

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

TÍTULO:

Diseño de un software para el dimensionamiento de una malla de puesta a tierra, como una herramienta que mejorará el aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

NOMBRES DE LOS POSTULANTES:

HERRERA PURUNCAJAS MARIO DANIEL

IZA SAMPEDRO FRANKLIN ROLANDO

DIRECTOR DE TESIS:

ING.ELEC. KLEVER MAYORGA

ASESOR DE TESIS:

DR. EDWIN VACA

LATACUNGA – ECUADOR

**2012
AUTORÍA**

TEMA

“DISEÑO DE UN SOFTWARE PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA, COMO UNA HERRAMIENTA QUE MEJORARÁ EL APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.”

Los criterios, ideas, opiniones y comentarios emitidos en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores que a continuación firmamos.

Herrera Puruncajas Mario Daniel

C.I. 050305757-2

Iza Sampedro Franklin Rolando

C.I. 050334914-4

AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

Yo, Ing. Elec. Kléver Mayorga, en calidad de Director del trabajo de Investigación sobre el tema: **“DISEÑO DE UN SOFTWARE PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA, COMO UNA HERRAMIENTA QUE MEJORARÁ EL APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.”**, de Herrera Puruncajas Mario Daniel e Iza Sampedro Franklin Rolando postulantes de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas carrera Ingeniería Eléctrica en Sistemas eléctricos de potencia, considero que dicho informe investigativo cumple con los requisitos metodológicos y aportes científicos suficientes para presentarse al acto de defensa de la Tesis ante el Tribunal que la Comisión de Investigación de la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi asignen para su correspondiente estudio y calificación.

Es todo lo que puedo mencionar en honor a la verdad.

Latacunga, Julio del 2012

Ing. Elec. Klever Mayorga
DIRECTOR DE TESIS
C.I. 180198718-9

AGRADECIMIENTO

A mis Padres por ser quienes impulsaron en mí el deseo de superación, trabajo, responsabilidad y constancia.

A mi esposa quien con sus palabras de aliento y compañía me infundó las ganas de alcanzar mis metas y cumplir este sueño.

Un agradecimiento eterno a la Universidad Técnica de Cotopaxi por albergarme en sus aulas y a sus docentes por formarme como un profesional con un alta calidad humana.

A mi director de tesis Ing. Klever Mayorga por brindarme su experiencia, su excelente orientación y ayuda para la realización del presente trabajo.

A todos mis compañeros y amigos de la Universidad con quienes compartí esta inolvidable etapa de mi vida, por sus consejos, su apoyo y su ayuda.

A mi amigo Franklin con quien, a pesar de cualquier imprevisto logramos culminar el presente proyecto.

Mario Daniel

AGRADECIMIENTO

Las palabras se las lleva el viento pero tus obras serán recordadas y plasmadas en cada persona que compartió tu experiencia y fortaleza para luchar contra tus adversidades y lograr tu objetivo.

A Dios, por darme el regalo más maravilloso, la vida y a mis padres, llenarme de fe y confianza para cumplir con varias metas en mi vida y en especial por permitirme culminar mi preparación profesional.

A toda mi familia en especial a mis padres y mis hermanos quienes me brindaron su apoyo moral y económico durante toda mi formación profesional, por sus palabras de aliento y consejos que también han formado parte de mi alegría y mi vida.

Un agradecimiento especial a la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme permitido formarme académicamente y adquirir conocimientos mediante sus docentes y ahora llegar a plasmar mi objetivo de ser un profesional.

A mi director de tesis Ing. Klever Mayorga por la excelente orientación en la realización del presente trabajo.

A todos las autoridades, docentes y administrativos, por todo el apoyo brindado para la culminación de este trabajo.

Franklin Iza

Dedicatoria

Dedico este proyecto de tesis a mis padres Mario e Hilda, porque de una u otra forma han estado conmigo en cada etapa de mi vida, apoyándome y dándome sus consejos para culminar mis metas.

A mi esposa Anita, por compartir conmigo su tiempo, su cariño y demostrarme en todo sentido su apoyo incondicional.

A mis hermanas Mercy y Dianita por su presencia en todo momento de mi vida.

A todos aquellas personas que me apoyaron y brindaron su ayuda durante mi vida universitaria.

Mario Daniel.

Dedicatoria

Este proyecto de investigación va dedicado con mucho cariño para todas aquellas personas que han confiado en mí pero en especial a Dios porque ha guiado mi camino en los momentos más difíciles que he tenido que enfrentar y ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar día a día.

A mis padres Luis Iza y María Esbélida Sampedro, quienes a lo largo de mi vida han sido el pilar fundamental para continuar adelante con mi preparación académica siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi capacidad y talento que han sabido inculcarme.

A mis hermanos Luis, Edgar, Adrian y Brayan quienes con su apoyo, amor y comprensión han sabido entender lo que me he propuesto.

En especial para aquel amigo que lucha y se esfuerza día a día, por ser alguien diferente hasta llegar a cumplir lo que es ahora, con mucho cariño y amor Frank.

Franklin Iza



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS
Latacunga – Ecuador

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por objetivo el Diseño de un Software para el dimensionamiento de una malla puesta a tierra como una herramienta que mejorará el aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Eléctrica. Esto permitirá realizar de manera objetiva y sencilla el cálculo de los parámetros que se necesitan para el diseño de una malla de puesta a tierra con el fin de proteger a los equipos eléctricos instalados en una subestación y asegurar la integridad de las personas que tengan contacto con los mismos, además permitirá que los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, posean una herramienta informática que facilite una comprensión acerca de la trascendencia de esta parte vital de los Sistemas eléctricos de potencia. Además se busca combinar la parte Informática a la Ingeniería Eléctrica para demostrar el gran desarrollo tecnológico e investigativo que realizan los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Además se busca proporcionar al campo profesional una herramienta garantizada y de acceso libre, que optimice tiempo y recursos en el diseño de Mallas a Tierra. El actual uso de nuevas tecnologías consiste en optimizar lo máximo posible los procesos que se realizan para generar conocimiento y poco a poco ir excluyendo las actividades caducas llevadas a la práctica en el pasado.

El software de diseño de mallas de puesta a tierra es el resultado de una ardua labor la cual esta compuesta de un análisis e investigación de las necesidades de la institución.

Dicho software fue realizado en base a paquetes de programación de alto nivel (Visual Basic y AutoCAD), cuenta con dos campos de aplicación:

- La principal es en el campo laboral dentro del dimensionamiento de la malla de puesta a tierra, misma que está a disposición de los estudiantes.
- El segundo es de uso educativo ya que este Software permitirá entender de mejor manera todos los parámetros que intervienen en el diseño de Mallas a tierra durante la cátedra impartida por los docentes.

El software diseñado posee una interfaz sencilla y se crearon bases de datos de todos los parámetros y curvas lo cual reduce el tiempo de resolución matemática. Su objetivo principal es alcanzar el diseño óptimo de la malla de puesta a tierra para los requerimientos que se necesiten. El software es una fácil y comprensible aplicación basada en las normas IEEE-80 (**IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding**).



COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

ACADEMIC UNIT OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

Latacunga – Ecuador

ABSTRACT

The present researching job had as purpose to develop a software to dimensioning a net puts into land as a skill will improve the electric engineering students' learning. This will allow to do the calcules of standards in easily and objectively way to develop a need puts into land with the purpose to protect the electric equipment installed in a substation and make safe the peoples' integrity that have contact with these ones. Moreover, it will allow that electric engineering career students in the Technical University of Cotopaxi have an informatics skill to make easy the comprehension about transcendence that it's so important in the electric systems of potency. Also it looks for combining the informatics part in electric engineering to demonstrate the high technology and investigating development is done by the Technical University of Cotopaxi students. Besides it is considered as a garantized skill of free access into the professional field to optimize the time and resources in the development of nets put in land. The recent using in new technologies consist in optimize as maximum as possible the done process to generate knowledge and little by little it's putting out the old activities doing in past. The development of nets put into land software is the result of hard work which is composed for an analysis and investigation in institutions needs.

The software was based on a pack of program of high level (Visual Basic and AutoCAD). It has two application fields:

- The main is the working field inside a dimensioning of the net puts in land, and which it's to student's disposition.
- The second is the educative usage because the software will allow understanding in a better way all the parameters which are involved in the

development of nets put in land during the knowledge shared by the teachers.

The designed software has an easy interface and it creates a data base of all parameters and waves which reduces the time in the mathematical resolutions. Its main purpose is reach the optimum design in the net puts in land and the requirements that are needed. It is having and understable and easily application based on IEEE 80, (**IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding**) standards.

