04 de Noviembre del 2019

Nota:	SUELO TIPO LIMO (20-100 Ω m)
-------	-------------------------------------

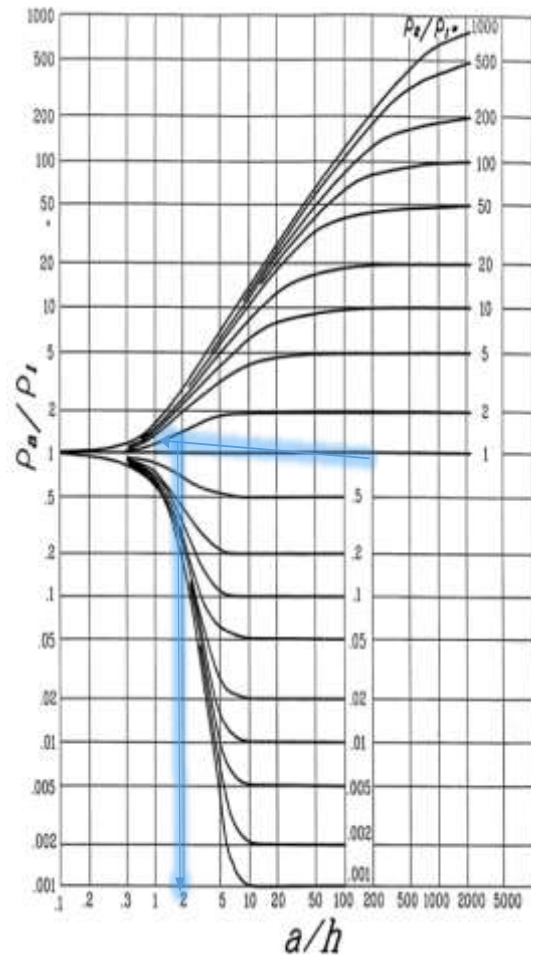
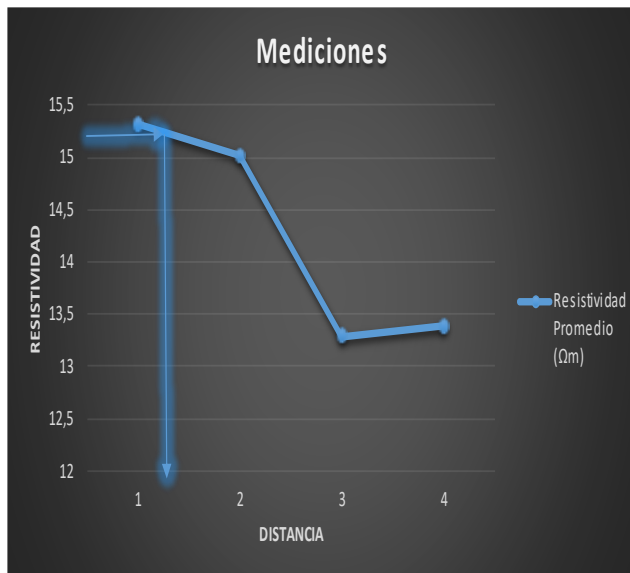
Tabla II.6. Medición de la resistividad del suelo de La Cocha (Pantanosos)

Modelado de suelo uniforme - Humus											
Separación (m)	Resistencia Dirección 1 (Ωm)	Resistencia Dirección 2 (Ωm)	Resistencia Dirección 3 (Ωm)	Resistencia Dirección 4 (Ωm)	Resistencia Promedio (Ωm)	Resistividad Dirección 1 (Ωm)	Resistividad Dirección 2 (Ωm)	Resistividad Dirección 3 (Ωm)	Resistividad Dirección 4 (Ωm)	Resistividad Promedio (Ωm)	Porcentaje Variación (%)
1	2,8	2,5	2,3	2,15	2,4375	17,59291886	15,70796327	14,45132621	13,50884841	15,31526419	
2	1,04	1,28	1,25	1,21	1,195	13,06902544	16,08495439	15,70796327	15,20530844	15,01681288	1,948717949
3	0,84	0,82	0,62	0,54	0,705	15,83362697	15,45663586	11,68672467	10,1787602	13,28893692	0,704225352
4	0,57	0,56	0,55	0,45	0,5325	14,3256625	14,07433509	13,82300768	11,30973355	13,3831847	10,87866109
Promedio					1,2175	Promedio				14,25104967	
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI											
Formato para el reporte de medición de resistividad del terreno											
Código: 001 Versión Nombre del proceso:											
Página 1 de 1											
Reporte de medición de resistividad del terreno											
Sector		La Cocha									
Equipo de medición		Telurometro 4234 ER									
Fecha de medición		4 de Noviembre del 2019									
Descripción del suelo											
Superficie del terreno	húmedo	<input checked="" type="checkbox"/>	seco	<input type="checkbox"/>	muy seco	<input type="checkbox"/>					
Uso del suelo	cultivo	<input type="checkbox"/>	montañoso	<input type="checkbox"/>	otros	<input type="checkbox"/>	Xx				
Tipo de suelo	grava	<input type="checkbox"/>	arcilla	<input type="checkbox"/>	limo	<input type="checkbox"/>					
Mediciones de Resistencia del Suelo											
Profundidad (m)	Distancia entre Electrodo (m)	Resistencia (Ohmios)	Resistividad (Ohmios-Metros)	Observaciones							
0,75	1	2,4375	15,3152642								
1,5	2	1,195	15,0168129								
2,25	3	0,705	13,2889369								
3	4	0,5325	13,3831847								
Promedio		1,21750	14,25105								
											
Elaborado Por: Nombre: Broncano Elvis Fecha: 04 de Noviembre del 2019						Elaborado Por: Nombre: Teneda Angel Fecha: 04 de Noviembre del 2019					
Nota:		SUELO TIPO PANTANOSO (0-30Ωm)									

Anexo II.2. Medición de la resistividad de suelos de dos capas

Tabla II.7. Medición de la resistividad del suelo de Chasqui (Arena silíceo)

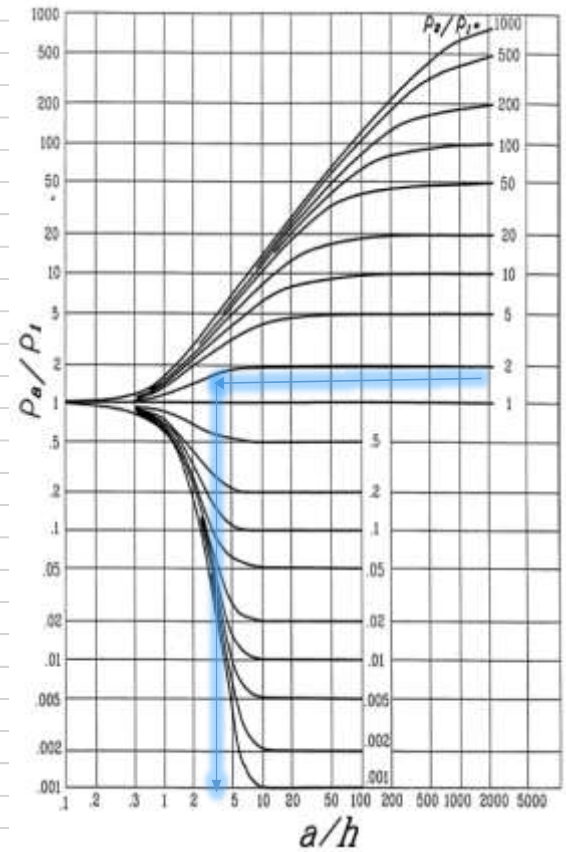
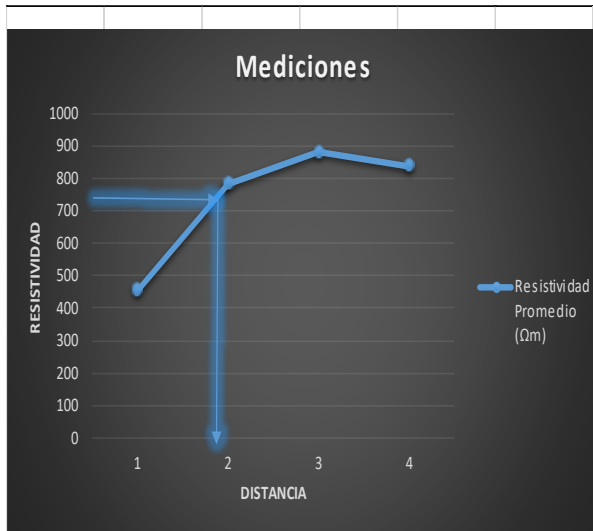
Modelado de suelo uniforme - Humus											
Separación (m)	Resistencia Dirección 1 (Ωm)	Resistencia Dirección 2 (Ωm)	Resistencia Dirección 3 (Ωm)	Resistencia Dirección 4 (Ωm)	Resistencia Promedio (Ωm)	Resistividad Dirección 1 (Ωm)	Resistividad Dirección 2 (Ωm)	Resistividad Dirección 3 (Ωm)	Resistividad Dirección 4 (Ωm)	Resistividad Promedio (Ωm)	Porcentaje Variación (%)
1	2,8	2,5	2,3	2,15	2,4375	17,59292	15,70796	14,45133	13,50885	15,31526	
2	1,04	1,28	1,25	1,21	1,195	13,06903	16,08495	15,70796	15,20531	15,01681	1,94872
3	0,84	0,82	0,62	0,54	0,705	15,83363	15,45664	11,68672	10,17876	13,28894	0,70423
4	0,57	0,56	0,55	0,45	0,5325	14,32566	14,07434	13,82301	11,30973	13,38318	10,87866
Promedio					1,2175	Promedio					14,25105



Para suelo de dos capas		
ρ_1	15,3152642	Ωm
ρ_2	13,3831847	Ωm
ρ_a	15,3152642	Ωm
ρ_a/ρ_1	1	por grafica Sunde
ρ_2/ρ_1	0,87384615	
a/h	2	por grafica Sunde
a	1,2	por grafica de resistividad
Profundidad de la segunda capa		
H	0,6	m

Tabla II.8. Medición de la resistividad del suelo de San Felipe (Arena)

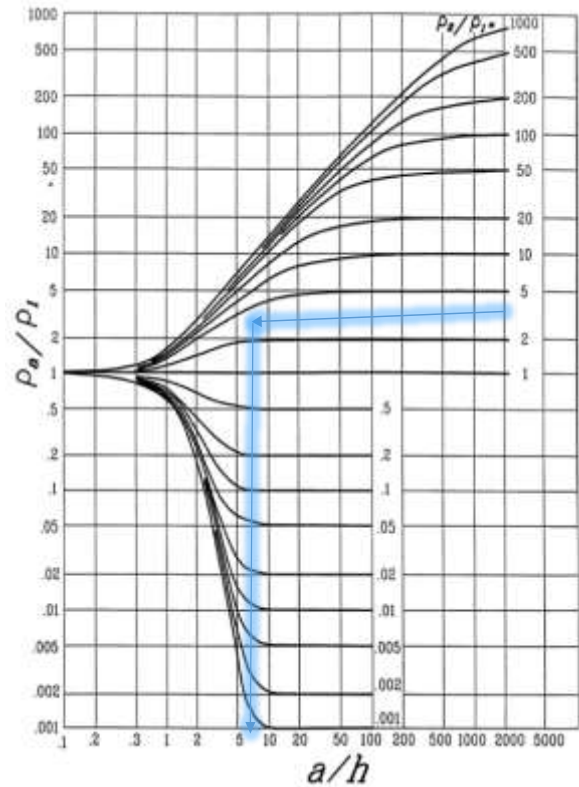
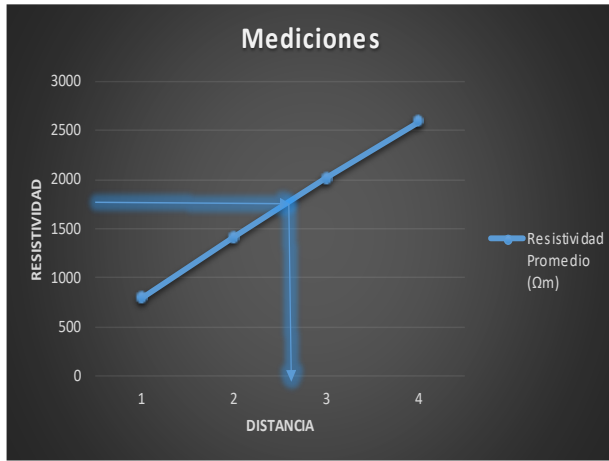
Modelado de suelo uniforme - Humus												
Separación (m)	Resistencia Dirección 1 (Ω m)	Resistencia Dirección 2 (Ω m)	Resistencia Dirección 3 (Ω m)	Resistencia Dirección 4 (Ω m)	Resistencia Promedio (Ω m)	Resistividad Dirección 1 (Ω m)	Resistividad Dirección 2 (Ω m)	Resistividad Dirección 3 (Ω m)	Resistividad Dirección 4 (Ω m)	Resistividad Promedio (Ω m)	Porcentaje Variación (%)	
1	76	73,4	71,3	69	72,425	477,52208	461,18580	447,99111	433,53979	455,05970	41,94389	
2	66	63,4	62,1	58	62,375	829,38046	796,70790	780,37162	728,84950	783,82737	6,62425	
3	47	49,2	47	43,6	46,7	885,92913	927,39815	885,92913	821,84064	880,27426		
4	36	35,7	33,1	28,8	33,4	904,77868	897,23886	831,89373	723,82295	839,43356	4,63954	
Promedio					53,725	Promedio					739,64872	



Para suelo de dos capas		
ρ_1	455,059696	Ω m
ρ_2	839,433557	Ω m
ρ_a	728,095513	Ω m
ρ_a/ρ_1	1,6	por grafica Sunde
ρ_2/ρ_1	1,8446669	
a/h	3,5	por grafica Sunde
a	1,8	por grafica de resistividad
Profundidad de la segunda capa		
H	0,51428571	m

Tabla II.9. Medición de la resistividad del suelo de Tapalan (Pedregoso Desnudo)

Modelado de suelo uniforme - Humus											
Separación (m)	Resistencia Dirección 1 (Ω m)	Resistencia Dirección 2 (Ω m)	Resistencia Dirección 3 (Ω m)	Resistencia Dirección 4 (Ω m)	Resistencia Promedio (Ω m)	Resistividad Dirección 1 (Ω m)	Resistividad Dirección 2 (Ω m)	Resistividad Dirección 3 (Ω m)	Resistividad Dirección 4 (Ω m)	Resistividad Promedio (Ω m)	Porcentaje Variación (%)
1	124	135	123	119,6	125,4	779,114978	848,230016	772,831793	751,468963	787,911438	44,0802676
2	117	113,2	111,4	106,9	112,125	1470,26536	1422,51315	1399,89369	1343,34502	1409,00431	30,0911854
3	110	109,8	105,6	102,3	106,925	2073,45115	2069,68124	1990,51311	1928,30957	2015,48877	22,2740489
4	108	104,1	102	98,6	103,175	2714,33605	2616,31836	2563,53961	2478,08829	2593,07058	
Promedio					111,90625	Promedio					1701,36877



Para suelo de dos capas		
ρ_1	787,911438	Ω m
ρ_2	2593,07058	Ω m
ρ_a	1812,19631	Ω m
ρ_a/ρ_1	2,3	por grafica Sunde
ρ_2/ρ_1	3,29106858	
a/h	6	por grafica Sunde
a	2,7	por grafica de resistividad
Profundidad de la segunda capa		
H	0,45	m

ANEXO III. DESARROLLO DE LA PROGRAMACIÓN HTML

HTML en el código de Visual Studio

Visual Studio Code proporciona soporte básico para la programación HTML lista para usar. Hay resaltado de sintaxis, terminaciones inteligentes con IntelliSense y formato personalizable. VS Code también incluye un excelente soporte para Emmet.

Prototipo virtual programado en html.

Para la programación en html los investigadores deben tener extensiones que ayudarán a la correcta simulación del proyecto a continuación se detalla cuáles son necesarias para el presente proyecto.

- Como primer punto se necesita el programa visual studio code, la aplicación ayuda a la programación ordenada. Cabe rescatar que la aplicación es libre sin costo ninguno por lo que si se desea descargar extensiones adicionales se lo podrá hacer sin ningún problema.
- Una vez teniendo el programa se procede a descargar la extensión Live Server la que ayudará a correr el programa en la plataforma de navegación en el caso del proyecto será en FireFox.
- Como el proyecto se basa en la creación de una plataforma virtual del sistema de puesta a tierra se procederá a crear la pantalla tridimensional esto se debe ir realizando por fila verificando que elementos tenemos en cada una, en el código presentados se observa el encabezado el cual es el código para el inicio de la programación, también se observa un identificador “id” denominado para la programación, en este caso los “id” son utilizados para dar un carácter o un nombre a cada elemento y también ingresamos la escala para este caso se tomó de 0.5 para poder abarcar toda la pestaña de programación, esto se va realizando para cada caso y para cada fila.
- Una vez creada la plataforma tridimensional se procede hacer los enlaces para el cálculo y la simulación del proyecto como se muestra a continuación se verá la página principal donde esta creado un código HTML. El cual es necesario para la creación de ventanas. Creada la ventana con la opción que se desea ir o dirigirse, se programa de igual manera en un código de HTML. Como anteriormente ya se creó la malla tridimensional se tiene que programar las posiciones de la persona.

- A continuación, se ingresa las fórmulas en el programa, para esto necesitamos un enlace en JavaScript el cual es un lenguaje de programación interpretado, dialecto del estándar ECMAScript. Se define como orientado a objetos, basado en prototipos, imperativo, débilmente tipado y dinámico, donde se podrá ingresar las fórmulas necesarias para el proyecto. En el siguiente código se encuentra la fórmula de la persona dependiendo en qué posición se la vaya a colocar, para la posición se usa la estructura de programación del “for” con el cual vamos a dar condiciones por posición de cada persona, cabe indicar que esta línea de programación se debe hacer para cada posición que se encontrara la persona, las fórmulas que se encuentran en esta línea de programación.
- Como se sabe que al ser un programa por posición se creara una matriz la cual también debe ser ingresada, para ver los valores necesarios en el programa. También se ingresaron las fórmulas de la malla, esto es necesario para el análisis de resultados.
- Ahora como ya anteriormente se programa los cálculos que deben integrar el proyecto se buscara la resolución y visualización de los voltajes de toque y paso en dependencia a la posición de la persona a través de toda la malla.
- También se ingresó una opción la cual calcula el dimensionamiento de las mallas cuadradas rectangulares y en L, esto servirá en el proyecto para demostrar que el caso base está correctamente direccionada.