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo, Lcda. Msc. Erika Borja, en calidad de docente de la Unidad Académica de Ciencias Administrativas y Humanísticas, carrera Ingles de la Universidad Técnica de Cotopaxi, tengo a bien **CERTIFICAR:** que los egresados HERRERA PURUNCAJAS MARIO DANIEL con **C.I.** 050305757-2 e IZA SAMPEDRO FRANKLIN ROLANDO con **C.I.** 050334914-4, han realizado la debida corrección del **Abstract** de la Tesis de Grado con el Tema: **“DISEÑO DE UN SOFTWARE PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UNA MALLA DE PUESTA A TIERRA, COMO UNA HERRAMIENTA MEJORARA EL APRENDIZAJE DE LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.”**, el cual se encuentra bien estructurado por lo que doy fe del presente trabajo.

Por tal motivo faculto a los peticionarios hacer uso del presente certificado como a bien lo consideren.

Latacunga, Julio del 2012

Lic. Msc. Erika Borja

050216109-4

Docente

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los sistemas eléctricos necesitan ser aterrizados, por tal motivo esta práctica en función del tiempo ha continuado y se ha desarrollado progresivamente, de modo que tales conexiones a tierra se encuentran en casi todos los puntos del sistema eléctrico desde la estación generadora, las líneas de transmisión, los cables que distribuyen la energía eléctrica y los locales domiciliarios, comerciales e industriales en los cuales se utiliza.

En el transcurso de los últimos años, es visible un rápido desarrollo en los sistemas eléctricos, por lo que se debe estar consciente que deben existir herramientas de modelamiento de Sistemas de Puesta a Tierra con un interfaz de fácil comprensión y útil aplicación. La actividad del diseño de mallas a tierra ha llegado a ser trascendental debido a que se requieren diseños seguros, confiables y eficientes.

Las puestas a tierra encierran mucha importancia ya que con su construcción se busca proporcionar el punto de descarga de posibles fallas, por esto la resistencia lograda con el diseño será tan baja como sea posible para asegurar que la elevación total de potencial del sistema de puesta a tierra no alcance valores inseguros para el contacto humano, para así tener un desempeño satisfactorio del Sistema Eléctrico y ser suficientemente segura contra riesgo de accidentes fatales.

La reglamentación del sector eléctrico para los sistemas eléctricos de potencia, consideran importantes los aspectos relacionados con la calidad del servicio, razón por la cual una de las principales preocupaciones dentro de la Ingeniería Eléctrica ha sido el buscar condiciones favorables y la toma de decisiones correctas para la distribución de energía, reduciendo el número y tiempo de interrupciones de servicio que se presentan por daños a componentes del Sistema Eléctrico de Potencia que se producen por malos aterramientos del sistema, mejorando la confiabilidad del mismo. Es así que la confiabilidad y seguridad en el diseño de

los sistemas eléctricos están ligadas estrechamente al diseño de las mallas de puesta a tierra.

Este trabajo intenta presentar de manera simple y sistematizada, el método introducido por la norma IEEE 80 en el diseño de sistemas de puesta a tierra para subestaciones mediante una aplicación informática acorde con los avances tecnológicos actuales.

El presente proyecto combina la Ingeniería Eléctrica y el Campo de Desarrollo de Software de tal forma que presenta el diseño de mallas de puesta a tierra en una interfaz de fácil comprensión y en base a la normativa más utilizada en el sector eléctrico (IEEE-80).

En el Capítulo I, se detallan todos los parámetros que intervienen en el diseño de Mallas de Puesta a Tierra y los efectos a nivel educativo que se producen al aplicar proyectos de este tipo de novedad investigativa y útil aplicación en el ámbito educativo y profesional.

En el Capítulo II, se trata de la situación actual del tema propuesto en la Universidad Técnica de Cotopaxi, así como el diseño metodológico de la investigación.

En el Capítulo III, se detalla los pasos del cómo se creó la herramienta computacional, su aplicabilidad y su forma de utilización. Se incluyen además las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron luego de culminar nuestro proyecto.

Los anexos muestran ejemplos de cálculos de diseños de mallas de puesta a tierra, el código fuente de la programación del software y una breve información acerca del apantallamiento de las subestaciones que puede servir como precedente para futuras investigaciones relacionadas con nuestro proyecto.

ÍNDICE

CONTENIDO	Págs
	.
1.- Portada	
2.- Índice	
Autoría.....	i
Aval.....	ii
Certificado de aplicación	iii
Agradecimiento.....	iv
Dedicatoria.....	v
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
Certificado	de viii
traducción.....	ix
Introducción.....	
...	

CAPITULO I

1. Análisis de los Sistemas de Puestas a Tierra.....	1
1.1. Puestas a tierra.....	1
1.1.1. Antecedentes.....	1

1.1.2.	Definición.....	2
1.1.3.	Importancia de los Sistemas de Puesta a Tierra.....	2 3
1.1.4.	Ventajas de los Sistemas de Puesta a Tierra.....	
1.2.	Resistividad del suelo.....	5
1.2.1.	Definición.....	5
1.2.2.	Resistividad según el tipo de terreno.....	5
1.2.3.	Resistividad de la capa superficial (ρ_s)	6 8
1.2.3.1	Medida de la resistividad del terreno.....	8 10
1.2.3.1.1	Método de Wenner.....	11 13
1.2.3.1.2	Método de Schlumberger.....	13 15
1.2.3.2	Interpretación de las Medidas de Resistividad.....	16 17
1.3	Criterios para las Conexiones a Tierra.....	18 19
1.3.1	Normativa para el diseño de mallas de puesta a tierra.....	19 22
1.3.2	Principales Normas y Reglamentos de Diseño de Puestas a Tierra	24 24
1.4	Mallas de Puesta a Tierra.....	26
1.4.1	Tipos de Sistemas de Puesta a Tierra.....	26 27
1.4.2	Objetivos de las Mallas de Puesta a Tierra.....	27 30
1.4.3	Componentes de las Mallas de Puesta a	32

Tierra.....	32
1.4.3.1	
Conductores.....	34
1.4.3.2	
Electrodos o varillas de Puesta a Tierra.....	34
1.4.3.3	
Electrodos para Pararrayos (Mástiles).....	36
1.4.3.4	
Conectores y Accesorios.....	39
1.4.4	
Factores Considerados en el Diseño de las Mallas de Puesta a Tierra.....	40
1.4.4.1	
Características del terreno.....	43
1.4.4.1.1	
Resistividad del Terreno.....	46
1.4.4.1.2	
Evaluación de la Resistencia a Tierra.....	49
1.4.4.1.3	
Métodos para la reducción de la Resistencia a Tierra.....	50
1.4.5	
Corrientes de Cortocircuito o Falla a Tierra.....	58
1.4.5.1	
Tipos de falla a Tierra.....	59
1.4.5.2	
Factores de Corrección considerados en el cálculo de la Corriente de Cortocircuito.....	60
1.4.5.2.1	
Factor de Decremento (Df).....	61
1.4.5.2.2	
Factor de seguridad por crecimiento de la Subestación	62

(C_p).....	
1.4.5.2.3	Factor de División de Corriente
(S_f).....	
1.5	Diseño de sistemas de tierra para subestaciones eléctricas de acuerdo a la norma del instituto de ingenieros en electricidad y electrónica (IEEE- STD 80-2000)
1.5.1	Procedimiento de Diseño.....
1.5.1.1	Plano de la Subestación.....
1.5.1.2	Selección final del Calibre del Conductor.....
1.5.1.3	Cálculo de los potenciales seguros de la malla de puesta a tierra....
1.5.1.4	Diseño Preliminar de la Malla.....
1.5.1.4.1	Factores de Diseño Preliminar y Ajustes de Diseño.....
1.5.1.5	Cálculo de la Resistencia de la Puesta a Tierra.....
1.5.1.6	Cálculo de la elevación máxima del potencial de la red.....
1.5.1.7	Cálculo de la diferencia de potencial en el piso exterior inmediato a la red.....
1.5.2	Revisión del Diseño.....
1.6	Impacto Educativo del Diseño de un Software para el Diseño de Mallas de Puesta a Tierra.....

CAPITULO II

2	Presentación, análisis e interpretación de resultados situación actual	
	de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica	64
	de	64
		65
	Cotopaxi.....	66
2.1	Antecedentes.....	67
2.2	Estructura	67
	Orgánica.....	68
2.2.1	Organigrama Estructural de la Universidad Técnica de Cotopaxi	68
2.3	Misión y Visión	69
	Institucional.....	69
2.3.1	Planificación Estratégica de la Universidad Técnica de Cotopaxi	71
		72
2.4	Unidades Académicas.....	72

2.4.1	Carreras de la Unidad Académica de Ciencias en Ingeniería y Aplicadas.....	73
2.4.1.1	Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia.....	74
2.4.1.2	Perfil Profesional.....	74
2.5	Diseño metodológico.....	75
2.5.1	Unidad de Estudio.....	75
2.5.2	Población.....	76
2.6	Tipos de Investigación.....	77
2.6.1	Investigación Bibliográfica.....	78
2.6.2	Investigación de Campo.....	79
2.6.3	Investigación Cuasi Experimental.....	80
2.7	Métodos de Investigación.....	
2.7.1	Método Hipotético Deductivo.....	83
2.7.2	Método Inductivo.....	
2.8	Técnicas e instrumentos.....	94
2.8.1	Técnica.....	106
2.8.1.1	Encuesta.....	
2.8.2	Instrumentos.....	107
2.8.2.1	Cuestionario de.....	107

Encuesta.....	108
2.8.2.2 Fuentes de	109
Información.....	109
2.9 El conocimiento Aplicado a Software	109
Didácticos.....	110
2.9.1 Proceso de Creación del	110
Conocimiento.....	111
2.9.2 ¿Qué es un Modelo	111
Educativo?.....	112
2.10 Análisis e Interpretación de	112
Resultados.....	113
2.10.1 Entrevista dirigida a Ingenieros Docentes de la Unidad	113
Académica de ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)...	114
2.10.2 Encuesta aplicada a Docentes, estudiantes de los ciclos	116
superiores	116
y alumnos egresados de la carrera de Ingeniería Eléctrica de	117
la	117
UTC ubicada en la ciudad de	118
Latacunga.....	119
2.10.3 Encuesta aplicada a estudiantes de los ciclos superiores y	119
alumnos	119
egresados de la Carrera de ingeniería eléctrica de la UTC	119
ubicada	120
en la ciudad de	121
Latacunga.....	121
2.11 Verificación de la	123
Hipótesis.....	123
2.11.1 Conclusión.....	126
	130
CAPITULO III	133
	135
3 Desarrollo de la	136

Propuesta.....	
3.1	
Presentación.....	
3.2	Justificación de la
Propuesta.....	
3.3	Objetivos.....
3.3.1	Objetivos Generales.....
3.3.2	Objetivos Específicos.....
3.4	Descripción de la
Investigación.....	
3.4.1	Alcance de la
Investigación.....	
3.4.2	Impacto de la
Investigación.....	
3.4.3	Limitaciones de la
Investigación.....	
3.4.4	Identificación de
actores.....	
3.5	Desarrollo de la
propuesta.....	
3.5.1	Software a
Diseñar.....	
3.5.1.1	Antecedentes.....
3.5.1.2	Importancia del
Software.....	
3.6	Construcción del Software.....
3.6.1	Introducción.....
3.6.2	Fases de Construcción del Software.....
3.6.2.1	Diseño de Datos.....
3.6.2.2	Diseño
Arquitectónico.....	
3.6.2.3	Diseño de Interfaz.....

3.6.2.4	Diseño de Componentes.....	
3.6.2.5	Diseño de Despliegue.....	
3.6.3	Métodos de Diseño del Software.....	
3.6.3.1	Método Lineal secuencial.....	
3.6.4	Fases de Diseño del Software.....	
3.7	Diseño y Construcción del Software para Diseño de Mallas de Puesta a Tierra “SISMAT”.....	
3.7.1	Requerimientos del Software.....	
3.7.2	Requerimientos Informáticos.....	
3.7.3	Definición de Variables.....	
3.7.4	Herramientas para el Desarrollo del Interfaz.....	
3.7.5	Herramienta para el desarrollo de Reportes.....	
3.7.6	Herramientas para generar Gráficos.....	
	Conclusiones.....	138
	Recomendaciones.....	141
	Referencias Bibliográficas.....	143
	Bibliografía Citada.....	143
	Bibliografía Consultada.....	144
	Bibliografía	145

Virtual.....

ANEXOS

Anexo 1 Manual de Usuario del SISMAT

Anexo 2 Ejercicios de los cálculos de una malla de Puesta a Tierra

Anexo 3 Información sobre el sistema de Apantallamiento de una

Subestación.

Anexo 4 Código Fuente del Software SISMAT

6

ÍNDICE DE TABLAS

7

TABLA N° 1.1

16

Resistividad Equivalente.....

TABLA N° 1.2

20

Resistividades para diferentes Tipos de materiales.....

21

TABLA N° 1.3

Valores máximos de Resistencia de Puesta a Tierra.....

22

TABLA N° 1.4

Constantes de los Materiales Conductores.....

23

TABLA N° 1.5

Calibres de Cables y Alambres de Cobre.....

35

TABLA N° 1.6

Calibres Mínimos de Conductores de Cobre para Evitar la Fusión por Sobre

38

calentamiento.....	73
TABLA N° 1.7	
Tipos de Electrodo de puesta a Tierra en forma de Jabalina.....	84
TABLA N° 1.8	
Factores de Corrección para la Corriente de Falla.....	85
TABLA N° 1.9	
Factor de División de Corriente para diferentes Configuraciones del Sistema.....	86
TABLA N° 2.1	
Población encuestada de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.....	87
TABLA N° 2.2	
Importancia de las mallas de puesta a tierra en los sistemas eléctricos de potencia.....	88
TABLA N° 2.3	
Parámetros y Normas en el Dimensionamiento de mallas de Puesta a Tierra.....	90
TABLA N° 2.4	
Experiencia en el Diseño de Mallas de puesta a Tierra.....	91
TABLA N° 2.5	
Incrementar el material didáctico innovador en el proceso de enseñanza-aprendizaje.....	92
TABLA N° 2.6	
Estudio de mallas de puesta a tierra debe complementarse con herramientas actualizadas de fácil uso y comprensión.....	93
TABLA N° 2.7	

Alternativa para el dimensionamiento de las mallas de puesta a tierra.....	94
TABLA N° 2.8	
Herramientas computacionales para el dimensionamiento de las mallas de puestas a tierra.....	95
	96
TABLA N° 2.9	
Costos de las licencias limitan al estudiante acceder a programas especializados en diseño de mallas de tierra.....	97
TABLA N° 2.10	98
Elaboración de un software como un complemento a la información recibida en las aulas.....	99
TABLA N° 2.11	
Software especializado facilitará el estudio de las mallas de puesta a tierra.....	100
...	
TABLA N° 2.12	101
Importancia de las mallas puesta a tierra en los sistemas eléctricos de potencia.....	
TABLA N° 2.13	102
Parámetros y normas en el dimensionamiento de mallas de puesta a tierra.....	
TABLA N° 2.14	
Experiencia en el Diseño de Mallas de puesta a Tierra.....	103
TABLA N° 2.15	112
Incrementar el material didáctico innovador en el proceso de enseñanza-aprendizaje.....	121

TABLA N° 2.16	131
Estudio de mallas de puesta a tierra debe complementarse con herramientas actualizadas de fácil uso y comprensión.....	133
TABLA N° 2.17	135
Alternativa para el dimensionamiento de las mallas de puesta a tierra.....	
TABLA N° 2.18	
Herramientas computacionales para el dimensionamiento de las mallas de puestas a tierra.....	
TABLA N° 2.19	9
Costos de las licencias limitan al estudiante acceder a programas especializados en diseño de mallas de tierra.....	10
TABLA N° 2.20	
Elaboración de un software como un complemento a la información recibida en las aulas.....	26 49
TABLA N° 2.21	53
Software especializado facilitará el estudio de las mallas de puesta a tierra.....	55
....	
TABLA N° 3.1	
Cuadro del cado se	56
Uso.....	
TABLA N° 3.2	
Fases de Diseño del	84
Software.....	
TABLA N° 3.3	
Lista de	85

Parámetros.....	86
TABLA N° 3.4	86
Objetos de Visual	
Basic.....	
TABLA N° 3.5	87
Declaración y Tipos de	
Variables.....	88
ÍNDICE DE GRÁFICOS	89
GRÁFICO N° 1.1	
Configuración de aparatos de medida para hallar la resistividad del	90
suelo mediante el Método	
Wenner.....	
GRÁFICO N° 1.2	91
Configuración de aparatos de medida para hallar la resistividad del	
suelo mediante el Método	
Wenner.....	92
GRÁFICO N° 1.3	
Conectores cable-cable y cable-varilla para Soldaduras	
Cadweld.....	93
GRÁFICO N° 1.4	
Situaciones Básicas de Posibles Shocks	
Eléctricos.....	
GRÁFICO N° 1.5	
Malla Cuadrada Con	94
Varilla.....	
GRÁFICO N° 1.6	
Malla Rectangular con	95
Varillas.....	96