Prototipo virtual programado en html.

Para la programación en html los investigadores deben tener extensiones que ayudaran a la correcta simulación del proyecto a continuación se detalla cuáles son necesarias para el presente proyecto.

Como primer punto se necesita el programa visual studio code, la aplicación ayuda a la programación ordenada. Cabe rescatar que la aplicación es libre sin costo ninguno por lo que si se desea descargar extensiones adicionales se lo podrá hacer sin ningún problema.



Figura III.1. Software de programación Visual Studio Code.
Fuente: Los investigadores.

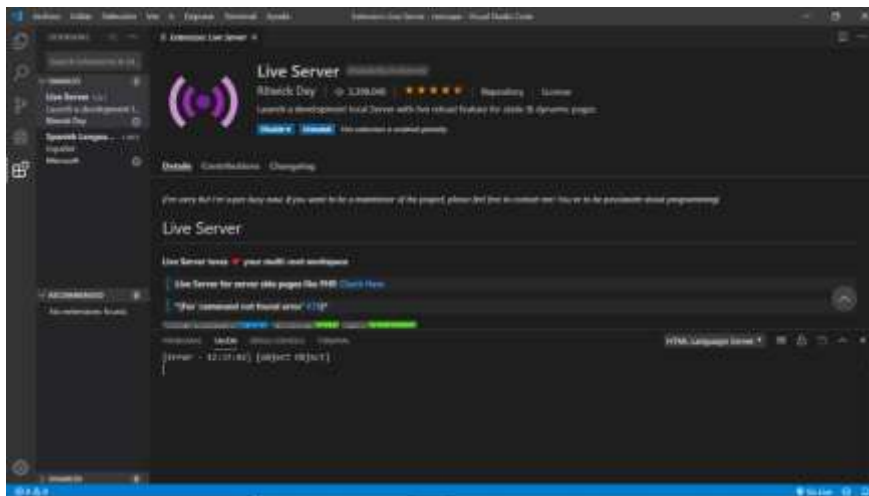
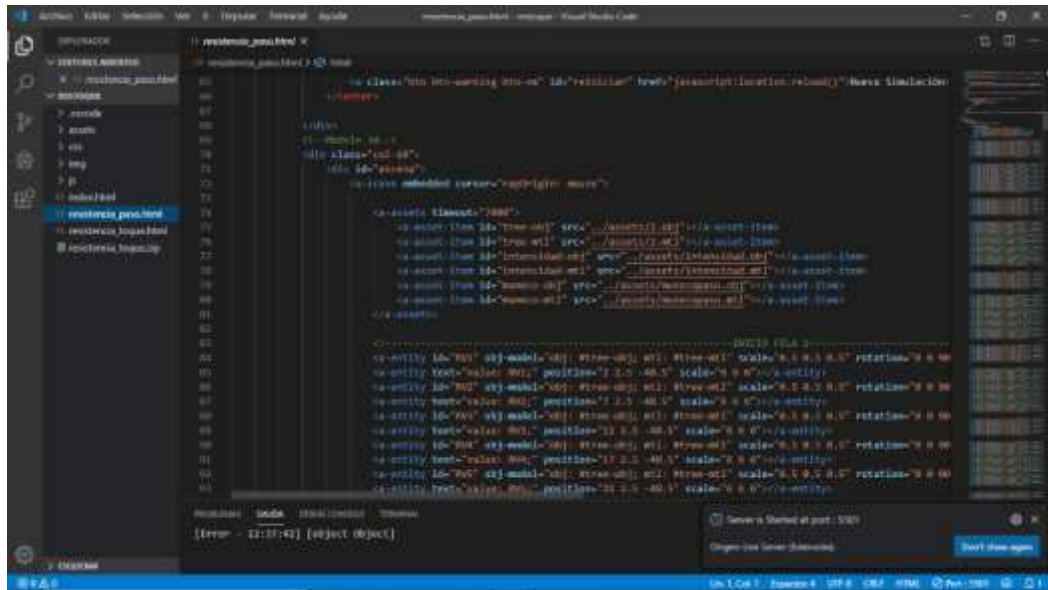


Figura III.2. Extensión de programación Live Server.
Fuente: Los Investigadores.



Figura III.3. Pantalla principal de la programación del proyecto plantado en el navegador Firefox.
Fuente: Los Investigadores.

Código de programación para la pantalla tridimensional con el desarrollo en Visual Studio Code.



```
1 // potencia_pasos.html
2
3 // potencia_pasos.html > app
4
5 // potencia_pasos.html
6
7 // potencia
8
9 // potencia
10
11 // potencia
12
13 // potencia
14
15 // potencia
16
17 // potencia
18
19 // potencia
20
21 // potencia
22
23 // potencia
24
25 // potencia
26
27 // potencia
28
29 // potencia
30
31 // potencia
32
33 // potencia
34
35 // potencia
36
37 // potencia
38
39 // potencia
40
41 // potencia
42
43 // potencia
44
45 // potencia
46
47 // potencia
48
49 // potencia
50
51 // potencia
52
53 // potencia
54
55 // potencia
56
57 // potencia
58
59 // potencia
60
61 // potencia
62
63 // potencia
64
65 // potencia
66
67 // potencia
68
69 // potencia
70
71 // potencia
72
73 // potencia
74
75 // potencia
76
77 // potencia
78
79 // potencia
80
81 // potencia
82
83 // potencia
84
85 // potencia
86
87 // potencia
88
89 // potencia
90
91 // potencia
92
93 // potencia
94
95 // potencia
96
97 // potencia
98
99 // potencia
100
101 // potencia
102
103 // potencia
104
105 // potencia
106
107 // potencia
108
109 // potencia
110
111 // potencia
112
113 // potencia
114
115 // potencia
116
117 // potencia
118
119 // potencia
120
121 // potencia
122
123 // potencia
124
125 // potencia
126
127 // potencia
128
129 // potencia
130
131 // potencia
132
133 // potencia
134
135 // potencia
136
137 // potencia
138
139 // potencia
140
141 // potencia
142
143 // potencia
144
145 // potencia
146
147 // potencia
148
149 // potencia
150
151 // potencia
152
153 // potencia
154
155 // potencia
156
157 // potencia
158
159 // potencia
160
161 // potencia
162
163 // potencia
164
165 // potencia
166
167 // potencia
168
169 // potencia
170
171 // potencia
172
173 // potencia
174
175 // potencia
176
177 // potencia
178
179 // potencia
180
181 // potencia
182
183 // potencia
184
185 // potencia
186
187 // potencia
188
189 // potencia
190
191 // potencia
192
193 // potencia
194
195 // potencia
196
197 // potencia
198
199 // potencia
200
201 // potencia
202
203 // potencia
204
205 // potencia
206
207 // potencia
208
209 // potencia
210
211 // potencia
212
213 // potencia
214
215 // potencia
216
217 // potencia
218
219 // potencia
220
221 // potencia
222
223 // potencia
224
225 // potencia
226
227 // potencia
228
229 // potencia
230
231 // potencia
232
233 // potencia
234
235 // potencia
236
237 // potencia
238
239 // potencia
240
241 // potencia
242
243 // potencia
244
245 // potencia
246
247 // potencia
248
249 // potencia
250
251 // potencia
252
253 // potencia
254
255 // potencia
256
257 // potencia
258
259 // potencia
260
261 // potencia
262
263 // potencia
264
265 // potencia
266
267 // potencia
268
269 // potencia
270
271 // potencia
272
273 // potencia
274
275 // potencia
276
277 // potencia
278
279 // potencia
280
281 // potencia
282
283 // potencia
284
285 // potencia
286
287 // potencia
288
289 // potencia
290
291 // potencia
292
293 // potencia
294
295 // potencia
296
297 // potencia
298
299 // potencia
300
301 // potencia
302
303 // potencia
304
305 // potencia
306
307 // potencia
308
309 // potencia
310
311 // potencia
312
313 // potencia
314
315 // potencia
316
317 // potencia
318
319 // potencia
320
321 // potencia
322
323 // potencia
324
325 // potencia
326
327 // potencia
328
329 // potencia
330
331 // potencia
332
333 // potencia
334
335 // potencia
336
337 // potencia
338
339 // potencia
340
341 // potencia
342
343 // potencia
344
345 // potencia
346
347 // potencia
348
349 // potencia
350
351 // potencia
352
353 // potencia
354
355 // potencia
356
357 // potencia
358
359 // potencia
360
361 // potencia
362
363 // potencia
364
365 // potencia
366
367 // potencia
368
369 // potencia
370
371 // potencia
372
373 // potencia
374
375 // potencia
376
377 // potencia
378
379 // potencia
380
381 // potencia
382
383 // potencia
384
385 // potencia
386
387 // potencia
388
389 // potencia
390
391 // potencia
392
393 // potencia
394
395 // potencia
396
397 // potencia
398
399 // potencia
400
401 // potencia
402
403 // potencia
404
405 // potencia
406
407 // potencia
408
409 // potencia
410
411 // potencia
412
413 // potencia
414
415 // potencia
416
417 // potencia
418
419 // potencia
420
421 // potencia
422
423 // potencia
424
425 // potencia
426
427 // potencia
428
429 // potencia
430
431 // potencia
432
433 // potencia
434
435 // potencia
436
437 // potencia
438
439 // potencia
440
441 // potencia
442
443 // potencia
444
445 // potencia
446
447 // potencia
448
449 // potencia
450
451 // potencia
452
453 // potencia
454
455 // potencia
456
457 // potencia
458
459 // potencia
460
461 // potencia
462
463 // potencia
464
465 // potencia
466
467 // potencia
468
469 // potencia
470
471 // potencia
472
473 // potencia
474
475 // potencia
476
477 // potencia
478
479 // potencia
480
481 // potencia
482
483 // potencia
484
485 // potencia
486
487 // potencia
488
489 // potencia
490
491 // potencia
492
493 // potencia
494
495 // potencia
496
497 // potencia
498
499 // potencia
500
501 // potencia
502
503 // potencia
504
505 // potencia
506
507 // potencia
508
509 // potencia
510
511 // potencia
512
513 // potencia
514
515 // potencia
516
517 // potencia
518
519 // potencia
520
521 // potencia
522
523 // potencia
524
525 // potencia
526
527 // potencia
528
529 // potencia
530
531 // potencia
532
533 // potencia
534
535 // potencia
536
537 // potencia
538
539 // potencia
540
541 // potencia
542
543 // potencia
544
545 // potencia
546
547 // potencia
548
549 // potencia
550
551 // potencia
552
553 // potencia
554
555 // potencia
556
557 // potencia
558
559 // potencia
560
561 // potencia
562
563 // potencia
564
565 // potencia
566
567 // potencia
568
569 // potencia
570
571 // potencia
572
573 // potencia
574
575 // potencia
576
577 // potencia
578
579 // potencia
580
581 // potencia
582
583 // potencia
584
585 // potencia
586
587 // potencia
588
589 // potencia
590
591 // potencia
592
593 // potencia
594
595 // potencia
596
597 // potencia
598
599 // potencia
600
601 // potencia
602
603 // potencia
604
605 // potencia
606
607 // potencia
608
609 // potencia
610
611 // potencia
612
613 // potencia
614
615 // potencia
616
617 // potencia
618
619 // potencia
620
621 // potencia
622
623 // potencia
624
625 // potencia
626
627 // potencia
628
629 // potencia
630
631 // potencia
632
633 // potencia
634
635 // potencia
636
637 // potencia
638
639 // potencia
640
641 // potencia
642
643 // potencia
644
645 // potencia
646
647 // potencia
648
649 // potencia
650
651 // potencia
652
653 // potencia
654
655 // potencia
656
657 // potencia
658
659 // potencia
660
661 // potencia
662
663 // potencia
664
665 // potencia
666
667 // potencia
668
669 // potencia
670
671 // potencia
672
673 // potencia
674
675 // potencia
676
677 // potencia
678
679 // potencia
680
681 // potencia
682
683 // potencia
684
685 // potencia
686
687 // potencia
688
689 // potencia
690
691 // potencia
692
693 // potencia
694
695 // potencia
696
697 // potencia
698
699 // potencia
700
701 // potencia
702
703 // potencia
704
705 // potencia
706
707 // potencia
708
709 // potencia
710
711 // potencia
712
713 // potencia
714
715 // potencia
716
717 // potencia
718
719 // potencia
720
721 // potencia
722
723 // potencia
724
725 // potencia
726
727 // potencia
728
729 // potencia
730
731 // potencia
732
733 // potencia
734
735 // potencia
736
737 // potencia
738
739 // potencia
740
741 // potencia
742
743 // potencia
744
745 // potencia
746
747 // potencia
748
749 // potencia
750
751 // potencia
752
753 // potencia
754
755 // potencia
756
757 // potencia
758
759 // potencia
760
761 // potencia
762
763 // potencia
764
765 // potencia
766
767 // potencia
768
769 // potencia
770
771 // potencia
772
773 // potencia
774
775 // potencia
776
777 // potencia
778
779 // potencia
780
781 // potencia
782
783 // potencia
784
785 // potencia
786
787 // potencia
788
789 // potencia
790
791 // potencia
792
793 // potencia
794
795 // potencia
796
797 // potencia
798
799 // potencia
800
801 // potencia
802
803 // potencia
804
805 // potencia
806
807 // potencia
808
809 // potencia
810
811 // potencia
812
813 // potencia
814
815 // potencia
816
817 // potencia
818
819 // potencia
820
821 // potencia
822
823 // potencia
824
825 // potencia
826
827 // potencia
828
829 // potencia
830
831 // potencia
832
833 // potencia
834
835 // potencia
836
837 // potencia
838
839 // potencia
840
841 // potencia
842
843 // potencia
844
845 // potencia
846
847 // potencia
848
849 // potencia
850
851 // potencia
852
853 // potencia
854
855 // potencia
856
857 // potencia
858
859 // potencia
860
861 // potencia
862
863 // potencia
864
865 // potencia
866
867 // potencia
868
869 // potencia
870
871 // potencia
872
873 // potencia
874
875 // potencia
876
877 // potencia
878
879 // potencia
880
881 // potencia
882
883 // potencia
884
885 // potencia
886
887 // potencia
888
889 // potencia
890
891 // potencia
892
893 // potencia
894
895 // potencia
896
897 // potencia
898
899 // potencia
900
901 // potencia
902
903 // potencia
904
905 // potencia
906
907 // potencia
908
909 // potencia
910
911 // potencia
912
913 // potencia
914
915 // potencia
916
917 // potencia
918
919 // potencia
920
921 // potencia
922
923 // potencia
924
925 // potencia
926
927 // potencia
928
929 // potencia
930
931 // potencia
932
933 // potencia
934
935 // potencia
936
937 // potencia
938
939 // potencia
940
941 // potencia
942
943 // potencia
944
945 // potencia
946
947 // potencia
948
949 // potencia
950
951 // potencia
952
953 // potencia
954
955 // potencia
956
957 // potencia
958
959 // potencia
960
961 // potencia
962
963 // potencia
964
965 // potencia
966
967 // potencia
968
969 // potencia
970
971 // potencia
972
973 // potencia
974
975 // potencia
976
977 // potencia
978
979 // potencia
980
981 // potencia
982
983 // potencia
984
985 // potencia
986
987 // potencia
988
989 // potencia
990
991 // potencia
992
993 // potencia
994
995 // potencia
996
997 // potencia
998
999 // potencia
1000 // potencia
```

Figura III.4. Código de programación en Visual Studio para el tridimensional

Fuente: Los Investigadores

Nota: El código de programación se detalla de forma digital en un respaldo del CD entregado conjuntamente con la tesis, así como también se encontrará instalada en el laboratorio de la carrera de ingeniería Eléctrica.

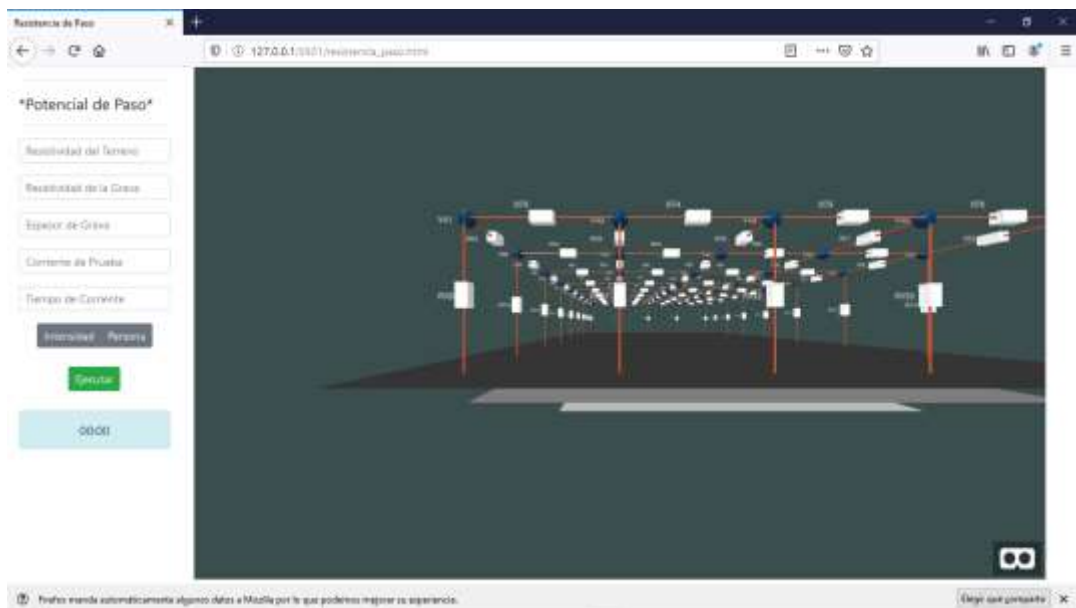


Figura III.5. Malla de puesta a tierra establecida tridimensional en Html

Fuente: Los Investigadores

Enlaces de programación para el cálculo y simulación del proyecto.

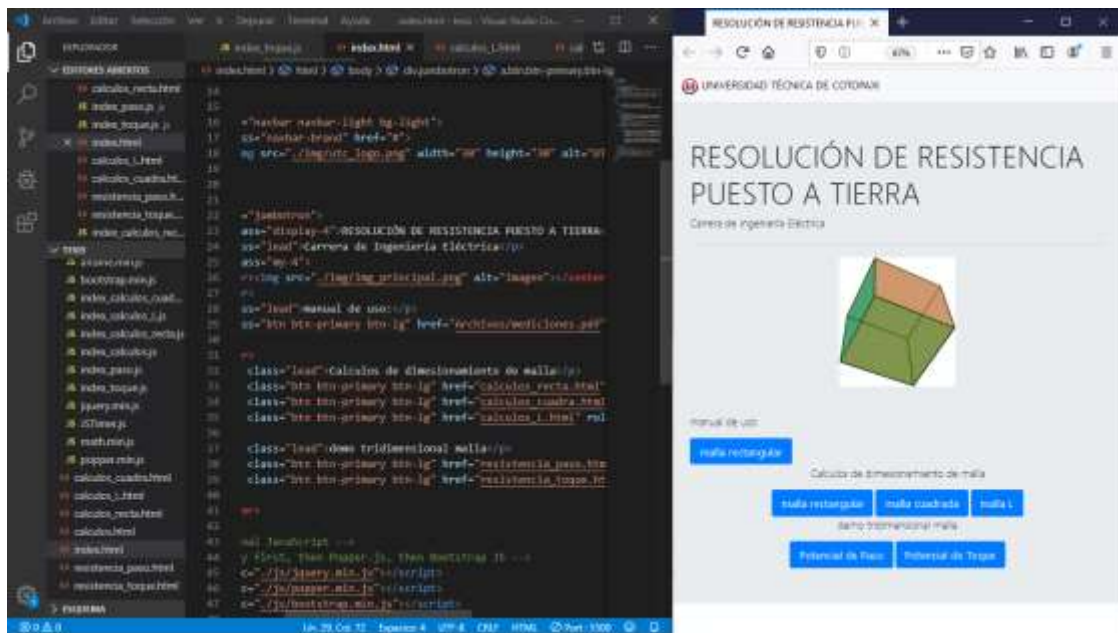


Figura III.6. Pantalla principal de la programación
Fuente: Los Investigadores

Código de programación para las diferentes posiciones de la persona en la malla tridimensional.

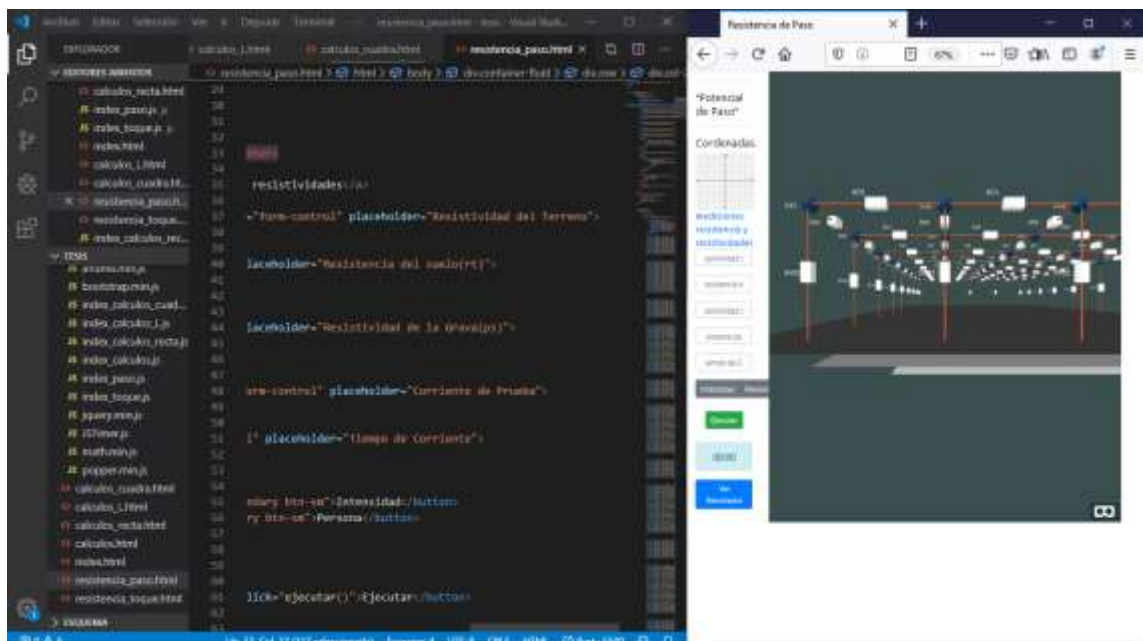
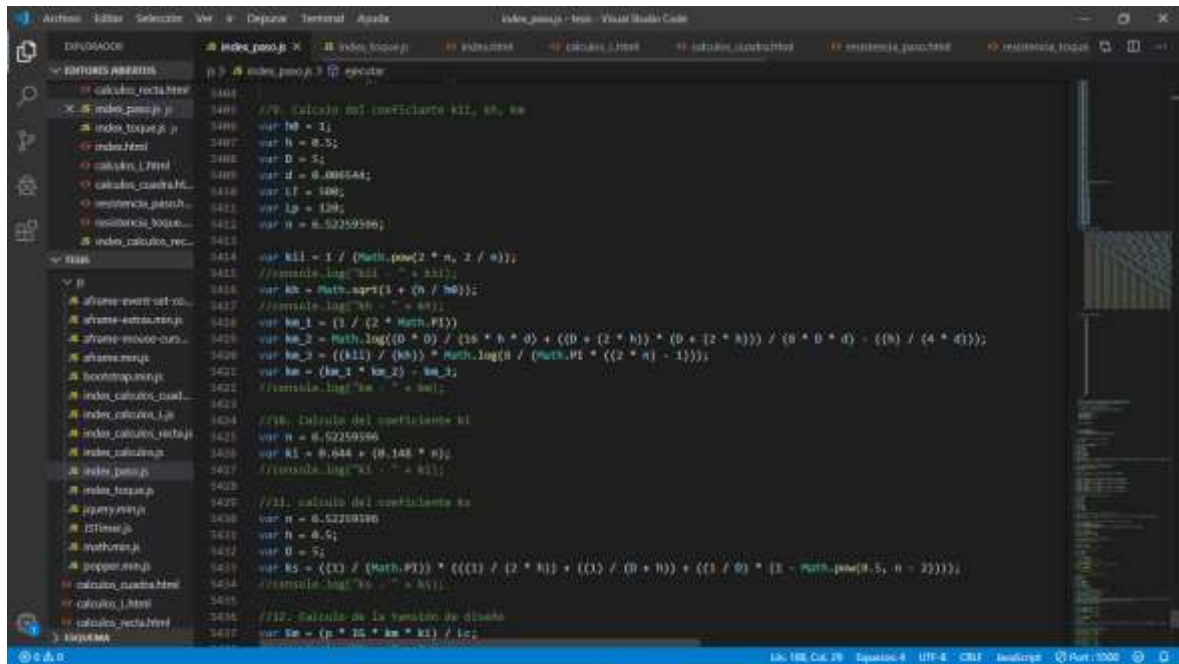


Figura III.7. Diseño de la malla tridimensional.
Fuente: Los Investigadores.

Pantalla de fórmulas para la malla establecida.



```
index_paso.js
//9. Cálculo del coeficiente k11, k1, k2
var h0 = 1;
var h = 0.5;
var D = 5;
var d = 0.005544;
var lT = 100;
var lp = 120;
var n = 6.5259596;

//10. Cálculo del coeficiente k1
var n = 6.5259596;
var k1 = 0.644 + (0.148 * n);
//11. Cálculo del coeficiente ka
var n = 6.5259596;
var h = 0.5;
var D = 5;
var k5 = ((D / (Math.PI)) * (((D / (2 * h)) + (D / (0 + h)) + ((D / 0) * (1 - Math.pow(0.5, h - 2)))));
//12. Cálculo de la tensión de toque
var ka = (p * lT * ka * k1) / lT;
```

Figura III.10. Ingreso de fórmulas para el análisis de resultados.

Fuente: Los Investigadores.

Anexo. Pantalla del demo para ingreso de datos y cálculos pertinentes según lo requerido.

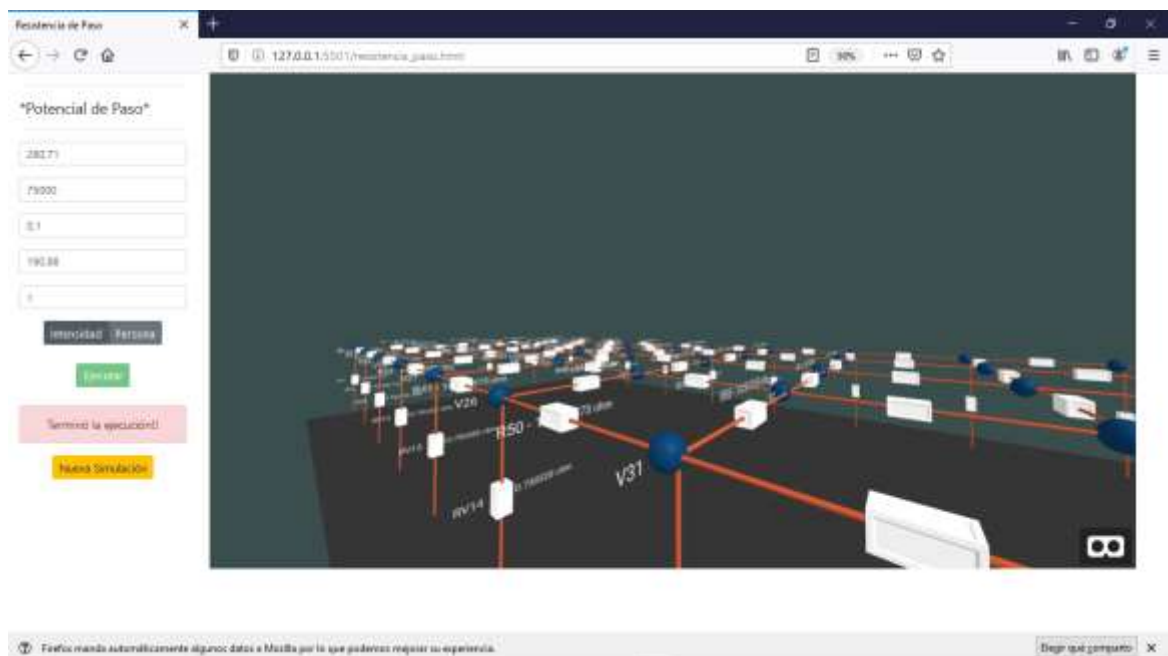


Figura III.11. Ingreso y visualización de los valores respectivos para el análisis de los voltajes de paso y toque.

Fuente: Los Investigadores.

Cálculo de la malla rectangular, cuadrada y en L.

```

//----- (Interés Calculado) -----//
function calcula_rmil(T, Te, ar, pr, TCAP, Ts, Ta, ta){
  var rmil = 2977.32 * 1 * math.sqrt( ( (Ts*ar**pr*10000)/(TCAP) ) / ( Math.log(1+( Te-Ta)/(RoaTa) ) ) );
  return(rmil);
}

function transformada_rmil(rmil){
  var amil = rmil * 0.000007975;
  return(amil);
}

function calcula_ts(n, Ps, Pb){
  // amil = log("e", p1)
  // amil = log("e", Ps)
  // amil = log("e", Pb)
  var Cs = 1 - ( (0.00*(1-(p)/(Ps)))/(12*%)+0.00 );
  return(Cs);
}

function calcula_sp60(Cs, Ps, Ts){
  var sp60 = (1000 + (Cs*Ps))*(0.110)/(math.sqrt(Ts));
  return(sp60);
}

function calcula_sp70(Cs, Ps, Ts){
  var sp70 = (1000 + (Cs*Ps))*(0.157)/(math.sqrt(Ts));
  return(sp70);
}

function calcula_sp50(Cs, Ps, Ts){
  var sp50 = (1000 + 1.5 * Cs*Ps)*(0.110)/(math.sqrt(Ts));
  return(sp50);
}

```

Figura III.12. Datos para el cálculo de la malla L.

Fuente: Los Investigadores.

Nota: Mediante un cd se dejará la programación del proyecto.

ANEXO IV. DISEÑO DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN PROTEUS 8.

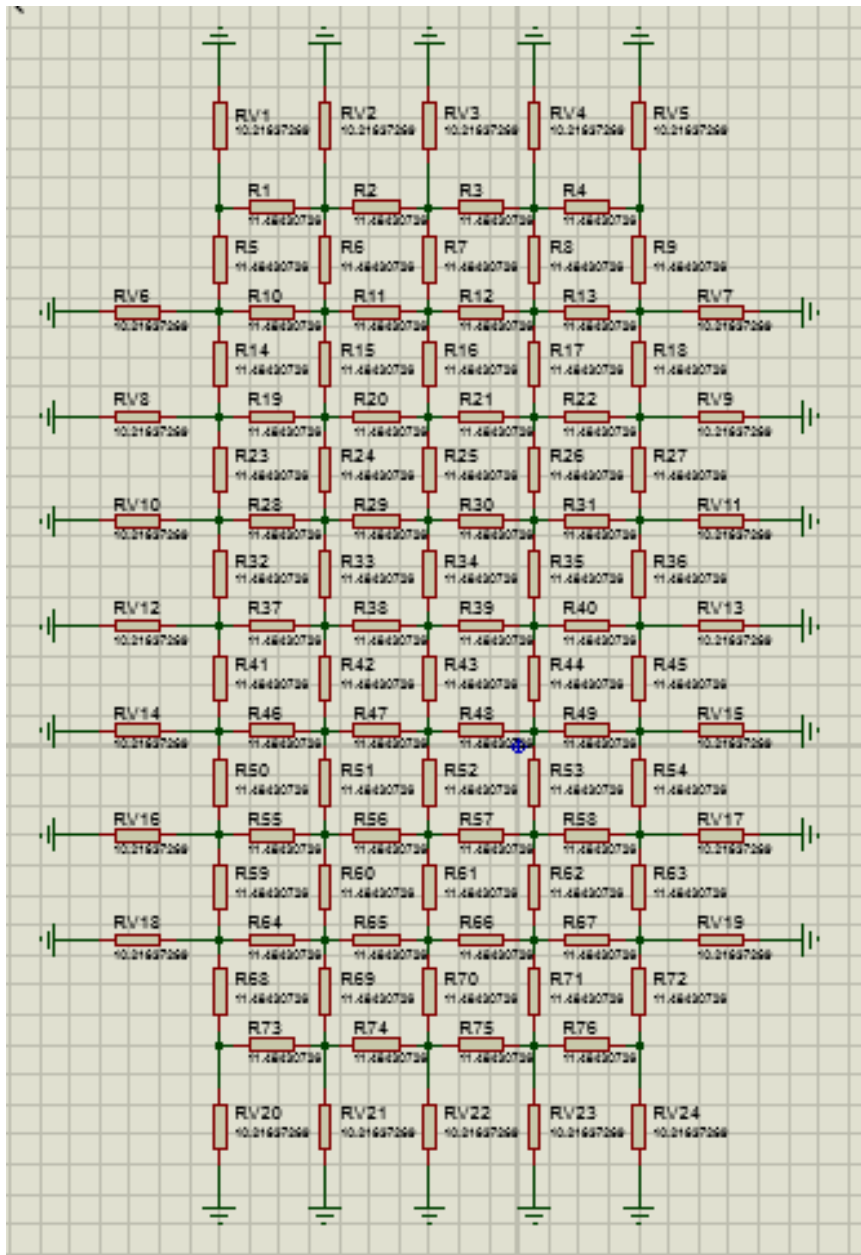


Figura IV.1. En la presente imagen se observa el equivalente de la malla de puesta a tierra.

Fuente: Los Investigadores.

Nota: Cabe mencionar que para una mejor visualización del plano del sistema de puesta a tierra propuesto para el proyecto planteado, se adjuntara en el siguiente plano impreso en A3.

ANEXO V. CÁLCULOS DE LA MALLA, RESISTENCIA DE CONDUCTORES Y RESISTENCIA DE VARILLAS

Cálculo de la corriente de cortocircuito a través de las siguientes características de un transformador.

Tabla V.1. Datos de placa del transformador

Datos del Transformador		
Potencia		
S	10	MVA
Bushing	Tensión Nominal (kV)	
Alta tensión	69	kV
Baja tensión	13,8	kV
Impedancia (%)		
Z	8	%

Fuente: Elaboración propia.

$$I_{sec} = \frac{kVA * 1000}{\sqrt{3} * E} = 83,67395 \text{ A.}$$

$$I_{ccmax_{sim}} = \frac{100\%}{Z\%} * I_{sec} = 1045,92437 \text{ A.}$$

$$I_{sec} = \frac{kVA * 1000}{\sqrt{3} * E} = 418,36976 \text{ A.}$$

$$I_{ccmax_{sim}} = \frac{100\%}{Z\%} * I_{sec} = 5229,662 \text{ A.}$$

$$I_{ccmax_{sim}} = 5229,662 \text{ A.}$$

$$I_{cc_{asim}} = I_{ccmax_{sim}} * F_{asim} = 6537,0275 \text{ A.}$$

Fasim, es el factor de asimetría que puede tomar un valor de 1,25 por normativa o también se puede tomar dicho valor en dependencia la relación de X/R en el punto de fallo.

1. Cálculo de dimensionamiento de la malla

Tabla V.2. Datos necesarios para el cálculo del dimensionamiento de la malla

Cuadro de datos para el dimensionamiento de la Malla			
Leyenda	Nomenclatura	Valor	Unidad
resistividad del suelo	P	280,713697	Ωm
corriente asimétrica de falla en baja	I	6,5370275	kA
tiempo de falla	Ts	0,5	S
coeficiente de resistividad térmica	Ar	0,00381	1/°C
resistividad del conductor a tierra	Pr	0,00381	$\mu\Omega\text{-cm}$
capacidad térmica por unidad de volumen	TCAP	3,42	J/(cm °C))
máxima temperatura permisible del material	Tm	1084	°C
temperatura ambiente	Ta	40	°C
1/αo	Ko	242	°C
resistividad de la capa superficial	Ps	2500	Ωm
grosor de la capa superficial	Hs	0,1	M
longitud de la malla en el eje X	Lx	20	M
longitud de la malla en el eje Y	Ly	40	M
separación entre conductores	D	5	M
numero de varillas	Nr	24	
separación de las varillas	Lr	5	M
area de la malla	A	800	m ²
profundidad de la malla	H	0,5	M
relación de la impedancia	X/R	3,465	
Impedancia eq. de X cables, Y neutros	Zeq	1,09+0,208i	Ω
diámetro del conductor	D	0,0105	mm

Fuente: Elaboración propia.