GRÁFICO N° 1.7	
Malla Tipo “L” con Varillas.....	97
GRÁFICO N° 2.1	97
Importancia de las mallas de puesta a tierra en los sistemas eléctricos de potencia.....	98
GRÁFICO N° 2.2	
Parámetros y Normas en el Dimensionamiento de mallas de Puesta a Tierra.....	99
GRÁFICO N° 2.3	
Experiencia en el Diseño de Mallas de puesta a Tierra.....	100
GRÁFICO N° 2.4	
Incrementar el material didáctico innovador en el proceso de enseñanza-aprendizaje.....	101
GRÁFICO N° 2.5	
Estudio de mallas de puesta a tierra debe complementarse con herramientas actualizadas de fácil uso y comprensión.....	102
GRÁFICO N° 2.6	107
Alternativa para el dimensionamiento de las mallas de puesta a tierra.....	120
GRÁFICO N° 2.7	
Herramientas computacionales para el dimensionamiento de las mallas de puestas a tierra.....	125
GRÁFICO N° 2.8	
Costos de las licencias limitan al estudiante acceder a programas especializados en diseño de mallas de tierra.....	

GRÁFICO N° 2.9

Elaboración de un software como un complemento a la información recibida en las aulas.....

GRÁFICO N° 2.10

Software especializado facilitará el estudio de las mallas de puesta a tierra.....

...

GRÁFICO N° 2.11

Importancia de las mallas de puesta a tierra en los sistemas eléctricos de potencia.....

GRÁFICO N° 2.12

Parámetros y Normas en el Dimensionamiento de mallas de Puesta a Tierra.....

GRÁFICO N° 2.33

Experiencia en el Diseño de Mallas de puesta a Tierra.....

GRÁFICO N° 2.14

Incrementar el material didáctico innovador en el proceso de enseñanza-aprendizaje.....

GRÁFICO N° 2.15

Estudio de mallas de puesta a tierra debe complementarse con herramientas actualizadas de fácil uso y comprensión.....

GRÁFICO N° 2.16

Alternativa para el dimensionamiento de las mallas de puesta a tierra.....

GRÁFICO N° 2.17

Herramientas computacionales para el dimensionamiento de las mallas de puestas a

tierra.....

GRÁFICO N° 2.18

Costos de las licencias limitan al estudiante acceder a programas especializados en diseño de mallas de tierra.....

GRÁFICO N° 2.19

Elaboración de un software como un complemento a la información recibida en las aulas.....

GRÁFICO N° 2.20

Software especializado facilitará el estudio de las mallas de puesta a tierra.....

...

GRÁFICO N° 3.1

Fases de Construcción del Software.....

GRÁFICO N° 3.2

Modelo para la construcción de Programas.....

GRÁFICO N° 3.3

Diagrama de flujo para diseños computarizados de mallas de puesta a tierra.....

....

CAPITULO I

1 ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA.

1.1 PUESTAS A TIERRA.

1.1.1 Antecedentes.

Un sistema de tierras efectivo consiste en forma típica de varillas de tierra, cables desnudos interconectados en forma de una malla y las conexiones a la estructura y partes metálicas del Sistema Eléctrico. El diseño de un sistema de tierras seguro y económico es difícil de conjuntar, las instalaciones existentes están expuestas a cambios que requieren una revisión de seguridad y del comportamiento del sistema para asegurar el cumplimiento de su función.

El costo de diseñar, instalar y probar una malla de tierra nueva o redimensionar una ya existente puede ser bastante alto aunque necesario ya que si ocurre un accidente, el costo humano y los costos legales asociados podrían ser mayores.

Los primeros sistemas de puesta a tierra se realizaron con varillas de cobre puro, pero fueron omitidos casi de inmediato por la baja resistencia mecánica del material. Esto se solucionó al utilizar varillas de acero recubiertas con una capa de cobre, idea patentada por la marca Cooperweld americana, obteniendo resultados muy satisfactorios tanto en resistencia mecánica como en conductividad, esto permitió además optimizar recursos al lograr diseños de puestas a tierra con una mayor vida útil reduciendo costos por modificaciones o daños de los componentes del sistema de puesta a tierra.

1.1.2 Definición.

Una malla de puesta a tierra es parte de un sistema complejo de protección de un Sistema Eléctrico y depende íntegramente de las características del terreno y los valores nominales de diseño del sistema, por lo que requiere herramientas precisas para asegurar un diseño correcto de la misma.¹

Los sistemas de puestas a tierra permiten la protección de personas y equipos eléctricos contra fallas producidas o el contacto directo con estructuras energizadas por corrientes de fugas. Por lo tanto, la ejecución correcta de la misma brinda mayor confiabilidad. De este sistema la parte principal es la malla de puesta a tierra, que es la que proporciona un camino por el cual se descarguen las corrientes producida durante las fallas.

1.1.3 Importancia de los Sistemas de Puestas a Tierra

Uno de los aspectos principales para la protección contra sobrevoltajes es la de disponer una red de tierra adecuada, a la cual se conecten los neutros de los aparatos, los pararrayos, los cables de guarda, las estructuras metálicas, los tanques de los aparatos y de todas aquellas partes metálicas que deben estar a potencial de tierra. Las puestas a tierra encierran importancia dentro de un Sistema Eléctrico de Potencia, pues permite obtener el neutro del sistema, asegura que las partes sin corriente tales como armazones de los equipos estén al potencial de tierra aún en caso de fallar el aislamiento, brinda un margen de seguridad al personal de operación y al público y hace confiable al sistema por lo que se necesita un diseño y construcción óptimos.²

El diseño de Sistemas de Conexión a Tierra tiene como premisa fundamental garantizar la confiabilidad o robustez del Sistema Eléctrico, para esto debe permitir una ruta de baja impedancia para el retorno de las corrientes de falla a tierra en sistema eléctricos que operan con el neutro conectado a tierra, debe evitar

¹ AYORA, Paúl. Apuntes de Alto Voltaje, Primera Edición, (Ingeniero Eléctrico), Quito, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, Biblioteca de Ingeniería Eléctrica, 1978, p. 2.

² AVILÉZ, Fausto. Optimización del cálculo de mallas de puesta a tierra en suelos no homogéneos. Tesis (Ingeniero Eléctrico), Quito, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Eléctrica, 1978, p. 3.

voltajes peligrosos para los seres humanos bajo una condición de falla a tierra (en la superficie del terreno y entre la superficie del terreno y equipos conectados a tierra).

Los sistemas de tierra sirven como camino de descarga a las corrientes de rayos interceptados por sistema de protección contra rayos (pararrayos, conductores de guarda, descargadores de sobrevoltajes), limita sobrevoltajes en los equipos bajo condiciones de falla a tierra, permite mantener el nivel de potencia bajo condiciones anormales transitorias generadas por fallas o descargas de rayos a tierra.

Se implanta así la necesidad de una herramienta que permita diseñar dicha malla de la manera más óptima con el fin de asegurar su construcción y operación, robusteciendo la confiabilidad del Sistema Eléctrico y proporcionando un mayor grado de seguridad y salvaguarda para la integridad de las personas y equipos.

1.1.4 Ventajas de los Sistemas de Puestas a Tierra

Un buen dimensionamiento de la malla de puesta a tierra incrementa la confiabilidad de la operación de un sistema eléctrico reduciendo las interrupciones de servicio causadas por transitorias tales como las descargas atmosféricas.

Los objetivos de las instalaciones de puesta a tierra son:³

- Fijar el nivel de potencial de todas las masas metálicas con respecto al suelo.
- Proporcionar un camino de baja impedancia para la circulación de las corrientes de tierra, ya sea que se deban a una falla de cortocircuito o a la operación de un pararrayos.
- Controlar los sobrevoltajes durante los transitorios.

³ ENRIQUEZ, Gilberto: Fundamentos de instalaciones de mediana y alta voltaje, Primera Edición, Editorial LIMUSA, Lima-Perú, 2005, p. 209, 210.

- Evitar que, durante la circulación de estas corrientes de tierra, puedan producirse diferencias de potencial entre distintos puntos de la subestación, significando peligro para el personal.
- Asegurar la correcta operación de los dispositivos de protección, dando mayor confiabilidad y continuidad del servicio.

Según los autores, el diseño del mallado debe ser el más ideal posible para cumplir los objetivos para los cuales el mallado es construido, sin embargo este diseño “óptimo” es complicado ya que son numerosos los parámetros que intervienen y afectan dicho diseño.

Además factores externos como la humedad y la temperatura pueden producir variaciones en los parámetros, esto hace que el diseño sea normalmente conservador debido a que se tienen ciertas incertidumbres. Este diseño debe tomar en cuenta posibles modificaciones futuras en los parámetros involucrados sea por el incremento de la carga, deterioro de equipos, factores climáticos e incluso la ocupación futura del suelo.

1.2 RESISTIVIDAD DEL SUELO.

1.2.1 Definición

Mediante este término se define a la resistencia específica del suelo a cierta profundidad, pudiendo ser también un estrato del suelo; se obtiene indirectamente mediante mediciones realizadas en un determinado campo; su magnitud se expresa en ($\Omega \cdot m$), es inversa a la conductividad.⁴

⁴ [en línea]. [ref. de 16 de agosto 2011]. Disponible en World Wide Web: <<http://www.biblioteca.epn.edu.ec/catalogo/libre10.php>>.

La resistividad del suelo (ρ) está definida como la resistencia de un volumen de suelo con un área unitaria (A) y una longitud (l). Su ecuación está dada como:

$$\rho = R * \frac{A}{l} [\Omega * m] \quad \text{eq. (1)}$$

Donde:

- ρ : Resistividad del suelo.
- R : Resistencia medida del volumen del suelo.
- A : Área unitaria del suelo.
- l : Longitud del suelo.

1.2.2 Resistividad según el tipo de terreno.

La resistencia de la malla de puesta a tierra y los gradientes de voltaje dentro de una subestación están directamente relacionados con la resistividad del terreno. Para esto se deben reunir suficientes datos relacionados con el terreno sobre el cual se asentará dicha subestación con base en mediciones directas de la resistividad empleando un telurómetro. Hay que tener en cuenta además que la resistividad del terreno está afectada por la humedad, la temperatura ambiente y el contenido químico del mismo. En la tabla 1.1 se presentan los valores de resistividad para diferentes tipos de suelos, son valores generalizados para el diseño de mallas de puesta a tierra independiente de los factores antes mencionados.

**TABLA 1.1
RESISTIVIDAD EQUIVALENTE**

VALORES TÍPICOS DE RESISTIVIDAD DE DIFERENTES SUELOS		
TIPO	RESISTIVIDAD ($\Omega.m$).	
Lama	5	100
Humus	10	150
Limo	20	100
Arcillas	80	330
Tierra de jardín	140	480
Caliza fizurada	500	1000

Caliza compacta	1000	5000
Granito	1500	10000
Arena Común	3000	9000
Basalto	10000	20000

Fuente: ANSI/IEEE STD. 81: 1983, IEEE, “Guía para la medición de la Resistividad, impedancia y potenciales en un sistema de Tierras”.

Realizado por: Grupo de Investigadores.

1.2.3 Resistividad de la capa superficial (ρ_s).

La capa superficial consiste en una capa de material de alta resistividad colocada sobre la zona del mallado que ayuda a limitar la corriente que pasaría por el cuerpo humano en caso de una descarga, ya que esta capa agrega una resistencia a la resistencia promedio del cuerpo humano.

Según las normas IEEE 80-2000, el espesor de esta capa superficial (h_s), debe estar dentro del rango de 0,10 y 0,15 metros, y deberá tener una resistividad (ρ_s), en el orden de 2000 a 5000 $\Omega.m$ y debe estar constituida por materiales de alta resistividad como la grava o la roca volcánica triturada, lo cual incrementará la resistencia de contacto entre el suelo y los pies de las personas en la subestación y la corriente que atravesará el cuerpo será relativamente baja.

La capa superficial también es útil para retardar la evaporación de la humedad y así limitar el secado de las capas superiores del terreno en periodos de sequía. Además hay que considerar esta capa superficial para encontrar la resistencia real o efectiva del pie de una persona en presencia de un material de espesor finito. Para esto determinamos un factor de corrección (C_s) que ayudará a determinar los voltajes tolerables para una persona; mediante la ecuación:

$$C_s = 1 - \frac{0,09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0,09} \quad \text{eq. (2)}$$

Donde:

- C_s : Factor de disminución de la capa superficial.
- ρ : Resistividad del terreno ($\Omega.m$)
- ρ_s : Resistividad de la capa superficial ($\Omega.m$)
- h_s : Espesor de la capa superficial en m.

La norma también define el factor de reflexión entre las resistividades de materiales diferentes como:

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \quad \text{eq. (3)}$$

En la tabla 1.2 se presenta los valores de resistividad para diferentes materiales utilizados como capa superficial.

TABLA 1.2
RESISTIVIDADES PARA DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES

RESISTIVIDAD TIPICA PARA CAPA SUPERFICIAL		
MATERIAL	RESISTIVIDAD ($\Omega.m$).	
	SECO	HUMEDO
Granito triturado de 10 cm aprox.	$2,6 \times 10^6$ a 3×10^6	10000 a 100
Granito triturado de 4 cm aprox.	4000	1200 a 100
Granito triturado de 2 cm aprox.	$1,5 \times 10^6$ a $4,5 \times 10^6$	5000 a 100
Caliza triturada.	7×10^6	3000 a 2000
Asfalto	2×10^6 a 30×10^6	6000000 a 10000
Concreto	1×10^6 a 1×10^9	21 a 100
Ripio	2×10^6	10000

Fuente: Normas IEEE 80-2000. "Typical surface material resistivities".

Realizado por: Grupo de Investigadores.

1.2.3.1 Medida de la resistividad del terreno.

Para medir la resistividad del terreno, existen dos métodos que son los más comúnmente reconocidos, estos son el método de Wenner y el de Schlumberger.⁵ Según los autores, la configuración o distribución de los equipos para realizar las

⁵ [en línea]. [ref. de 16 de agosto 2011]. Disponible en Web: <<http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe70.html#7.1>>.

mediciones de la resistividad por ambos métodos es esencialmente la misma pero con una diferencia al momento de realizar la mediación.

Es importante que la resistividad de un suelo o terreno pueda verificarse en forma tan precisa como sea posible, ya que el valor de resistencia a tierra del sistema es directamente proporcional a la resistividad del suelo. Si se usa un valor incorrecto de resistividad del terreno en la etapa de diseño, la medida de impedancia del sistema de tierra puede resultar significativamente diferente de lo planificado.

Es necesario además realizar estas mediciones bajo los criterios más extremos o condiciones más críticas de la zona, es decir; a la hora de mayor calor y durante los meses de mayor sequía con el fin de que el diseño sea capaz de trabajar de manera óptima bajo estas consideraciones.

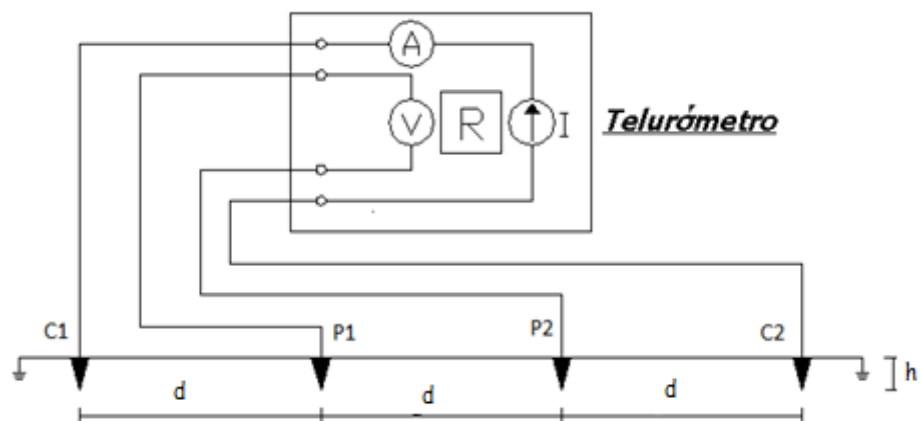
1.2.3.1.1 Método de Wenner.

Con objeto de medir la resistividad del suelo se hace necesario insertar los cuatro electrodos en el suelo. Los cuatro electrodos se colocan en línea recta y a una misma profundidad de penetración, las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, y por el contrario no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra.

El principio básico de este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos C1 y C2 mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos P1 y P2. Estos electrodos están enterrados en línea recta y a igual separación entre ellos. La razón V/I es conocida como la resistencia aparente.

La figura 1,1 muestra la forma de medir la resistividad del suelo mediante un telurómetro mediante el Método de Wenner.

GRÁFICO 1.1
CONFIGURACIÓN DE APARATOS Y ELECTRODOS DE MEDIDA PARA HALLAR LA
RESISTIVIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL MÉTODO WENNER.