1.1.Cálculo de la sección del conductor.

$$cmil = 1973,52 * I \sqrt{\frac{\frac{ts * ar * pr}{TCAP}}{\ln\left(1 + \left(\frac{Tm - Ta}{Ko + Ta}\right)\right)}} = 32649,6617 \text{ cmil}$$

$$Amm^2 = 32649,6617 \text{ cmil} * \frac{0,0005067075mm^2}{1cmil} = 16,54383 \text{ mm}^2$$

A través del cálculo realizado se procede a la selección del conductor, el cual deberá consistir de ciertas características que permitan resistir a los esfuerzos mecánicos y la corrosión, así como una alta conductividad para prevenir caídas de tensión peligrosas. Por lo tanto, a través del cálculo se obtiene un conductor 4 AWG ver anexo 1, el cual se encuentra dentro de los límites

admisibles para un mallado de puesta a tierra, pero por normativa IEEE 80-2000 se emplea en el proyecto planteado un calibre número 2/0 AWG de cobre de 7 hilos.

1.2. Cálculo de los voltajes de paso y toque tolerables

1.2.1. Cálculo del factor de reducción superficial

$$C_s = 1 - \frac{0,09 * \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2hs + 0,09} = 0,7245$$

1.2.2. Cálculo de la tensión máxima de acuerdo al peso corporal

Voltaje de Paso

$$E_{p_{50}} = (1000 + 6 * C_s * \rho_s) * \frac{0,116}{\sqrt{ts}} = 1946,8547 \text{ V.}$$

$$E_{p_{70}} = (1000 + 6 * C_s * \rho_s) * \frac{0,157}{\sqrt{ts}} = 2634,96713 \text{ V.}$$

Voltaje de Toque.

$$E_{t_{50}} = (1000 + 1,5 * C_s * \rho_s) * \frac{0,116}{\sqrt{ts}} = 609,75025 \text{ V.}$$

$$E_{t_{70}} = (1000 + 1,5 * C_s * \rho_s) * \frac{0,157}{\sqrt{ts}} = 825,26543 \text{ V.}$$

1.3. Cálculo de la geometría de la Malla.

$$n = \frac{Ly}{D} + 1 = \frac{40}{5} + 1 = 9$$

$$m = \frac{Lx}{D} + 1 = \frac{20}{5} + 1 = 5$$

$$LR = nr * Lr = 120 \text{ m.}$$

$$Lc = n * Lx + m * Ly = 380 \text{ m.}$$

$$Lp = 2 * Lx + 2 * Ly = 120 \text{ m.}$$

$$LT = Lc + Lr = 500 \text{ m.}$$

1.4. Cálculo de la resistencia de la Malla de tierra.

$$Rg = \rho \left[\frac{1}{LT} + \frac{1}{\sqrt{20A}} * \left(\frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] = 4,83731 \Omega$$

1.5. Cálculo de la corriente máxima de disipación.

1.5.1. Factor de decremento.

$$Ta = \frac{X}{wR} = \frac{X}{R} * \frac{1}{2\pi f} = 0,00919$$

$$Df = \sqrt{1 + \frac{Ta}{2h} * \left(1 - e^{\frac{2tf}{Ta}} \right)} = 1,00458$$

1.5.2. Factor de división de corriente.

$$Sf = \frac{Zeq}{Zeq + Rg} = 0,187098$$

1.5.3. Corriente máxima a disipar por la malla.

$$Ig = If * Df * Sf = 196,587305 A.$$

1.5.4. Elevación de potencial.

$$GPR = Ig * Rg = 950,95347 V.$$

1.6. Cálculo de los coeficientes

1.6.1. Número de conductores paralelos de una malla rectangular equivalente

$$n = na, nb, nc, nd$$

$$na = \frac{2Lc}{Lp} = 6,33333$$

$$nb = \sqrt{\frac{Lp}{4\sqrt{A}}} = 1,02988$$

$$nc = nd = 1$$

1.6.2. Valor geométrico de espaciamento de la malla

$$km = \frac{1}{2\pi} \left(\ln \left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D + 2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d} \right) - \frac{kii}{kh} \ln \left(\frac{8}{\pi(2n - 1)} \right) \right) = 0,81514$$

1.6.3. Factor de irregularidad

$$Ki = 0,644 + 0,148n = 1,60934$$

1.6.4. Ecuación para profundidades de enterramiento

$$Ks = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right] = 0,43708$$

1.7. Voltaje de malla.

$$Em = \frac{\rho * Ig * km * ki}{Lc + \left(1,55 + 1,22 \left(\frac{Lr}{\sqrt{Lx^2 + Ly^2}} \right) \right) LR} = 101,669791 V.$$

1.8. Voltaje real de paso

$$Ep = \frac{\rho * Ig * ks * ki}{0,75 * Lc + 0,85 * LR} = 100,30316 V.$$

2. Verificación de los voltajes de paso y toque

Tabla V.3. Valor de voltajes de toque y paso calculados.

Verificación de Tensiones tolerables			
Tensiones de diseño		Tensiones máximas tolerables por peso	
Tensión de malla (Em)	Tensión de Paso (Ep)	Tensión de Toque (Et)	Tensión de Paso (Ep)
114,669791	100,303162	609,750254	1946,8547

Fuente: Elaboración propia.

Tabla V.4. Verificación de valores de la malla calculada.

Resistencia de la Malla		
Rg	4,83730863	Ω
Em	<	Et50
Ep	<	Ep50
Rg	<	Ω

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Diseño correcto

3. Cálculos para los conductores y las varillas del mallado de puesta a tierra.

Tabla V.5. Cálculos para los conductores y las varillas del mallado de puesta a tierra.

Cuadro de datos para el dimensionamiento del valor del conductor y la varilla			
Leyenda	Nomenclatura	Valor	Unidad
resistividad del suelo	P	280,713697	Ωm
radio de la varilla	R	0,0079375	M
numero de varillas	Nr	24	M
factor F	F	2,16	
longitud de la varilla	L	2,4	M
longitud en el eje X	Lx	40	M
radio del conductor	R	0,003272	M
altura de la malla	H	0,5	M
resistencia del suelo	Rt	22,15	Ω

Fuente: Elaboración propia.

3.1.Cálculo de la varilla de puesta a tierra.

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \left(\frac{4L}{r} \right) \right) = 113,51525 \Omega$$

$$Rv = \frac{R}{nr} * F = 10,21637 \Omega$$

3.2.Cálculo del conductor de la puesta a tierra

3.2.1. Resistencia de un solo conductor de la malla.

$$Rs = \frac{\rho}{2\pi Lx} \left(\ln \left(\frac{2Lx}{r} \right) + \ln \left(\frac{Lx}{h} \right) + \frac{2h}{Lx} - \frac{h^2}{Lx^2} - 2 \right) = 24,90626 \Omega$$

3.2.2. Resistencia equivalente en referencia a la resistencia de la tierra.

$$Reqc = \frac{Rs * Rt}{Rs + Rt} = 11,723706 \Omega$$

ANEXO VI. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR SIMULACIÓN.

Datos necesarios para la simulación y como ingresarlos.

Para la simulación del prototipo virtual se toma como variables de entrada los siguientes datos, los cuales se consideran como caso base:

Tabla VI.1. Datos de entrada para la simulación.

DATOS DE INGRESO		
RESISTIVIDAD DEL TERRENO	ρ	280,713697
RESISTIVIDAD DE GRAVA	ρ_s	2500
CORRIENTE DE PRUEBA	IG	1045,9244
TIEMPO DE SIMULACION	t	1

Fuente: Elaboración propia.

Si se desea verificar estos valores de donde son originados dirigirse al anexo 5. Todos estos datos debes ser ingresado en la programación como se indica a continuación.

Potencial de Paso

280,713697

2500

22,15

196,587305

0,5

Intensidad Persona

Ejecutar

00:00

Ver Resultados

Figura VI.1. Ventana principal de ingreso de valores de entrada para el análisis respectivo

Fuente: Los Investigadores.

Una vez ya ingresado los datos se procede colocar la posición de la persona a través de la malla y el ingreso de la corriente de falla.

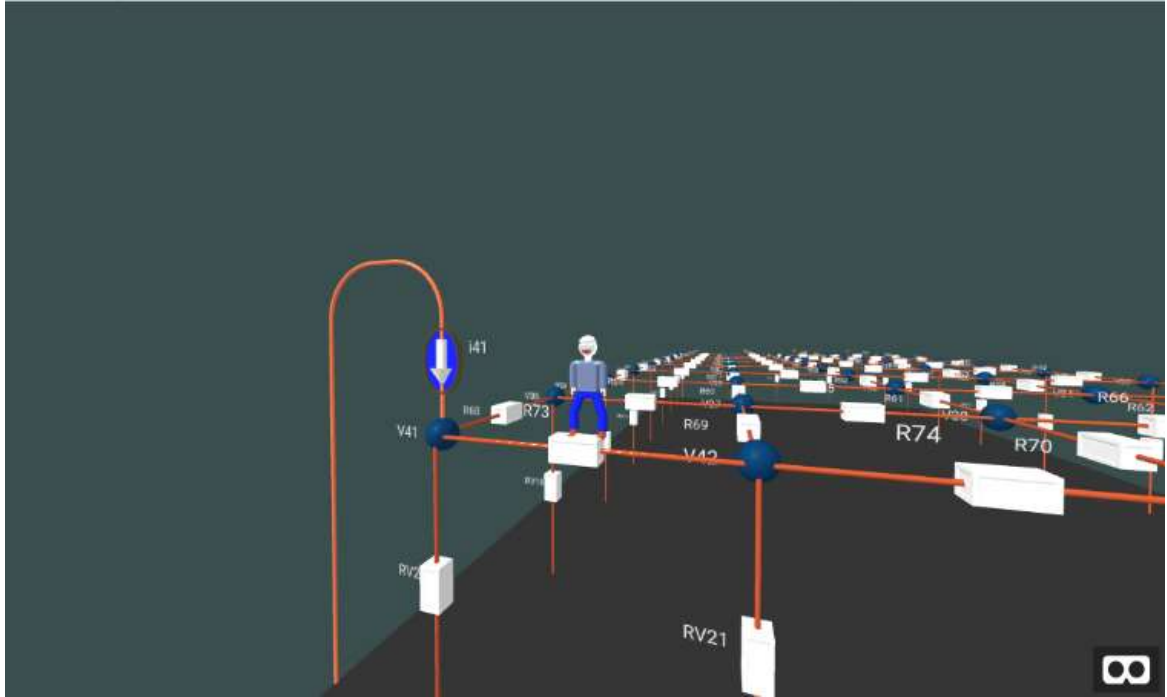


Figura VI.2. Programación de posición de la persona y el ingreso de la corriente de falla en la malla establecida.

Fuente: Los Investigadores

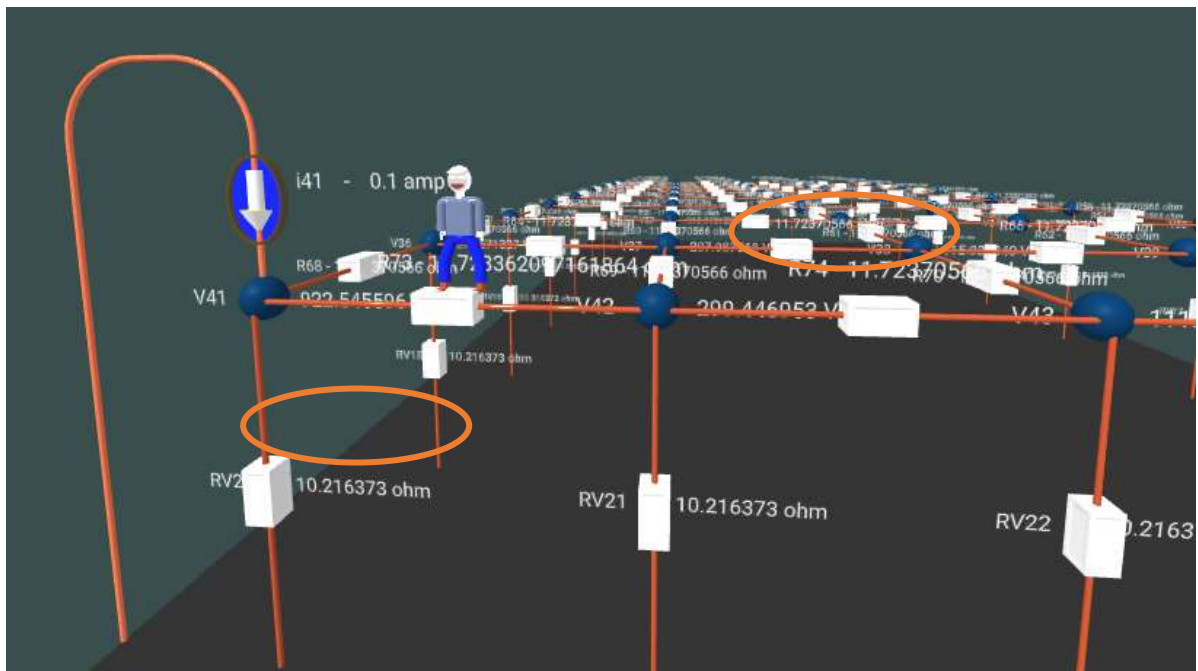


Figura VI.3. Visualización automática de los valores del conductor y la varilla en dependencia de la resistividad y resistencia del suelo.

Fuente: Los Investigadores

Después de tener la posición de la persona y la corriente que se propagara por la malla se ejecuta el programa como se ve a continuación, si se pone atención en los círculos son los

resultados que se calculó anteriormente para la resistencia de la varilla y del conductor se mencionó en el anexo 5:

Interpretación de resultados por opción aplicada

Tensión de paso

Para los resultados se muestra a continuación:



Figura VI.4. Visualización en pantalla del voltaje de paso a 50 y 70 kg y la resistencia total de la malla.

Fuente: Los Investigadores.

Tensión de toque



Figura VI.5. Visualización en pantalla del voltaje de paso a 50 y 70 kg y la resistencia total de malla.

Fuente: Los Investigadores.

Interpretación de resultados

- Los resultados de la tensión de toque se están globalizando para los dos casos de estudio, los resultados están en concordancia con el anexo 5.
- Para el resultado de la resistencia de la malla también se está referenciada con el anexo 5.
- Para la corriente que atraviesa por la persona en el presente caso de estudio está referido al literal 3.6. donde se detalló que cantidad de corriente atraviesa por la persona cuando se encuentra cerca de la falla teniendo en cuenta que va a estar interactuando con la falla.

ANEXO VII. VALORES DE CORRIENTES PARA LA SIMULACIÓN

Una malla diseñada sin varilla debe cumplir los parámetros establecidos a través de la norma IEEE 80-2000, por lo cual, en la malla establecida, al ingresar los valores se puede visualizar que la GPR siempre es mayor al voltaje de la malla (E_m), por lo tanto, es necesario realizar nuevos cálculos agregando varillas en su interior.

Tabla VII.1. Cuadro de valores obtenidos por simulación cuando la malla no cuenta con varillas.

Corriente (A)	Resistencia (Ω)	Sin Varilla			Observación
		E_m	I_g (A)	GPR	
1045,9244	4,83731	209,94967	190,88464	957,21039	No cumple
3650	4,83731	679,22283	666,13699	3340,41153	No cumple
5000	4,83731	930,44223	912,51642	4575,90621	No cumple
5590	4,83731	1040,23441	1020,19336	5115,86315	No cumple
5600	4,83731	1042,09530	1022,01839	5125,01496	No cumple
8000	4,83731	1488,70757	1460,02628	7321,44994	No cumple
10000	4,83731	1860,88446	1825,03285	9151,81242	No cumple
15000	4,83731	2791,32669	2737,54927	13727,71864	No cumple
25000	4,83731	4652,21115	4562,58211	22879,53106	No cumple
50000	4,83731	9304,42229	9125,16423	45759,06212	No cumple
100000	4,83731	18608,84459	18250,32846	91518,12424	No cumple
200000	4,83731	37217,68918	36500,65692	183036,24848	No cumple

Fuente: Elaboración propia.

Al agregar las varillas en el sistema de puesta a tierra, se debe realizar una comparación entre los voltajes de diseño y los tolerables según el peso, en este caso se tomó como referencia a un peso de 50kg según norma, además se verifica que la corriente máxima que soporta dicha malla establecida en el prototipo virtual es de 5590 Amperios, al sobre pasar dicho valor la malla no cumple con lo establecido en la norma y esto afectara la seguridad de la persona, por lo cual se procederá a tomar dos valores, una que cumpla con el dimensionamiento y otra que sobrepase dicho dimensionamiento.

Tabla VII.2. Cuadro de valores obtenidos por simulación cuando la malla cuenta con varillas

Corriente (A)	Resistencia (Ω)	Con Varilla					Observación
		Ig (A)	Em	Et50	Ep	Ep50	
1045,9244	4,83731	196,58730	124,30840	609,75025	100,30316	1946,85470	Cumple
3650	4,83731	686,03779	397,88762	609,75025	350,03155	1946,85470	Cumple
5000	4,83731	939,77779	545,05153	609,75025	479,49528	1946,85470	Cumple
5590	4,83731	1050,67157	609,36762	609,75025	536,07572	1946,85470	Cumple
5600	4,83731	1052,55113	610,45772	609,75025	537,034712	1946,85470	No cumple
8000	4,83731	1503,64447	872,08245	609,75025	767,19245	1946,85470	No cumple
10000	4,83731	1879,55559	1090,10307	609,75025	958,99056	1946,85470	No cumple
15000	4,83731	2819,33338	1635,15460	609,75025	1438,48583	1946,85470	No cumple
25000	4,83731	4698,88896	2725,25767	609,75025	2397,47639	1946,85470	No cumple
50000	4,83731	9397,77793	5450,51534	609,75025	4794,95278	1946,85470	No cumple
100000	4,83731	18795,55586	10901,03069	609,75025	9589,90557	1946,85470	No cumple
200000	4,83731	37591,11172	21802,06137	609,75025	19179,81113	1946,85470	No cumple

Fuente: Elaboración propia

ANEXO VIII. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

TÍTULO DEL PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL VOLTAJE DE PASO Y TOQUE, FRENTE A LA RESISTIVIDAD DEL SUELO
Fecha de inicio:	Marzo 2019
Fecha estimada de finalización:	Febrero 2020

Actividad	Semanas																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Búsqueda de información relacionada al proyecto por parte de los integrantes del grupo	■																		
Entrega de documentos para la designación del Tutor de Titulación, revisión y aprobación del tema.		■																	
Designación del Tutor de Titulación y aprobación del consejo directivo.		■																	
Revisión y aprobación del tema.			■																
Desarrollo y verificación de los objetivos del proyecto.				■															
Aprobación del Plan de Titulación.				■															
Búsqueda de información relacionada a los programas computacionales aplicados a la simulación del proyecto.					■														
Desarrollo de la interfaz y los códigos de programación.						■	■												
Diseño y construcción del prototipo virtual para verificación de los códigos de programación y el interfaz.							■	■	■										
Verificación de antecedentes históricos relacionados al estudio de los voltajes de paso y toque aplicados en una subestación, edificios, industrias.										■									
Desarrollo de la tesis con sus respectivos parámetros, aplicando las normas requeridas.											■	■	■						
Revisión del trabajo de titulación.														■					
Corrección del trabajo de titulación.															■				
Entrega del trabajo de titulación a los lectores.																■			
Pre defensa del trabajo de titulación.																	■		
Corrección del trabajo de titulación.																		■	
Presentación del trabajo de titulación completa.																			■

Figura VIII.1. Cronograma de actividades

Fuente: Los Investigadores

ANEXO IX. FLUJOGRAMA

Flujograma de la programación para la validación de los ejemplos de la normativa IEEE 80-2000.