Fuente: “Sistemas de puesta a tierra diseñados con IEEE-80 y evaluado con MEF.”

Recopilado por: Grupo de Investigadores.

Los instrumentos para realizar la medición nos proporcionan directamente la lectura en ohmios, en caso contrario se calcula empleando la ley de ohm y aplicando la ecuación simplificada para hallar la resistividad, siendo esta:

$$\rho = 2\pi aR [\Omega * m] \quad \text{eq. (4)}$$

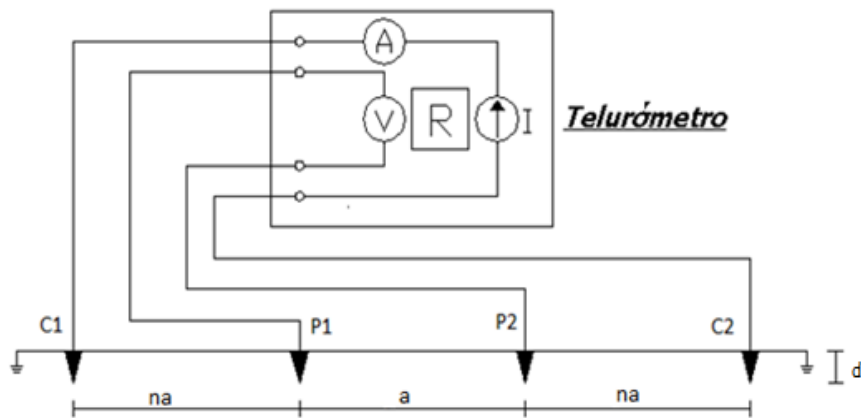
Donde:

- ρ : Resistividad del suelo.
- a: Distancia entre los electrodos adyacentes en metros [m].
- R: Resistencia medida del suelo o relación $\left(\frac{V}{I}\right)$.
- C1, C2 : Electrodos exteriores.
- P1, P2 : Electrodos interiores.
- h: Longitud del electrodo de prueba (m)

1.2.3.1.2 Método de Schlumberger.

El método de Schlumberger es una modificación del método de Wenner, ya que también emplea 4 electrodos, pero en este caso la separación (a) entre los electrodos centrales o de potencial se mantiene constante, y las mediciones se realizan variando la distancia de los electrodos exteriores a partir de los electrodos interiores, a distancia múltiplos (na) de la separación base de los electrodos internos (a). La configuración, así como la expresión de la resistividad correspondiente a este método de medición se presenta en el gráfico 1.2.

GRÁFICO 1.2
CONFIGURACIÓN DE APARATOS Y ELECTRODOS DE MEDIDA PARA HALLAR LA RESISTIVIDAD DEL SUELO MEDIANTE EL MÉTODO SCHLUMBERGER.



Fuente: "Sistemas de puesta a tierra diseñados con IEEE-80 y evaluado con MEF."

Recopilado por: Grupo de Investigadores.

Entonces el valor de la resistividad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = 2\pi R(n + 1) * na \quad \text{eq. (5)}$$

Donde:

ρ : Resistividad del suelo.

na : Distancia entre los electrodos C1 y P1 ó C2 y P2 [m].

R: Resistencia medida del suelo o relación $\left(\frac{V}{I}\right)$.

C1, C2 : Electrodos exteriores.

P1, P2 : Electrodos interiores.

El método de Schlumberger es de gran utilidad cuando se requieren conocer las resistividades de capas más profundas, sin necesidad de realizar muchas mediciones como con el método Wenner. Se utiliza también cuando los aparatos de medición son poco inteligentes. Solamente se recomienda hacer mediciones a 90 grados para que no resulten afectadas las lecturas por estructuras subterráneas.

1.2.3.2 Interpretación de las medidas de resistividad.

El objetivo fundamental de las mediciones es encontrar un modelo de suelo que ofrezca una buena aproximación al suelo real. La resistividad varía literalmente con respecto a la profundidad dependiendo de la estratificación del terreno. Las condiciones climáticas influyen en la resistividad medida, razón por la cual dichas mediciones deben realizarse en las condiciones más desfavorables posibles para obtener la resistividad más alta posible.

Los modelos más comúnmente usados para la resistividad del suelo son:

a) Modelo de suelo homogéneo.

Usado sólo cuando existe una variación moderada de la resistividad aparente. En condiciones de suelo homogéneo, que raramente ocurren en la práctica, el modelo de suelo uniforme puede ser razonablemente exacto. La resistividad aparente del terreno será un promedio aritmético entre la resistividad medida en diferentes puntos del terreno.

$$\rho_{aprom} = \frac{\rho_{a1} + \rho_{a2} + \dots + \rho_{an}}{n} \quad \text{eq. (6)}$$

Donde:

ρ_{aprom} : Resistividad aparente promedio de un suelo considerado homogéneo.

$\rho_{a1} + \rho_{a2} + \dots + \rho_{an}$: Resistividades aparentes medidas a diferentes espaciamientos.

n: Número de mediciones realizadas.

b) Modelo de suelo de dos capas.

Es una representación muy exacta de las condiciones reales del suelo, y consiste en una capa superior de profundidad finita y con resistividad diferente a la de la capa más baja de espesor infinito. El cambio abrupto de la resistividad en las proximidades de cada capa de suelo puede describirse por medio del factor de reflexión K definido como:

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2}$$

Donde:

ρ_1 : Resistividad de la capa superior en $\Omega.m$.

ρ_2 : Resistividad de la capa profunda en $\Omega.m$.

En muchos casos, la representación de un sistema de tierra basado en un modelo equivalente de dos capas es suficiente para realizar en diseño seguro de puesta a tierra.

c) Modelo de suelo multicapa:

Se pueden encontrar condiciones de suelo altamente no uniforme que requieren de modelamiento multicapas, cuando un modelo de suelo de dos capas no es factible, un modelo de suelo multicapas puede incluir varias capas verticales y varias capas horizontales.

1.3 CRITERIOS PARA LAS CONEXIONES A TIERRA.

1.3.1 Normativa para el diseño de Mallas de puesta a tierra.

En la actualidad, se han aceptado y difundido casi de manera homologada para los diseños de sistemas de puesta a tierra las normas del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE). Dichas normas proporcionan los límites de diseño que deben satisfacer en el dimensionamiento de los sistemas de puesta a tierra y conjuntamente con los reglamentos prácticos para esta actividad.

Las normas IEEE, concretamente las normas IEEE 80-2000, generalmente incluyen formulaciones para realizar los cálculos necesarios o una guía detallada sobre aspectos prácticos por ejemplo, cómo conectar partes de un equipo o dónde ubicar los electrodos. Aquí se describen los fundamentos sobre los cuales se basan los límites de diseño, según la práctica habitual empleada en la alimentación de energía industrial o comercial. Hay que notar que hay diferencias en los límites de diseño dependiendo si se trata de las empresas suministradoras o de los consumidores. Por ejemplo, los límites de voltaje de choque eléctrico son menores en el interior de instalaciones eléctricas que en subestaciones de empresas eléctricas.

Se trabajará con estas normas ya que cubren principalmente subestaciones del tipo exterior de Distribución, Transmisión y Plantas Generadoras pues establecen los límites de seguridad en el diseño y proporcionan procedimientos de diseño de los sistemas de puesta a tierra prácticos basados en criterios de seguridad.

Los sistemas de puesta a tierra son diseñados para asegurar que los potenciales durante una falla están bajo los límites apropiados. Cuando ocurre una falla a tierra y la corriente fluye al terreno vía el electrodo de tierra, el potencial del electrodo y de cualquier equipo conectado a él, se elevará sobre el potencial real de tierra. El potencial alcanzado bajo condiciones de falla severa puede ser varios miles de voltios.⁶

⁶ IEEE, Guide for safety in AC Substation Grounding, Edición 80 – 2000, the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. USA, January 2000, p. 15.