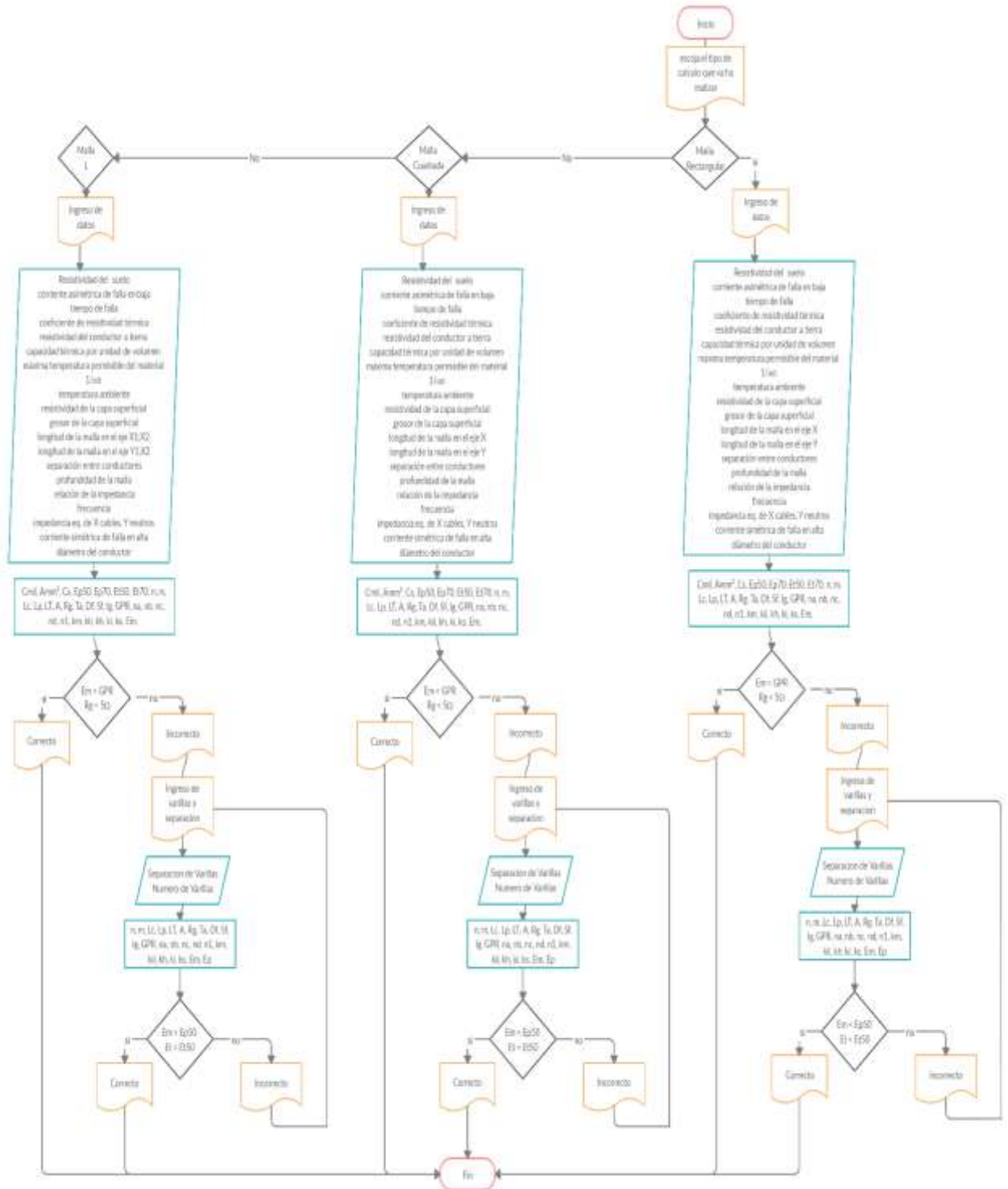


Figura IX.1. Flujograma.
Fuente: Los investigadores.

ANEXO X. VALIDACIÓN DE LAS MALLAS DE LA NORMATIVA IEEE 80-2000

Para la validación de las mallas se procede a realizar una comparación entre la norma IEEE 80-2000 y el programa virtual desarrollada en el proyecto planteado con los siguientes valores:

Tabla IX.1. Datos para el dimensionamiento de la malla

Cuadro de datos para el dimensionamiento de la Malla			
Leyenda	Nomenclatura	Valor	Unidad
Resistividad del suelo	ρ	377	Ω
corriente asimétrica de falla en baja	I	11,2105	kA
tiempo de falla	ts	0,5	S
coeficiente de resistividad térmica	α_r	0,00381	1/°C
resistividad del conductor a tierra	ρ_r	1,78	$\mu\Omega\text{-cm}$
capacidad térmica por unidad de volumen	TCAP	3,42	J/(cm °C))
máxima temperatura permisible del material	Tm	1084	°C
temperatura ambiente	T α	40	°C
1/ α_0	ko	242	°C
resistividad de la capa superficial	ρ_s	2000	Ωm
grosor de la capa superficial	hs	0,102	M
Frecuencia	f	60	Hz
profundidad de la malla	h	0,5	M
relación de la impedancia	X/R	3,465	
Impedancia eq. de X cables, Y neutros	Zeq	1,09+0,208i	Ω
corriente simétrica de falla en alta	If	5174,5	kA
diámetro del conductor	d	0,01	Mm
Malla Rectangular			
longitud de la malla en el eje X	Lx	84	M
longitud de la malla en el eje Y	Ly	63	M
separación entre conductores	D	7	M
numero de varillas	nr	20	
separación de las varillas	Lr	7,5	M
Malla Cuadrada			
longitud de la malla en el eje X	Lx	70	M
longitud de la malla en el eje Y	Ly	70	M
separación entre conductores	D	7,5	M
numero de varillas	nr	38	
separación de las varillas	Lr	10	M
Malla en L			
longitud de la malla en el eje X1	Lx1	42	M
longitud de la malla en el eje Y1	Ly1	56	M
longitud de la malla en el eje X2	Lx2	84	M
longitud de la malla en el eje Y2	Ly2	98	M
separación entre conductores	D	7	M
numero de varillas	nr	32	
separación de las varillas	Lr	10	M

Fuente: Los Investigadores

Malla rectangular

Tabla IX.2. Validación de la malla rectangular.

Validación de la malla Rectangular				
Sin varilla				
Resultados		IEEE 80-2000	Programa virtual	Unidad
Diámetro del conductor	mil - cmil	56	55991,66174	mil-cmil
Factor de reducción superficial	Cs	0,75	0,75158	
Voltaje de paso 50kg	Ep50	1640,5	1643,60131	V
Voltaje de toque 50kg	Et50	533,2	533,93691	V
Número de conductores en el eje X	N	10	10	
Número de conductores en el eje Y	M	13	13	
Longitud total de conductores	Lc	1659	1659	M
Longitud total del perímetro	Lp	294	294	M
Longitud total de la malla	LT	1659	1659	M
Área de la malla	A	5292	5292	m ²
Resistencia de la malla	Rg	2,5103	2,51033	Ω
Factor de decremento	Ta	0,00919	0,00919	
	Df	1,0046	1,00459	
Factor de división de corriente	Sf	0,3077	0,30654	
Corriente máxima a disipar por la malla	Ig	1599,5177	1593,45551	A
Elevación de potencial	GPR	4073,9717	4000,09945	V
Número de conductores paralelos	Na	11,286	11,28571	
	Nb	1,005	1,00517	
	Nc	1	1	
	Nd	1	1	
	n1	11,342	11,34404	
Valor geométrico de espaciamento	Km	0,8854	0,87755	
Mallas sin varilla de tierra	Kii	0,5767	0,57672	
Factor de corrección con profundidad	Kh	1,225	1,22474	
Factor de irregularidad	Ki	2,3238	2,32292	
Voltaje de malla	Em	718,4	738,14429	V
Con Varillas				
Número de conductores en el eje X	N	10	10	
Número de conductores en el eje Y	M	13	13	
Longitud total de conductores	Lc	1659	1659	M
Longitud total del perímetro	Lp	294	294	M
Longitud total de las varillas	LR	380	380	M
Longitud total de la malla	LT	2039	2039	M
Área de la malla	A	4900	4900	m ²
Resistencia de la malla	Rg	2,468	2,46798	Ω
Factor de decremento	Ta	0,00919	0,00919	
	Df	1,0046	1,00459	

Factor de división de corriente	Sf	0,311	0,31017	
Corriente máxima a disipar por la malla	Ig	1616,7	1612,31821	A
Elevación de potencial	GPR	3990	3979,16812	V
Número de conductores paralelos	Na	11,286	11,28571	
	Nb	1,005	1,00517	
	Nc	1	1	
	Nd	1	1	
	nI	11,342	11,34404	
Valor geométrico de espaciamento	Km	0,768	0,75979	
Mallas sin varilla de tierra	Kii	1	1	
Factor de corrección con profundidad	Kh	1,225	1,225	
Factor de irregularidad	Ki	2,323	2,32292	
Profundidades de enterramiento	Ks	0,406	0,40615	
Voltaje de malla	Em	474,4	468,03044	V
Voltaje de paso	Ep	366,8	365,91357	V

Fuente: Los Investigadores

Em = 468.03043612924444

12. Voltaje real de paso.

$$Ep = \frac{\rho \cdot Ig + ks + ki}{0,75 + Lc + 0,85 + LR}$$

Ep = 365.913572087742

13. Verificación de los voltajes de paso y toque.

Verificación de Tensiones tolerables			
Tensiones de diseño		Tensiones máximas tolerables por peso	
Tensión de malla (Em)	Tensión de Paso (Ep)	Tensión de Toque (Et)	Tensión de Paso (Ep)
468.03043612924444	365.913572087742	533.9369077039675	1643.6013111101129
Resistencia de la Malla			
Rg = 2.4679793972235903 ohm			
Diseño Correcto			

Figura IX.1. Resultados de la validación de la malla rectangular.

Fuente: Los Investigadores

Malla Cuadrada

Tabla IX.3. Validación de la malla cuadrada

Validación de la malla Cuadrada				
Sin varilla				
Resultados		IEEE 80-2000	Programa virtual	Unidad
Diámetro del conductor	mil - cmil	56	55991,66174	mil-cmil
Factor de reducción superficial	Cs	0,75	0,751581633	
Voltaje de paso 50kg	Ep50	1640,5	1643,601311	V
Voltaje de toque 50kg	Et50	533,2	533,9369077	V
Número de conductores en el eje X	N	11	11	
Número de conductores en el eje Y	M	11	11	
Longitud total de conductores	Lc	1540	1540	M
Longitud total del perímetro	Lp	280	280	M
Longitud total de la malla	LT	1540	1540	M
Área de la malla	A	4900	4900	m ²
Resistencia de la malla	Rg	2,616	2,616091277	Ω
Factor de decremento	Ta	0,00919	0,009191198	
	Df	1,0046	1,004585087	
Factor de división de corriente	Sf	0,284	0,297837118	
Corriente máxima a disipar por la malla	Ig	1476,3	1548,22451	A
Elevación de potencial	GPR	3862	4050,296637	V
Número de conductores paralelos	Na	11	11	
	Nb	1	1	
	Nc	1	1	
	Nd	1	1	
	nI	11	11	
Valor geométrico de espaciamento	Km	0,89	0,881793396	
Mallas sin varilla de tierra	Kii	0,57	0,570063387	
Factor de corrección con profundidad	Kh	1,225	1,224744871	
Factor de irregularidad	Ki	2,272	2,272	
Voltaje de malla	Em	730,8	759,3285635	V
Con Varillas				
Número de conductores en el eje X	N	11	11	
Número de conductores en el eje Y	M	11	11	
Longitud total de conductores	Lc	1540	1540	M
Longitud total del perímetro	Lp	280	280	M
Longitud total de las varillas	LR	150	150	M
Longitud total de la malla	LT	1690	1690	M
Área de la malla	A	4900	4900	m ²
Resistencia de la malla	Rg	2,594	2,594363006	Ω
Factor de decremento	Ta	0,00919	0,009191198	
	Df	1,0046	1,004585087	

Factor de división de corriente	Sf	0,307	0,299584264	
Corriente máxima a disipar por la malla	Ig	1595,88	1557,306569	A
Elevación de potencial	GPR	4139,7127	4040,21855	V
Número de conductores paralelos	Na	11	11	
	Nb	1	1	
	Nc	1	1	
	Nd	1	1	
	nI	11	11	
Valor geométrico de espaciamento	Km	0,772	0,763975297	
Mallas sin varilla de tierra	Kii	1	1	
Factor de corrección con profundidad	Kh	1,225	1,225	
Factor de irregularidad	Ki	2,272	2,272	
Profundidades de enterramiento	Ks		0,424288842	
Voltaje de malla	Em	590,7425	570,4697682	V
Voltaje de paso	Ep		441,2935668	V

Fuente: Los Investigadores

Em = 570.4697681785836

12. Voltaje real de paso.

$$Ep = \frac{\rho \cdot Ig + ks + ki}{0,75 + Lc + 0,85 + LR}$$

Ep = 441.2935667814344

13. Verificación de los voltajes de paso y toque.

Verificación de Tensiones tolerables			
Tensiones de diseño		Tensiones máximas tolerables por peso	
Tensión de malla (Em)	Tensión de Paso (Ep)	Tensión de Toque (Et)	Tensión de Paso (Ep)
570.4697681785836	441.2935667814344	533.9369077139875	1643.6013111101129
Resistencia de la Malla			
Rij = 2.594363205532238 ohm			

Diseño Incorrecto

Figura IX.2. Resultados de la validación de la malla cuadrada.

Fuente: Los Investigadores

Malla en L

Tabla IX.4. Validación de la malla L.

Validación de la malla en L				
Sin varilla				
Resultados		IEEE 80-2000	Programa virtual	Unidad
Diámetro del conductor	mil - cmil	56	55991,66174	mil-cmil
Factor de reducción superficial	Cs	0,75	0,75158	
Voltaje de paso 50kg	Ep50	1640,5	1643,60131	V
Voltaje de toque 50kg	Et50	533,2	533,93691	V
Número de conductores en el eje X	N	15	15	
Número de conductores en el eje Y	M	13	13	
Longitud total de conductores	Lc	1862	1862	M
Longitud total del perímetro	Lp	364	364	M
Longitud total de la malla	LT	1862	1862	M
Área de la malla	A	5880	5880	m ²
Resistencia de la malla	Rg		2,37003	Ω
Factor de decremento	Ta	0,00919	0,00919	
	Df	1,0046	1,00459	
Factor de división de corriente	Sf		0,31890	
Corriente máxima a disipar por la malla	Ig		1657,70484	A
Elevación de potencial	GPR		3928,80959	V
Número de conductores paralelos	Na		10,23077	
	Nb		1,08937	
	Nc		1,18322	
	Nd		1	
	n1		13,18708	
Valor geométrico de espaciamento	Km		0,85621	
Mallas sin varilla de tierra	Kii		0,60878	
Factor de corrección con profundidad	Kh		1,22474	
Factor de irregularidad	Ki		2,59569	
Voltaje de malla	Em		745,93674	V
Con Varillas				
Número de conductores en el eje X	N	15	15	
Número de conductores en el eje Y	M	13	13	
Longitud total de conductores	Lc	1862	1862	M
Longitud total del perímetro	Lp	364	364	M
Longitud total de las varillas	LR	320	320	M
Longitud total de la malla	LT	2182	2182	M
Área de la malla	A	5880	5880	m ²
Resistencia de la malla	Rg	2,34	2,34034	Ω
Factor de decremento	Ta	0,00919	0,00919	
	Df	1,0046	1,00459	

Factor de división de corriente	Sf	0,323	0,32164	
Corriente máxima a disipar por la malla	Ig	1679,08	1671,97061	A
Elevación de potencial	GPR	3929,047	3912,97373	V
Número de conductores paralelos	Na	10,231	10,23077	
	Nb	1,089	1,08937	
	Nc	1,183	1,18322	
	Nd	1	1	
	nI	13,18	13,18708092	
Valor geométrico de espaciamento	Km	0,747	0,739392813	
Mallas sin varilla de tierra	Kii	1	1	
Factor de corrección con profundidad	Kh	1,225	1,225	
Factor de irregularidad	Ki	2,595	2,59569	
Profundidades de enterramiento	Ks	0,406	0,42439	
Voltaje de malla	Em	513,8	506,54564	V
Voltaje de paso	Ep	399,7	416,15698	V

Fuente: Los Investigadores

Em = 506.5456443904602

12. Voltaje real de paso.

$$Ep = \frac{\rho \cdot Ig \cdot ks \cdot ki}{0,75 \cdot Lc + 0,85 \cdot LR}$$

Ep = 416.15698301522707

13. Verificación de los voltajes de paso y toque.

Verificación de Tensiones tolerables:

Tensiones de diseño		Tensiones máximas tolerables por peso	
Tensión de malla (Em)	Tensión de Paso (Ep)	Tensión de Toque (Et)	Tensión de Paso (Ep)
506.5456443904602	416.15698301522707	533.9369077039875	1643.6013111101129

Resistencia de la Malla

Rg = 2.3403364329497944 ohm

Diseño Correcto

Figura IX.3. Resultados de la validación de la malla L.

Fuente: Los Investigadores

A través del desarrollo de la ejecución del programa realizado se puede verificar que cumple con las condiciones requeridas, es decir, que cada cálculo cumple con su función, cabe destacar que el cálculo de la norma se encuentra mal, en ciertos parámetros, por lo cual se corrige en la programación.