Como la corriente de falla a tierra fluye en el terreno que rodea al electrodo, el potencial en el suelo y en su superficie se elevará. Desplazándose lejos del sistema de electrodos, hacia un punto remoto, el potencial se reducirá progresivamente, hasta eventualmente llegar al potencial real de la tierra. Para efectos de diseñar las condiciones óptimas de un nuevo sistema de puesta a tierra, es necesario tomar como base teórica de referencia, normativas y reglamentos actualizados que gocen de credibilidad y rijan procedimientos técnicos aceptados a nivel internacional. Los puntos tomados en cuenta por estas normas al proyectar una instalación de puesta a tierra para una subestación se detallan a continuación.⁷

- Investigación de las características del suelo.
- Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra (I_f a tierra) y el tiempo máximo correspondiente de eliminación del defecto.
- Diseño preliminar de la instalación de tierra.
- Cálculo de la resistencia del sistema de puesta a tierra.
- Cálculo de los voltajes de paso en el exterior de la instalación.
- Cálculo de los voltajes de paso y contacto en el interior de la instalación.
- Comprobar que los voltajes de paso y contacto calculadas son inferiores a los voltajes de paso y contacto admisibles.
- Investigación de los voltajes transferibles al exterior por tuberías, raíles, vallas, conductores de neutro, blindaje de cables, circuitos de señalización y de los puntos especialmente peligrosos, y estudio de formas de eliminación o reducción.
- Corrección y ajuste del diseño inicial estableciendo el definitivo.
- Después de construida la instalación de tierra, se harán las comprobaciones y verificaciones precisas, y se efectuarán los cambios necesarios que permitan alcanzar valores de voltaje aplicada inferiores o iguales a los máximos admitidos.

⁷ AYORA, Paúl, "Curso sobre Instalaciones de puestas a tierra", (Ingeniero Eléctrico), Quito, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, Biblioteca de Ingeniería Eléctrica, 2005, p. 10

1.3.2 Principales normas y reglamentos del diseño de puestas a tierra.

Como se mencionó anteriormente, nuestro trabajo se basará en las normas IEEE 80-2000, por ser; en términos de seguridad, las más aceptadas internacionalmente. Sin embargo existen otras normas locales que no serán relevantes en nuestro proyecto pero que nos aportan con información importante para el desarrollo del mismo. Estas normas son:

- IEEE 80-2000, Guide For Safety in AC Substation Grounding: Norma Americana orientada al diseño de grandes sistemas de puesta a tierra para subestaciones de corriente alterna a altos y extra altos niveles de voltaje.
- ANSI/IEEE Std. 81: 1983, IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Ground System: Norma Americana que proporciona información importante acerca de la resistividad de los suelos, su efecto en los sistemas de puestas a tierra y en los voltajes admisibles para el diseño de dichos sistemas.
- IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems, *Standard 42-1991*: Norma Americana que proporciona información acerca de la importancia de los sistemas de aterrizaje de sistemas eléctricos e instalaciones industriales.
- NOM-022-STPS-1999: Norma Oficial Mexicana, Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad e higiene. La cual proporciona información relevante acerca de la resistividad de los suelos.
- NOM-008-SCFI-1993: Norma Oficial Mexicana Sistema General de Unidades. La cual nos ayudará a interpretar las unidades en las que se encuentran algunos parámetros de diseño y ciertos factores que intervienen en el mismo.

1.4 MALLA DE PUESTA A TIERRA.

En un Sistema de Puesta a Tierra, la malla es el eje central ya que esta determina la resistencia final de todo el sistema. Un correcto diseño de la malla de puesta a tierra es fundamental para asegurarla correcta conducción de la descarga eléctrica producida por una falla interna o externa.

Para ello, debemos asegurarnos que el conjunto del sistema de puesta a tierra tenga una resistencia menor a los valores definidos para cada tipo de Sistema. La tabla 1.3 presenta los valores admisibles de resistencias de puesta a tierra para diferentes componentes de un Sistema Eléctrico.

TABLA 1.3
VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

Estructura	Resistencia a tierra máxima (Ω)
Estructuras de líneas de transmisión.	25
Subestaciones extra alta voltaje (mayores a 115KV).	1
Subestaciones de alta voltaje (de 38 a 115KV).	5
Subestaciones de media voltaje de uso exterior en poste.	10
Subestaciones de media voltaje de uso interior.	10
Protección contra rayos.	4
Equipos de electrodos sensibles.	5
Neutros de acometida de baja voltaje.	25
Descargas electrostáticas.	25

Fuente: "Sistemas de puesta a tierra diseñados con IEEE-80 y evaluado con MEF."

Realizado por: Grupo de Investigadores.

1.4.1 Tipos de Sistemas de puesta a Tierra.

Los sistemas de puesta a tierra se clasifican por su uso y por su voltaje, siendo de manera general:

El sistema de puesta a tierra puede estar dispuesto de tres formas:

a) Sistema radial.

El sistema radial es el más barato pero no el más satisfactorio ya que de producirse una falla en un aparato, se producen grandes gradientes de potencial. Este sistema consiste en uno o varios electrodos a los cuales se conectan las derivaciones a cada aparato.

b) Sistema en anillo.

El sistema en anillo se obtiene colocando en forma de anillo un cable de cobre de suficiente calibre (aproximadamente 1000 MCM) alrededor de la superficie ocupada por los equipos del sistema y conectando derivaciones a cada dispositivo mediante cable más delgado (500 MCM o 4/0 AWG).

Este es un sistema económico y eficiente y en él se eliminan las grandes distancias de descarga a tierra del sistema radial. Los potenciales peligrosos disminuyen al disiparse la corriente de falla por varios caminos en paralelo.

c) Sistema de red o malla.

El sistema en red o malla, es el más usado en la actualidad en nuestro sistema eléctrico y será el motivo de la investigación, consiste como su nombre lo indica en una malla formada por cable de cobre cuyo calibre va entre 2/0 AWG y 5000 MCM⁸, conectados a través de varillas cooperweld a partes más profundas para buscar zonas de menor resistividad. Este sistema es el más eficiente pero a la vez el más caro de los tres tipos de sistemas.

Cuando en un sistema existen más de dos mallas, ambas mallas deben estar muy separadas de modo que no exista inducción de voltajes en caso de posibles descargas.⁹

⁸ IEEE, Guide for safety in AC Substation Grounding, Edición 80 – 2000, the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. USA, January 2000, p. 20.

⁹ ENRIQUEZ Harper Gilberto, "Diseño de Redes de Tierra", Tercera Edición, Editorial LIMUSA, Lima-Perú, 2008, p. 206.

1.4.2 Objetivos de las mallas de puesta a tierra.

Los objetivos fundamentales de una malla de tierra son:

- Evitar voltajes peligrosas entre estructuras, equipos y el terreno durante cortocircuitos a tierra o en condiciones normales de operación.
- Evitar descargas eléctricas peligrosas en las personas, durante condiciones normales de funcionamiento.
- Proporcionar un camino de baja impedancia a tierra para las corrientes inducidas. Este camino debe ser lo más corto posible.
- Protección para el personal operativo, autorizado o no autorizado.
- Protección a los equipos e instalaciones contra voltajes peligrosas.
- Evitar que durante la circulación de falla a tierra, se produzcan diferencias de potencial entre distintos puntos de la instalación, proporcionando para esto, un circuito de muy baja impedancia para la circulación de estas corrientes.

1.4.3 Componentes de las mallas de puesta a tierra.

1.4.3.1 Conductores.

Una malla de tierra típica para una subestación, puede comprender, cable de cobre desnudo de calibre entre 2/0 AWG y 500 MCM, enterrado 0,5 y 1,5 metros debajo de la superficie del piso. En cada unión deben colocarse un conector que asegure

una perfecta conexión eléctrica. La malla generalmente abarca toda el área ocupada por la casa de máquinas y a veces se extiende mucho más.¹⁰

El conductor debe ser de una sección adecuada para la corriente que puede llegar a circular, para que no se produzcan calentamientos ni caídas de voltaje inadmisibles. No puede ser interrumpido con seccionadores, fusibles u otros elementos.

Generalmente para diseño de mallas de puestas a tierra los calibres de conductores utilizados son de cobre desnudo por su conductividad y resistencia; aunque también suelen ser utilizados cables de aluminio, práctica que no es muy recomendado.

La tabla 1.3 presenta los tipos de conductores utilizados en el diseño de mallas de puesta a tierra con sus respectivas propiedades según el material del que están constituidos de derecha a izquierda estas propiedades son: Conductividad del material, coeficiente térmico, inversa del coeficiente térmico, temperatura de fusión, resistividad del material del conductor, capacidad térmica y factor de constante de la temperatura de fusión.

TABLA 1.4
CONSTANTES DE LOS MATERIALES CONDUCTORES.