ANEXO XI. MANUAL

**MANUAL DE
MANEJO
DEL
PROTOTIPO
VIRTUAL**



UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

MANUAL DE USO DEL PROTOTIPO VIRTUAL

INTEGRANTE:

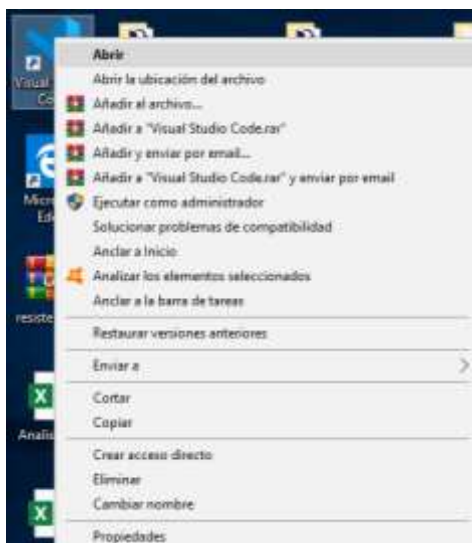
BRONCANO TAIPE ELVIS PAUL
TENEDA TIPANTAXI ANGEL SANTIAGO

TUTOR:

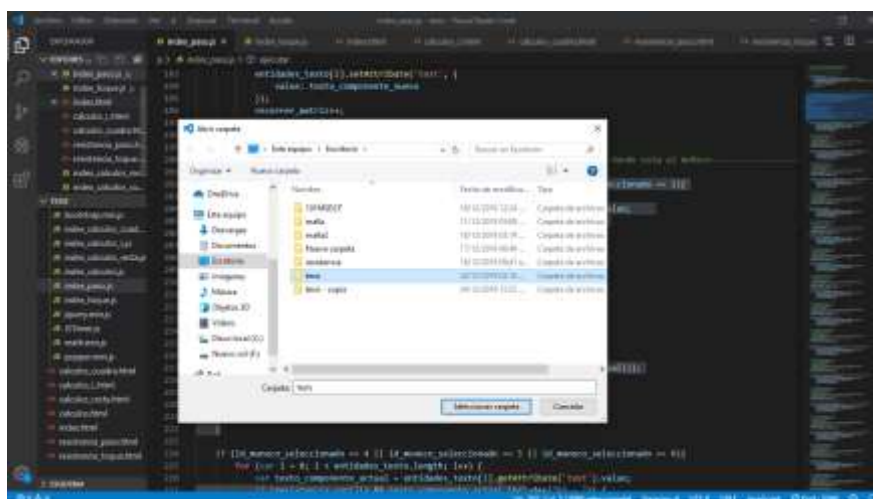
Ing. Xavier Proaño.

CONTENIDO

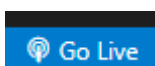
1. COMO EJECUTAR EL PROTOTIPO VIRTUAL	44
2. INGRESO DE DATOS PARA LA MALLA RECTANGULAR, CUADRADA Y EN L 48	
3. INGRESO DE DATOS PARA EL PROTOTIPO VIRTUAL ECALUACION DEL VLTAJE DE TOQUE Y PASO.	51



Después debemos cargar la carpeta que se encuentra en el escritorio la cual contiene la programación con el nombre “Estudio del voltaje paso y toque Tesis”:



Como siguiente paso se da clic en la opción que se encuentra en la parte inferior derecha que se llama **go to live**



Después se abrirá directamente la pagina web como se muestra a continuación:



Ahora solo debemos dirigirnos a la opción que necesitamos realizar:

2. INGRESO DE DATOS PARA LA MALLA RECTANGULAR, CUADRADA Y EN L

Una vez escogido la opción que se vaya a usar se desplegara la siguiente ventana:

Ahora debemos ingresar los datos necesarios a continuación los datos que se escogió para el caso base del diseño del prototipo virtual.

datos de ingreso	
Resistividad del suelo:	280.7136974
corriente asimétrica de falla en baja:	6.537027504
tiempo de falla:	0.5
coeficiente de resistividad térmica	0.00381
resistividad del conductor a tierra	1.78
capacidad térmica por unidad de volumen	3.42
máxima temperatura permisible del material	1084
$1/\alpha_0$	242
temperatura ambiente:	40
resistividad de la capa superficial:	2500
grosor de la capa superficial:	0.1
longitud de la malla en el eje X:	20

longitud de la malla en el eje Y:	40
separación entre conductores:	5
profundidad de la malla:	0.5
relación de la impedancia:	3.465
frecuencia:	60
impedancia eq. de X cables, Y neutros:	$1.09+0.208i = 1.10966842$
corriente simétrica de falla en alta:	1045.924401
diámetro del conductor	para el calibre 2/0

Una vez ingresado los datos se dará clic en el rectángulo de color verde que dice calcular una vez hecho esto se obtiene los siguientes resultados, cabe tener en cuenta que aún no se ingresa el dato del conductor este dato se ingresa después.

The screenshot shows a web browser window with a URL `127.0.0.1:5543/calculo_nodal.html`. The page displays a calculation interface with a green 'Calcular' button at the top. Below the button, the following steps and results are shown:

1. Cálculo de la sección del conductor.

$$S = 0.0001 \cdot \left[\frac{1000 + 6 + C_s + p_s}{\sqrt{E_s}} \right]^2$$

$$S = 5264.811270594 \text{ mm}^2$$
 Transformando a mm²:

$$S_{eq} = 10343294827812 \text{ mm}^2$$
2. Cálculo del factor de reducción superficial.

$$C_s = 1 - \frac{0.09 + \left(1 - \frac{0.09}{2.5}\right)}{2.5 + 0.09}$$

$$C_s = 0.7345338622891$$
3. Cálculo de la tensión máxima de acuerdo al peso corporal.
 Voltaje de Paso:

$$E_{paso} = (1000 + 6 + C_s + p_s) \cdot \frac{0.116}{\sqrt{E_s}}$$

$$E_{paso} = 194.29449712058 \text{ V}$$

Voltage de paso para un cuerpo de 50kg
Voltage de paso para un cuerpo de 70kg

Ahora, como se sabe por normativa el conductor a usarse en una malla debe ser de un cable de cobre número 2/0 por motivos de seguridad, a continuación debemos ingresar el dato requerido y damos clic en el botón calcular.



Ahora como este es un cálculo de un dimensionamiento de malla a continuación se debe ingresar los numero de varillas que se vayan a usar para cumplir con los requerimientos de la norma la cual detalla que la resistencia de la malla debe ser menor a 5 ohmios, a continuación, los datos que se deben ingresar.

Varillas			
Separacion de Varillas	Lr	5	m
Numero de varillas	nr	24	

De igual forma damos clic en calcular y obtenemos lo siguiente:



Como se puede observar se ha conseguido cumplir con el requerimiento del diseño.

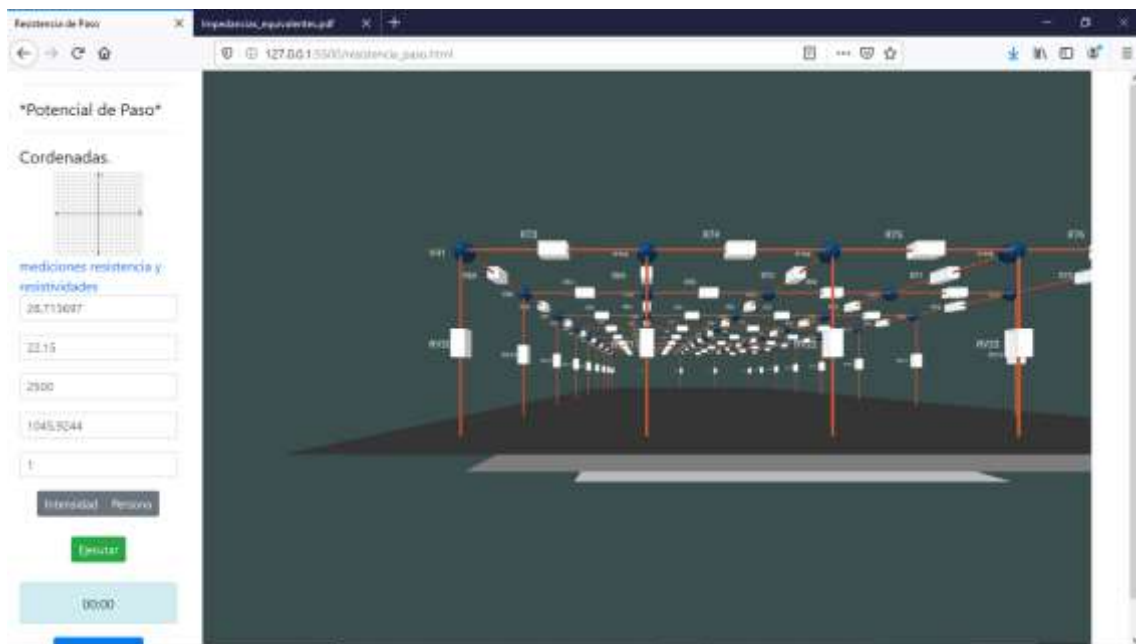
NOTA: como se detalló en el presente literal el ingreso de los datos para las siguientes mallas es similar.

3. INGRESO DE DATOS PARA EL PROTOTIPO VIRTUAL ESTUDIO DEL VOLTAJE DE TOQUE Y PASO.


Una vez seleccionada la opción se procede a ingresar los siguientes datos:



DATOS DE INGRESO		
RESISTIVIDAD DEL TERRENO	ρ	280,713697
RESISTIVIDAD DE GRAVA	ρ_s	2500
CORRIENTE DE PRUEBA	IG	1045,9244
TIEMPO DE SIMULACION	t	1

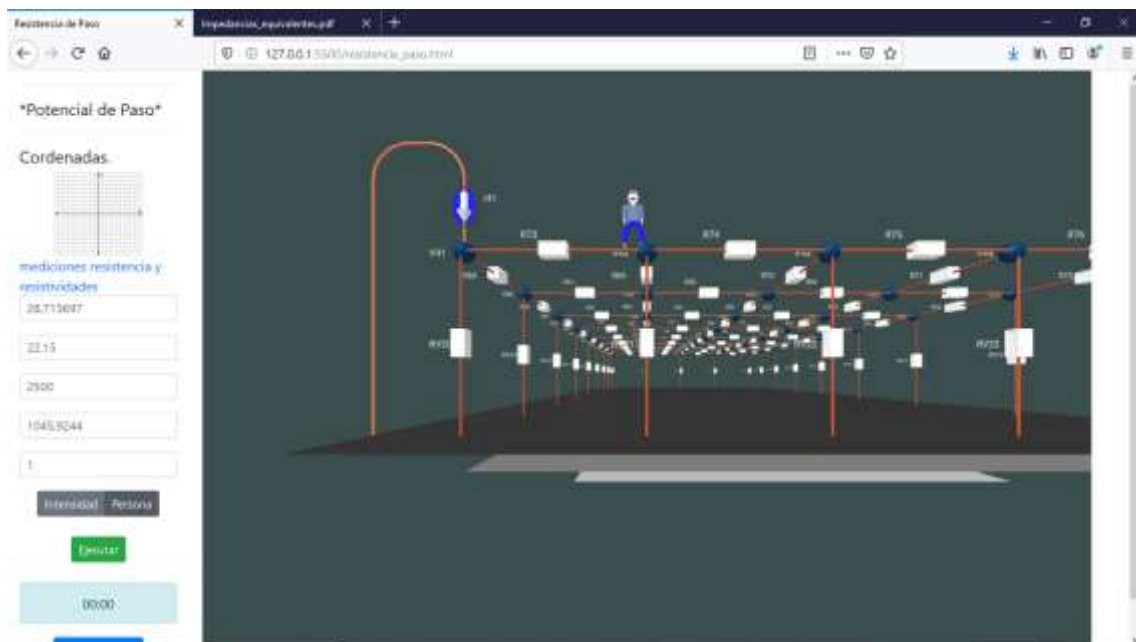
Una vez ingresado los datos presentados a continuación se procede a renderizar, lo que quiere decir que se debe recargar la página esto se debe a que la programación es pesada y debe recargarse lo datos predeterminados.



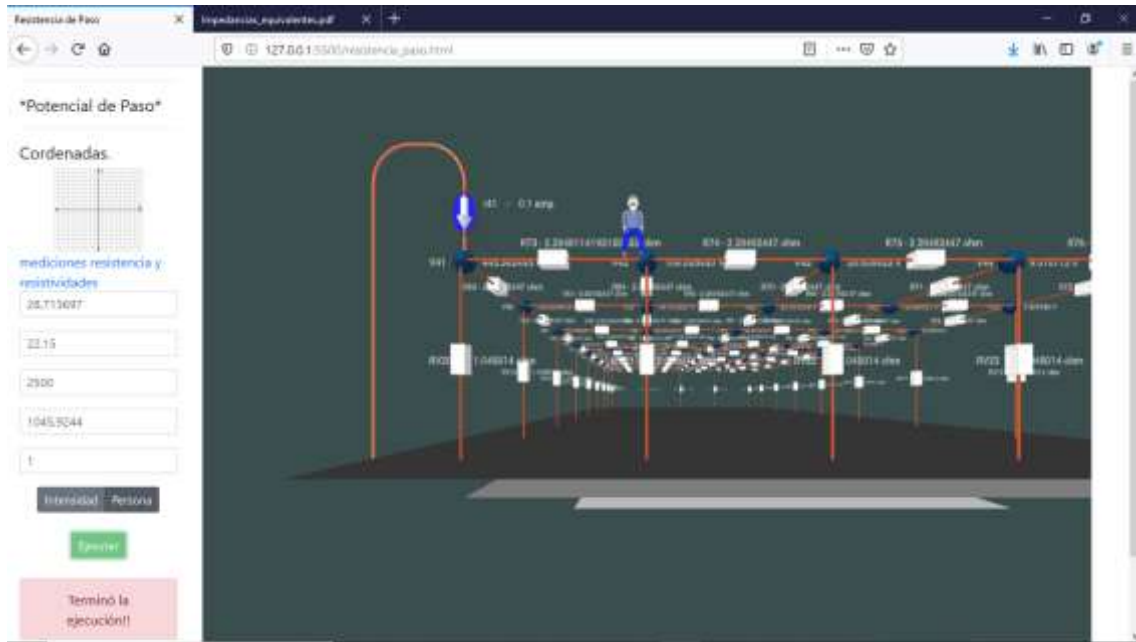
Después debemos ubicar la falla y la posición de la persona, para esto nos vamos a basar en las coordenadas cartesianas dando como punto (0,0) el ingreso de la falla y la posición de la persona (5,0) este dato variara dependiendo en qué punto se realiza el estudio. Para moverse alrededor de toda la malla se detalla a continuación los comandos necesarios, estos comandos son del teclado del computador:

	Avanzar hacia adelante
---	------------------------

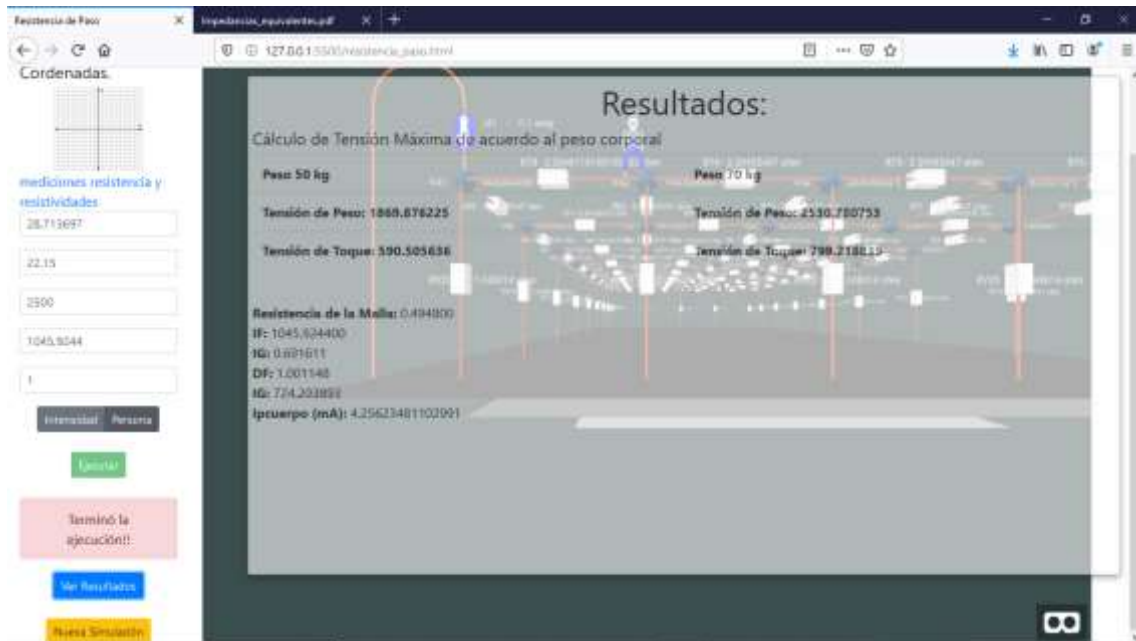
	Avanzar hacia atrás
	Avanzar hacia la derecha Avanzar hacia la izquierda
<p style="text-align: center;">Mouse</p>	El botón izquierdo del mouse se debe tener aplastado, mientras se mueve con las flechas antes mencionadas, esto sirve para poder direccionarnos alrededor de toda la malla



Una vez realizado lo que se detalló anteriormente se procede a dar clic en el botón ejecutar, como se puede observar en la imagen aparecen los valores de la resistencia de las varillas y los cables.



Ahora debemos dar clic en el botón ver resultados donde se desplegara la siguiente ventana:



Ahora si deseamos ingresar otra posición de la persona damos clic en el botón de color amarillo que se describe como nueva simulación y volvemos a realizar lo que se detalló al principio de este capítulo.

NOTA: cabe mencionar que se realizara el mismo proceso para el estudio del voltaje de toque y paso. Tener en cuenta que se debe renderizar cada vez que se ingrese nuevas posiciones de falla y de la persona.



**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**MANUAL DE INSTALACIÓN DEL PROGRAMA
VISUAL STUDIO CODE**

INTEGRANTE:

**BRONCANO TAIPE ELVIS PAUL
TENEDA TIPANTAXI ANGEL SANTIAGO**

TUTOR:

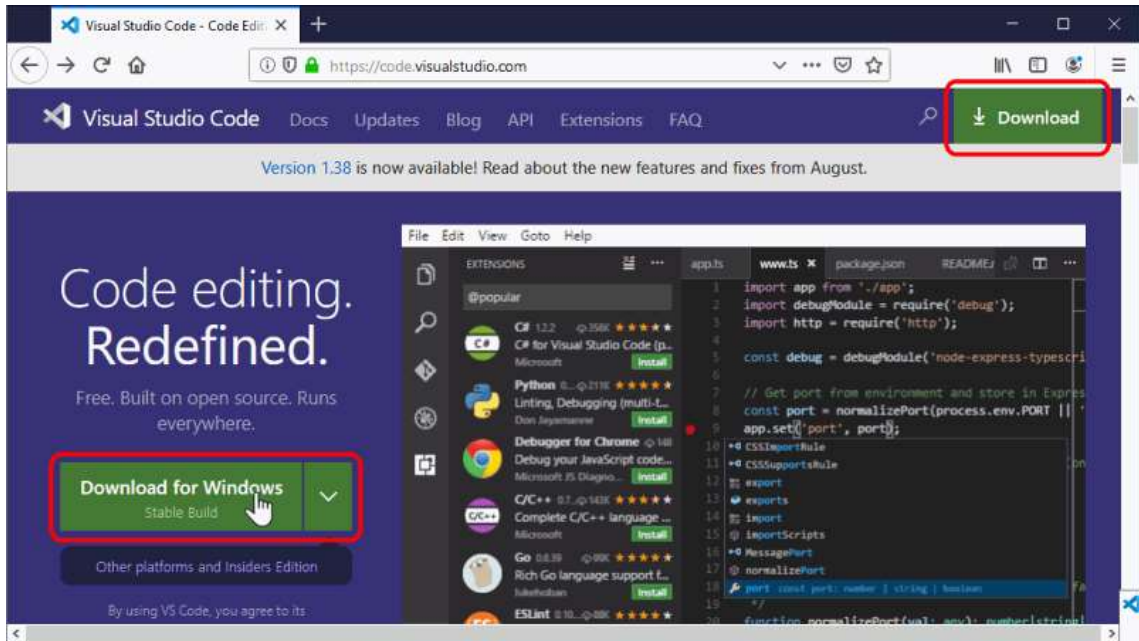
Ing. Xavier Proaño.

CONTENIDO

1. DESCARGAR EL INSTALADOR DE VISUAL STUDIO CODE.....	56
2. INSTALAR VISUAL STUDIO CODE EN WINDOWS.....	57
3. PRIMERA EJECUCIÓN	61
4. ACTUALIZAR VISUAL STUDIO CODE	62
5. ACTIVAR LIVE SERVER DE VISUAL STUDIO CODE	64

4. DESCARGAR EL INSTALADOR DE VISUAL STUDIO CODE

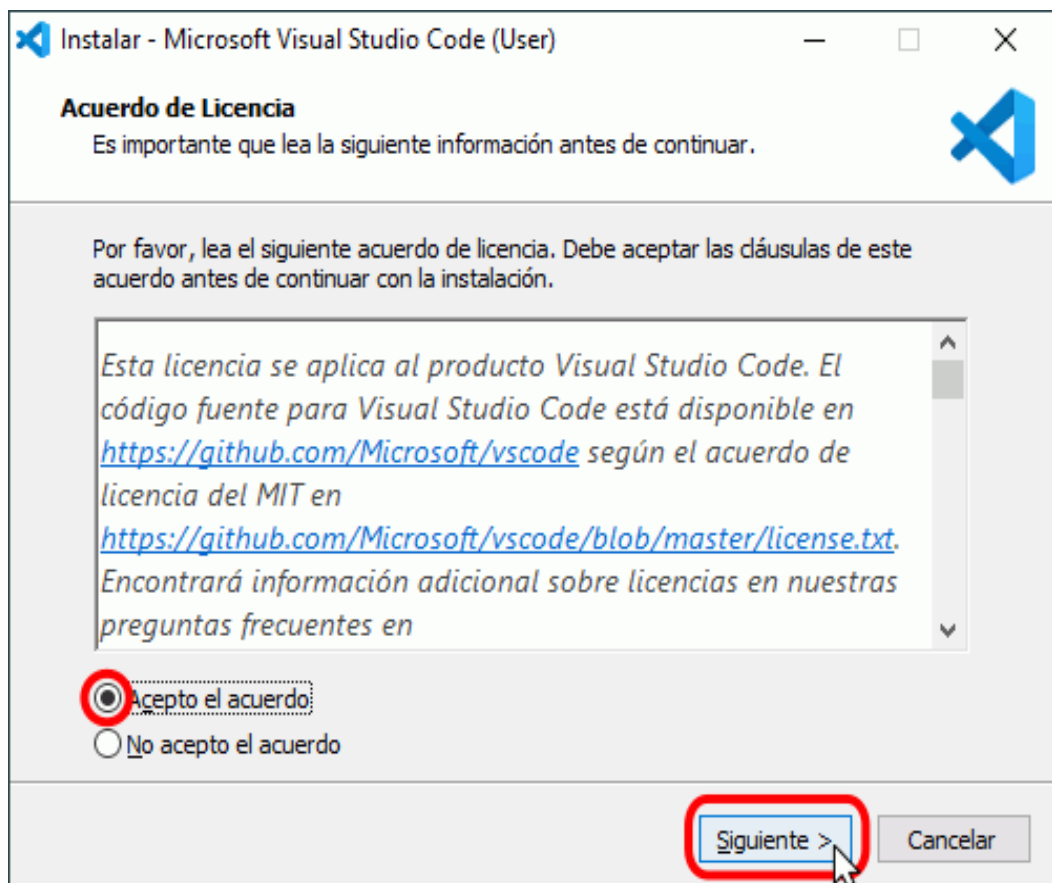
Para descargar el programa se debe dirigir a la página oficial de Visual Studio Code la cual es <https://code.visualstudio.com/>. Desde la página principal se puede descargar la última versión, como se indica en la siguiente imagen:



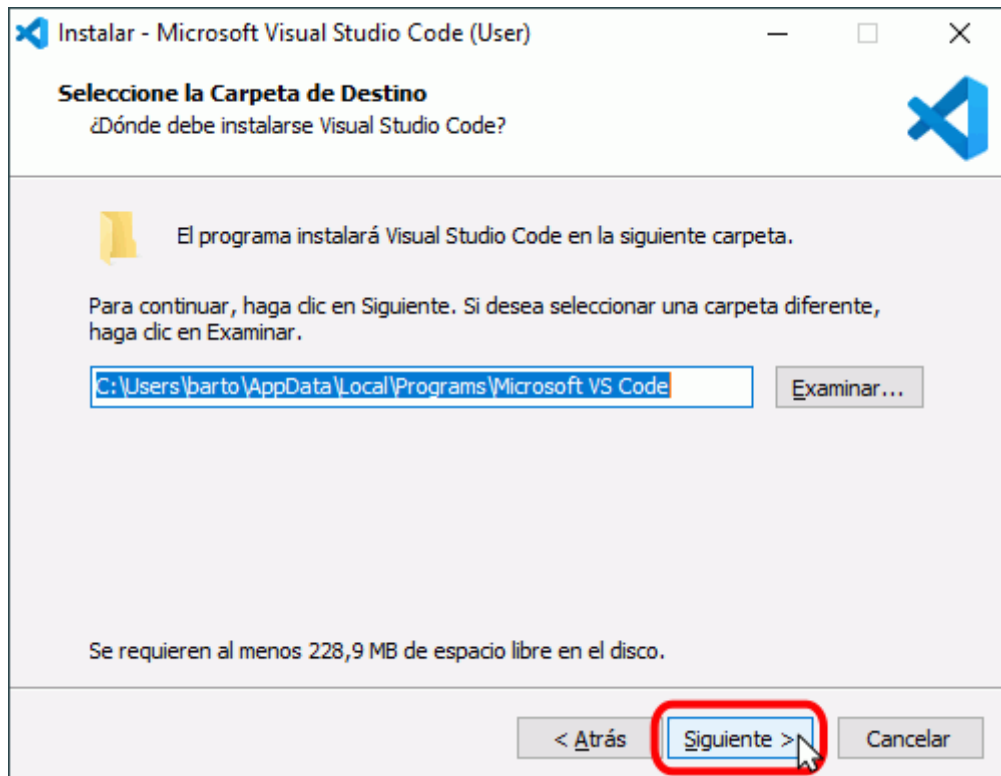
5. INSTALAR VISUAL STUDIO CODE EN WINDOWS

A continuación, se detalla paso a paso el proceso de instalación del programa en el computador, cabe mencionar, para que el programa funcione correctamente el computador debe contar con: una memoria ram de 4 gb, el disco duro de 500 gb y que el computador sea de tercera generación en adelante.

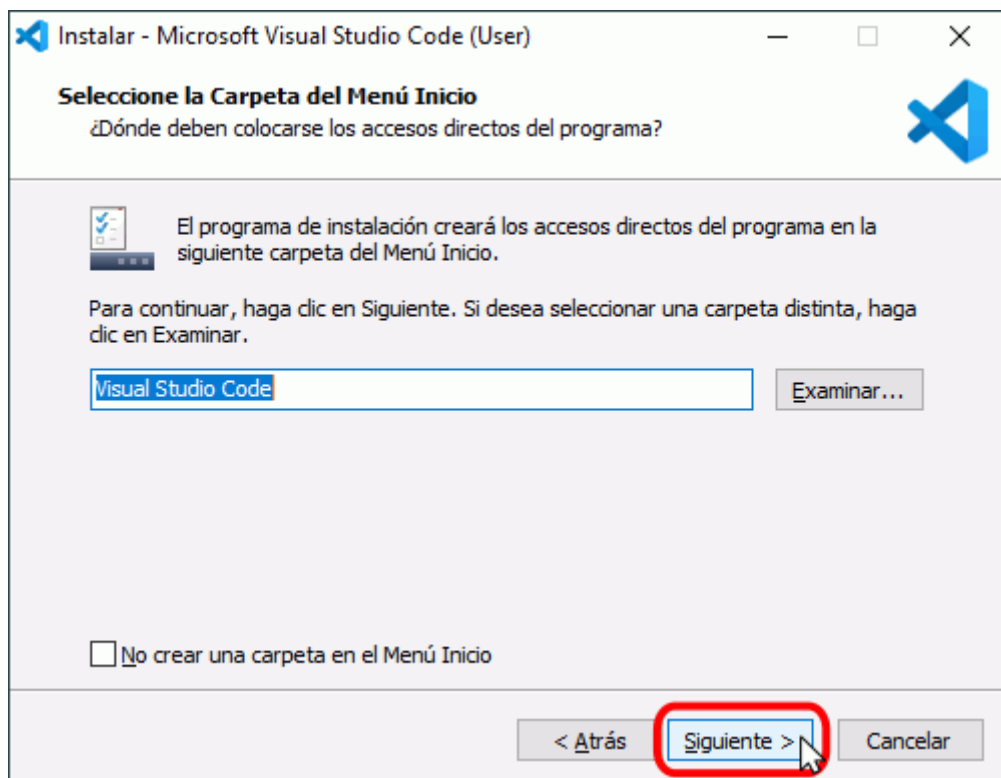
1. Haga doble clic sobre el instalador de Visual Studio Code esto es necesario para iniciar el proceso de instalación.
2. A continuación, aparecerá una pantalla donde exige aceptar la licencia de Visual Studio Code, esto para poder continuar con la instalación como se indica en la siguiente imagen:



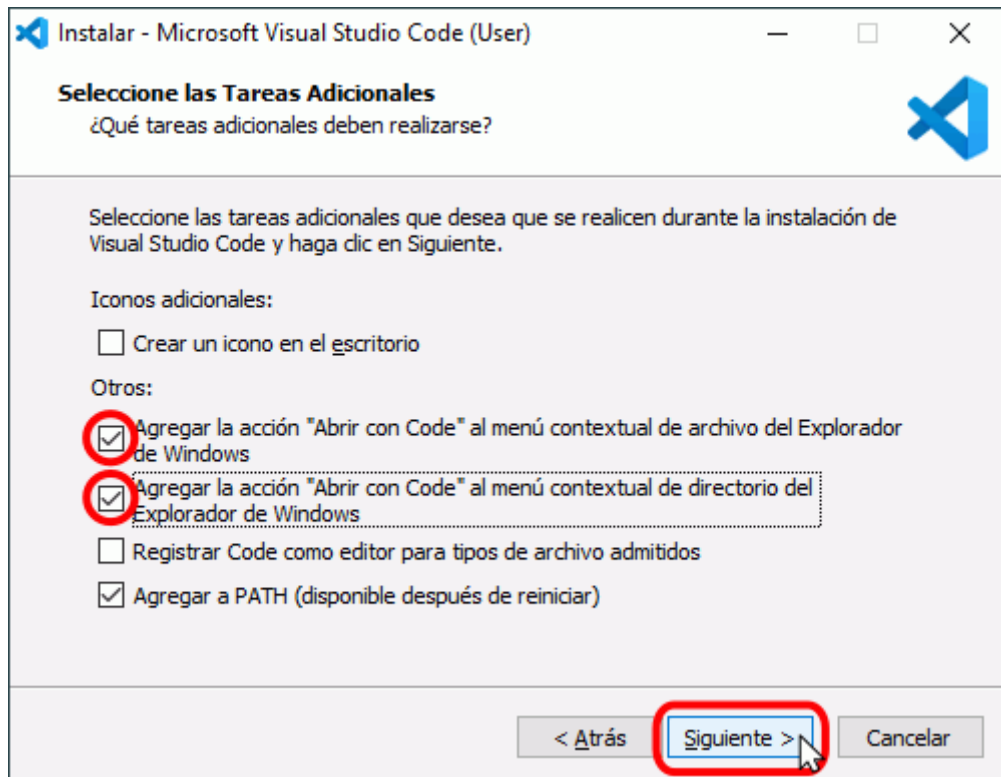
3. A continuación, la segunda pantalla permite elegir el directorio de instalación (por tratarse de la versión *User installer*, el directorio de instalación está en la carpeta de usuario, no en Archivos de programa):



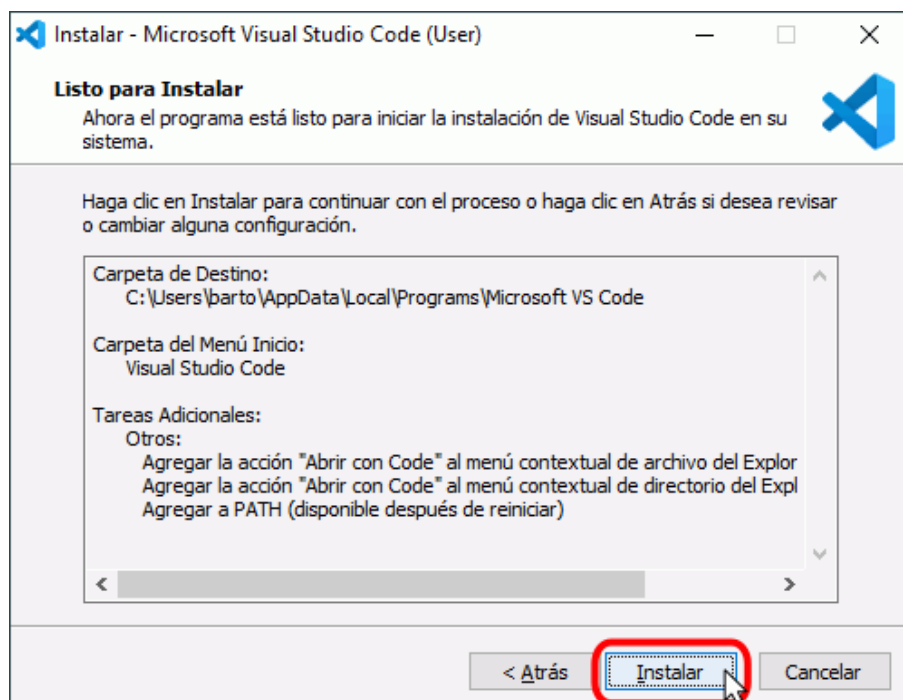
4. Después, la tercera pantalla permite elegir el nombre de la carpeta del menú de inicio como se indica a continuación:



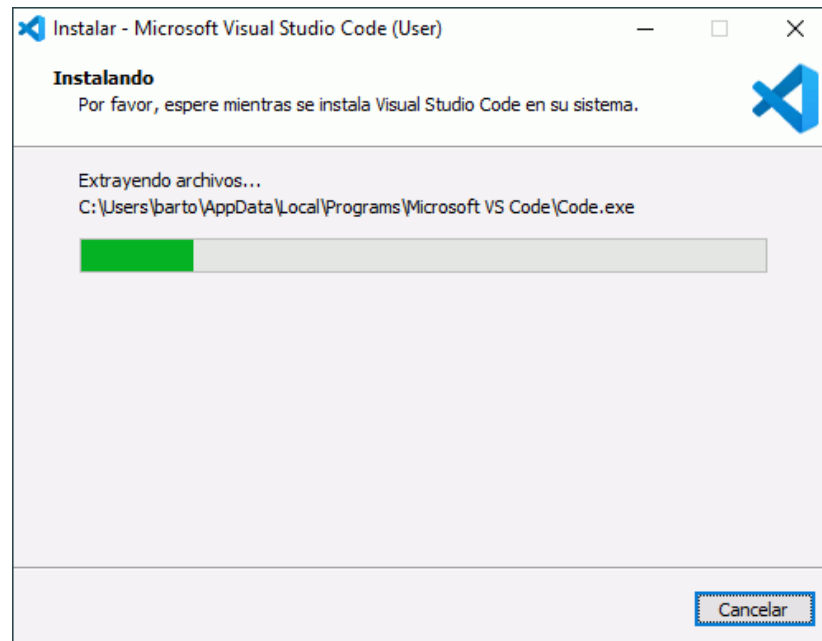
5. Ahora, la cuarta pantalla permite elegir algunas tareas adicionales tras la instalación. Se debe marcar como se indica en la siguiente imagen:



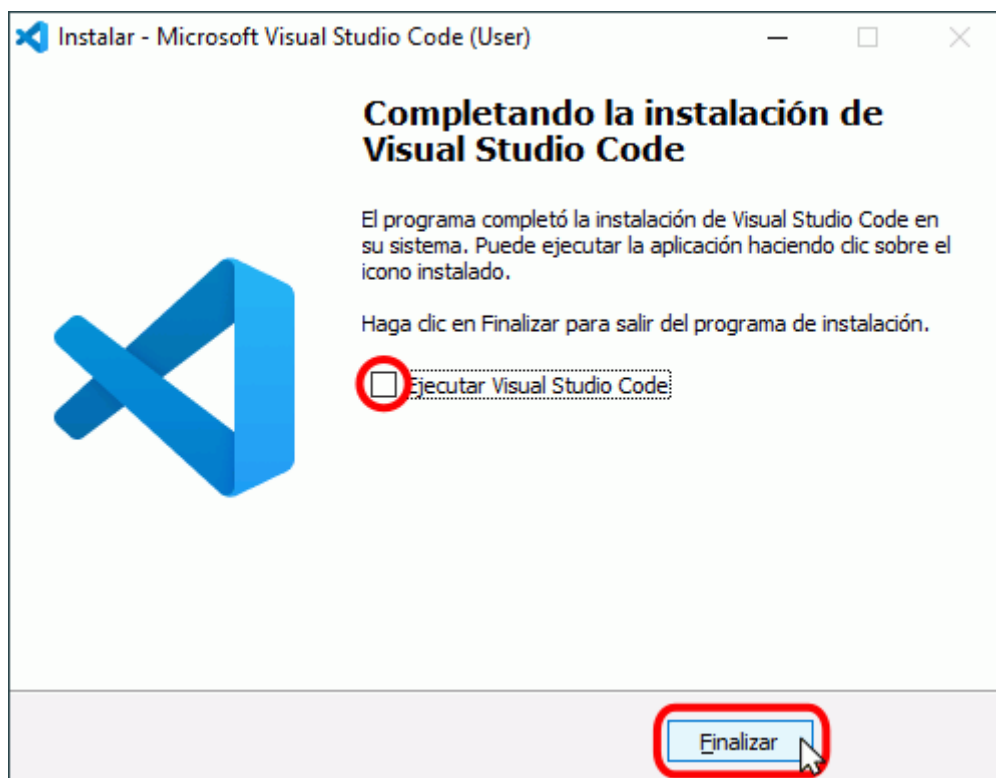
6. Finalmente, se muestran las opciones elegidas en las pantallas anteriores. Para iniciar la instalación, haga clic en Instalar.



7. A continuación, se instalará Visual Studio Code, tomara unos minutos hasta que termine el proceso de instalación.

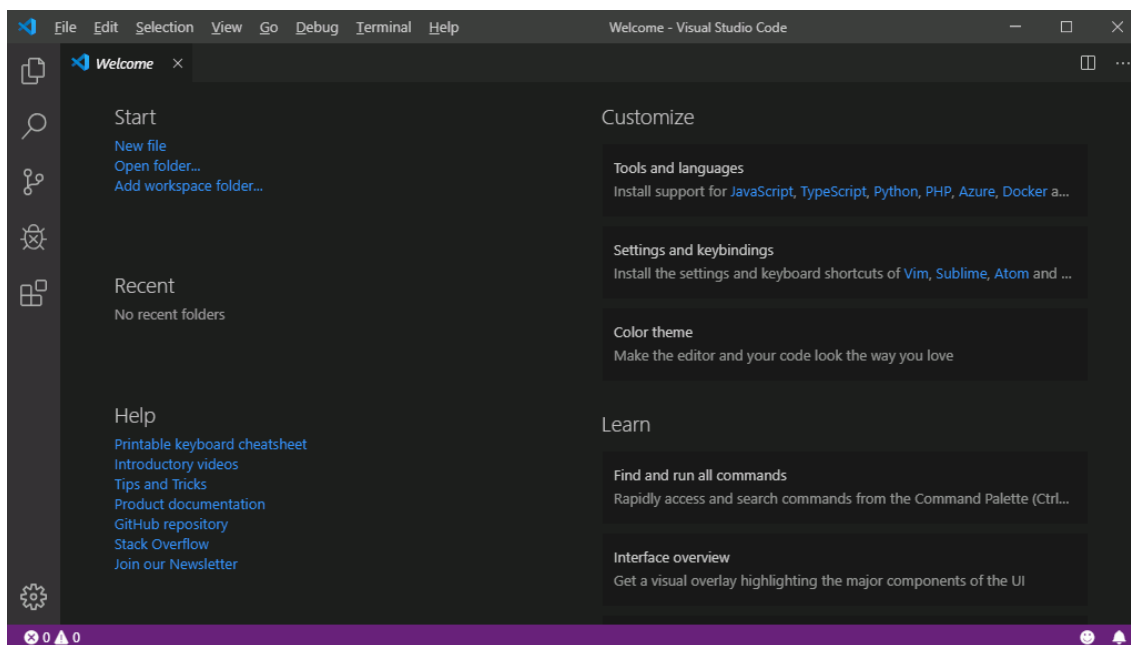


8. Una vez terminada la instalación, aparecerá la siguiente imagen. Como se observa se da clic en el botón finalizar.



6. PRIMERA EJECUCIÓN

Como se ve en la siguiente imagen aparecerá la pantalla principal esto se debe a que no se encuentra ningún archivo cargado:

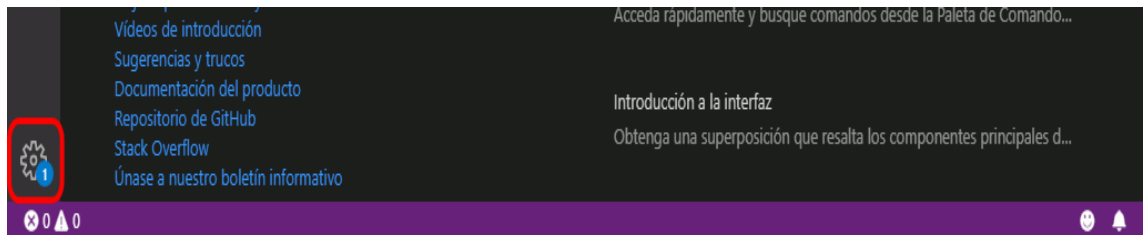


Nota: una vez abierto el programa se procede a revisar el manual de uso para poder ejecutar el prototipo virtual.

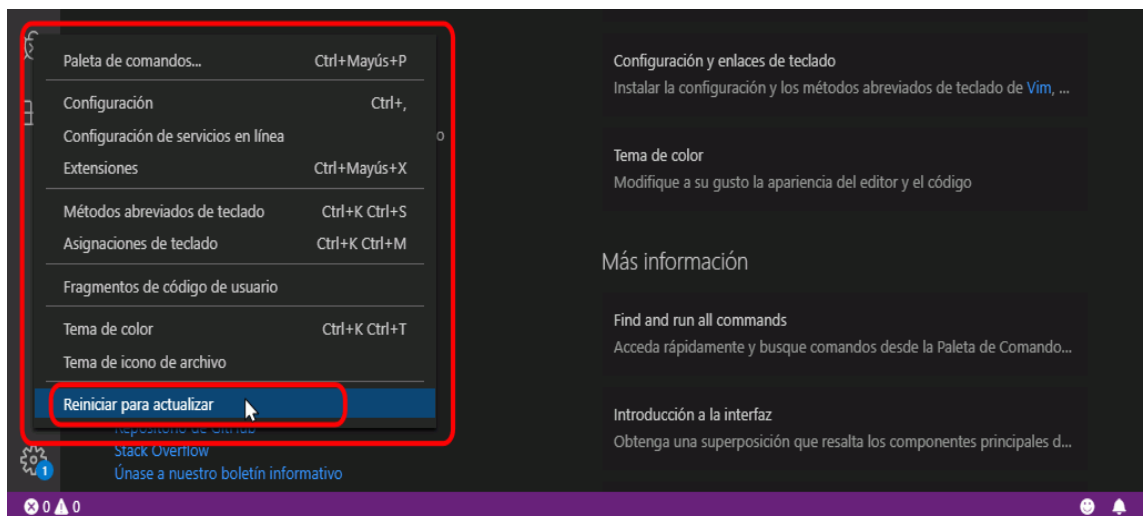
7. ACTUALIZAR VISUAL STUDIO CODE

Para las actualizaciones del programa se debe tener en cuenta que se realizan automáticamente no hay la necesidad de descargar una nueva versión e instalarla a continuación se detalla como se debe actualizar el programa.

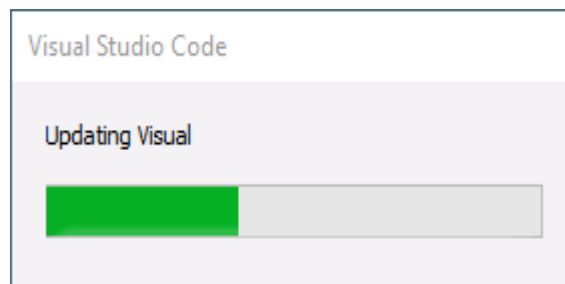
1. Cuando hay una actualización disponible, aparecerá una señal en la parte inferior izquierda como se muestra a continuación:



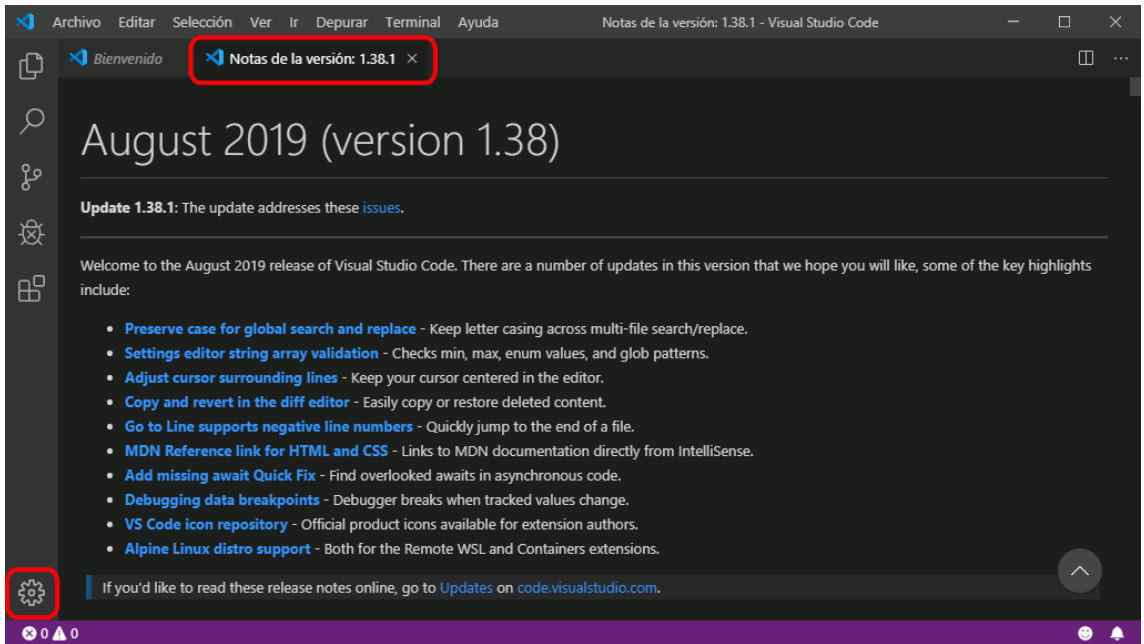
2. Haga clic en el icono de la rueda dentada y elija la opción "Reiniciar para actualizar":



3. Visual Studio Code instalará la actualización:



4. Una vez reiniciado el programa aparecerá la siguiente imagen, que detalla la correcta actualización:

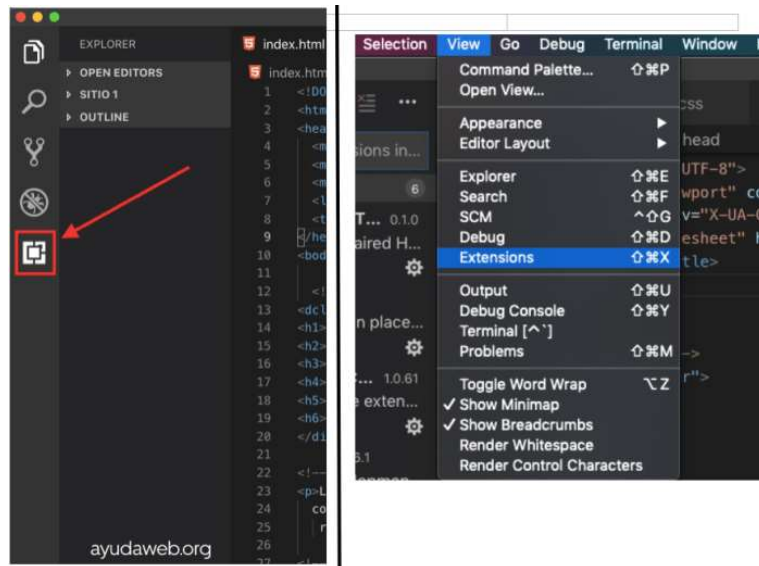


8. ACTIVAR LIVE SERVER DE VISUAL STUDIO CODE

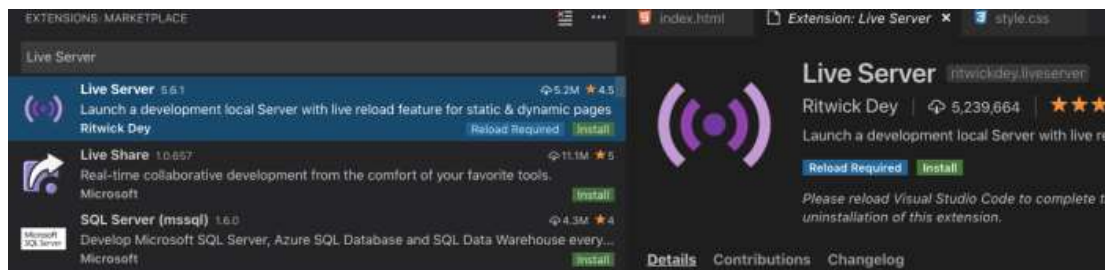
Se debe tener en cuenta que la instalación de extensiones en visual studio code, es la misma que en todos los sistemas operativos. Lo importante que se debe hacer es tener instalado el editor de código.

Ya teniendo abierto el programa Visual Studio Code activado, se debe realizar lo siguiente:

1. Se debe ir a **“Extensiones”** o **“Extensions”** esto se encuentra en el lado izquierdo de la pantalla y le se da clic en **View** y **extensions**. También se puede usar el acceso rápido como los comandos (**Shift+Cmd+X**).

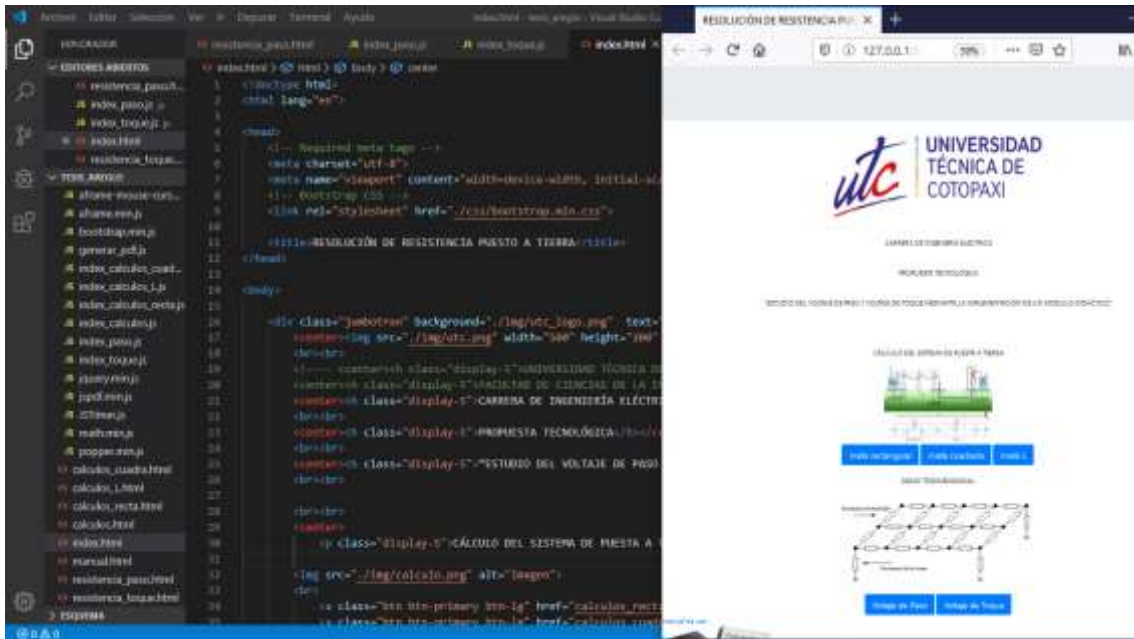


2. Luego buscas **Live Server e instalar**. Como se indica en la siguiente imagen, se procede a instalar la extensión.



3. Seguidamente ya se tendrá instalada la extensión, lo único que falta por hacer es comprobar si está realmente funcionando. Lo que se debe realizar es abrir un documento html, le das a click derecho en el código html, finalmente le das click a **“Open With Live Server”** o la **función rápida (Cmd+L Cmd+O)**.

Ya se te abrirá una nueva pestaña en Firefox, dependiendo del navegador que le tengas destinado y sea tu predeterminado.



De esta manera ya se podrá disfrutar de una pestaña con tu código traducido que se actualiza a medida que vas guardando el código en tu visual studio code.

ANEXO XII. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO VIRTUAL EN LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.



Figura XI.1. Computadoras asignadas por la carrera para la implementación del prototipo virtual.



Figura XI.2. Instalación del programa visual studio code en las computadoras asignadas.



Figura XI.3. Equipo de trabajo realizando las pruebas pertinentes de funcionamiento.

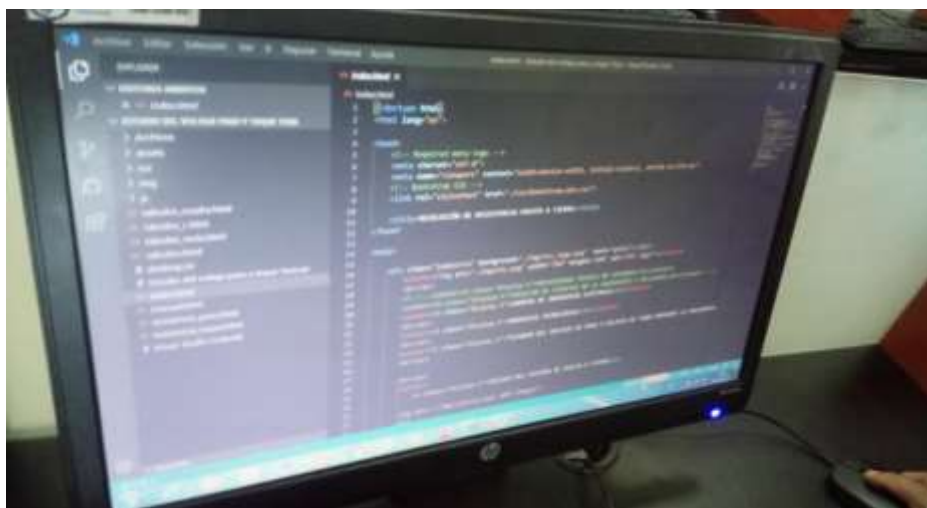


Figura XI.4. comprobación de funcionamiento del programa.



Figura XI.5. Visualización de la pantalla principal del programa.



Figura XI.6. Trabajo culminado instalación del prototipo virtual en las computadoras asignadas por la carrera.

**CD DEL
PROGRAMA
“PROTIPO
VIRTUAL”**