Descripción	Conductividad del material (%)	Factor α_r a 20°C (1/°c)	Factor K_r a 0°C	Temperatura de fusión Tm (°C)	Factor ρ_r a 20°C ($\mu\Omega.cm$)	TCAP Capacidad Térmica (J/(cm ³ .°C))	Kf
Cobre suave	100	0,00393	234	1083	1,72	3,42	7
Cobre duro cuando se utiliza suelda exotérmica	97	0,00381	242	1084	1,78	3,42	7,06
Alambre de acero recubierto de cobre	40	0,00378	245	1084	4,4	4,4	10,45

¹⁰ AYORA, Paúl, "Curso sobre Instalaciones de puestas a tierra", (Ingeniero Eléctrico), Quito, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, Biblioteca de Ingeniería Eléctrica, 2005, p. 15

Alambre de acero recubierto de cobre	30	0,00378	245	1084	5,86	3,85	12,06
Varilla de acero recubierta de cobre	20	0,00378	245	1084	8,62	3,85	14,64
Aluminio de grado EC	61	0,00403	228	657	2,86	2,56	12,12
Aleación de aluminio 5005	53,5	0,00353	263	652	3,22	2,6	12,41
Aleación de aluminio 6201	52,5	0,00347	268	654	3,28	2,6	12,47
Alambre de acero recubierto de aluminio	20,3	0,00360	258	657	8,48	3,58	17,2
Acero 1020	10,8	0,00316	605	1510	15,9	3,28	15,95
Varilla de acero recubierta de acero inoxidable	9,8	0,00160	605	1400	17,5	4,44	14,72
Varilla de acero con baño de Cinc (Galvanizado)	8,6	0,00320	293	419	20,1	3,93	28,96
Acero inoxidable	2,4	0,00130	749	1400	72	4,03	30,05

Fuente: IEEE 80-2000.

Realizado por: Grupo de investigadores.

Para asegurar un diseño lo más óptimo posible, se tomará en cuenta únicamente los conductores de cobre, ya que estos poseen una conductividad de más del 95 %, que permite un tiempo de despeje de falla más rápido y por la relación cantidad-coste frente a conductores de otro material. Las normas IEEE 80, estiman que el calibre de conductor para el diseño de mallas de puesta a tierra debe enmarcarse dentro del rango entre 2/0 AWG y 500 MCM. La tabla 1.5 presenta los diferentes tipos de conductores de cobre que podrán ser utilizados para el diseño de una malla de puesta a tierra.

TABLA 1.5
CALIBRES DE CABLES Y ALAMBRES DE COBRE

CALIBRE	7 HILOS	19 HILOS	37 HILOS
----------------	----------------	-----------------	-----------------

Kcmil	AWG	DIAMETRO (mm)	DIAMETRO (mm)	DIAMETRO (mm)
		500	-	ND
400	-	ND	ND	18,49
350	-	ND	ND	17,30
300	-	ND	ND	16,00
250	-	ND	ND	14,62
-	4/0	13,26	13,40	ND
-	3/0	11,79	11,95	ND
-	2/0	10,50	10,65	ND
-	1/0	9,36	9,45	ND

*ND: No disponible.

Fuente: Guía de Alambres y Cables de Cobre de CABLEC, Phelps Dodge del Ecuador.

Realizado por: Grupo de Investigadores.

Otra cosa que hay que considerar es el calentamiento de los conductores cuando se produce la falla para evitar la fusión de los mismos.

La tabla 1.6 presenta los calibres mínimos de los conductores para evitar este fenómeno. En caso de que el mallado se construya con conductores de otro material la tabla queda dentro de los límites tolerables.

TABLA 1.6
CALIBRES MÍNIMOS DE CONDUCTORES DE COBRE PARA EVITAR FUSIÓN POR SOBRECALENTAMIENTO.

DURACIÓN DE LA FALLA EN SEGUNDOS	CIRCULAR MILS/AMP		
	CABLE DESNUDO SOLAMENTE	CABLE DESNUDO CON UNIONES SOLDADAS	CABLE DESNUDO CON JUNTAS ATORNILLADAS
30	350 MCM	300 MCM	650 MCM
4	250 MCM	4/0	250 MCM
1	3/0	2/0	3/0
0,5	2/0	1/0	1/0

Fuente: AYORA Paúl, "Curso sobre Instalaciones de puesta a tierra", 2005.

Realizado por: Grupo de Investigadores.

1.4.3.2 Electrodo o Varillas de Puesta a Tierra.

Son las varillas que se clavan en terrenos más o menos blandos y que sirven para encontrar zonas más húmedas, y por lo tanto con menor resistividad eléctrica. Son especialmente importantes en terrenos desprotegidos de vegetación y cuya superficie, al quedar expuesta a los rayos del sol, está completamente seca.

Los electrodos pueden fabricarse con tubos o varillas de hierro galvanizado, o bien con varillas Cooperweld. En el caso del hierro galvanizado se puede usar en terrenos cuya constitución química no ataque a dicho material.

En terrenos cuyas componentes son más corrosivas, se utiliza el cooperweld, que consisten en una varilla de hierro a la cual se añade una capa superficial de cobre. Este cobre está soldado sólidamente y en forma continua a la varilla de hierro. Este material combina las ventajas de alta conductividad del cobre con la alta resistencia mecánica del hierro.

Las varillas de hierro recubiertas con cobre, demostraron tener buena conductividad, excelente resistencia a la corrosión, buena resistencia mecánica para ser clavada en el terreno y se puede conectar a los cables de tierra a través de los conectores. Entre los electrodos más conocidos se tiene:¹¹

a) En forma de estaca (jabalina).

Electrodo de forma cilíndrica, constituido por un alma de acero y un recubrimiento electrolítico de cobre, se hinca verticalmente en el suelo. Es la más comúnmente usada por su facilidad de instalación. La tabla 1.7 presenta los diferentes tipos de electrodos que serán tomados en cuenta para el dimensionamiento de las mallas:

TABLA 1.7

TIPOS DE ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA EN FORMA DE JABALINA

¹¹ IEEE, Guide for safety in AC Substation Grounding, Edición 80 – 2000, the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. USA, January 2000, p. 30.

TIPO DE VARILLA	DIMENSIONES MÍNIMAS			
	LONGITUD (m)	DIAMETRO (pulgadas)	DIAMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)
Cobre Puro	1,8	5/8"	16	201,1
	2,4	3/4"	19	283,5
	3,0	3/4"	19	283,5
Coopperweld	1,8	5/8"	16	201,1
	2,4	3/4"	19	283,5
	3,0	3/4"	19	283,5

Fuente: Sistemas de mallas de tierra diseñados con IEEE 80 y evaluados con MEF.

Realizado por: Grupo de Investigadores.

La longitud de este tipo de electrodos va a ser la más comúnmente usada para sistemas de tierra en Subestaciones; 1,80, 2,40 m.

b) En forma de placa.

Consiste en una placa rectangular o circular, material cobre electrolítico. Recomendable para terrenos donde la profundidad de la tierra vegetal es de 1,2 a 2 metros.

c) En forma de platina.

Es una banda metálica de gran exvoltaje instalada horizontalmente a una profundidad aproximada de 0,50 m. Para terrenos rocosos.

d) Mallada.

Constituida por conductores de cobre enterrados en forma horizontal. Pueden formar una estrella (ramificada), un bucle o una cuadrícula.

1.4.3.3 Electrodo para pararrayos (Mástiles).

Consiste en el conjunto de electrodos que se instalan sobre la parte más elevada de las estructuras de una subestación y que sirven para complementar la red de cables

de guarda que se extiende sobre los copetes de las estructuras de la subestación para protegerla de las posibles descargas directas de los rayos. Dichos electrodos están fabricados con tramos de tubos de hierro galvanizados de unos 40 mm de diámetro y 3 m de largo, atornillados a la estructura de la subestación y cortados en bisel en su parte superior para producir el efecto de punta.

Debido a que las descargas de los rayos son de alta frecuencia se recomienda que las terminales de descarga de la red de hilo de guarda, así como las terminales de descarga de los pararrayos deben tener, como mínimo el mismo calibre del cable de la red de tierra y lo ideal sería utilizar un cable de descarga del mismo calibre de las barras para atenuar el reflejo de ondas que provoca un aumento en la amplitud de la onda de choque.

1.4.3.4 Conectores y accesorios.

Son los elementos que sirven para unir a la red de tierras los electrodos profundos, las estructuras, los neutros de los bancos de transformadores, etc.

Los conectores utilizados en los sistemas de tierra son principalmente de tres tipos.

a) Conectores atornillados.

Estos se fabrican de bronce con alto contenido de cobre, formando dos piezas que se unen por medio de tornillos cuyo material está formado por bronce al silicio que les da alta resistencia mecánica y a la corrosión.

La utilización del bronce que es un material no magnético, proporciona una conducción segura para las descargas atmosféricas que son de alta frecuencia.

b) Conectores a presión.

Son más económicos que los atornillados y dan mayor garantía de buen contacto. Sin embargo estos conectores requieren mantenimiento constante debido a que las juntas pueden degradarse por acción de agentes ambientales.

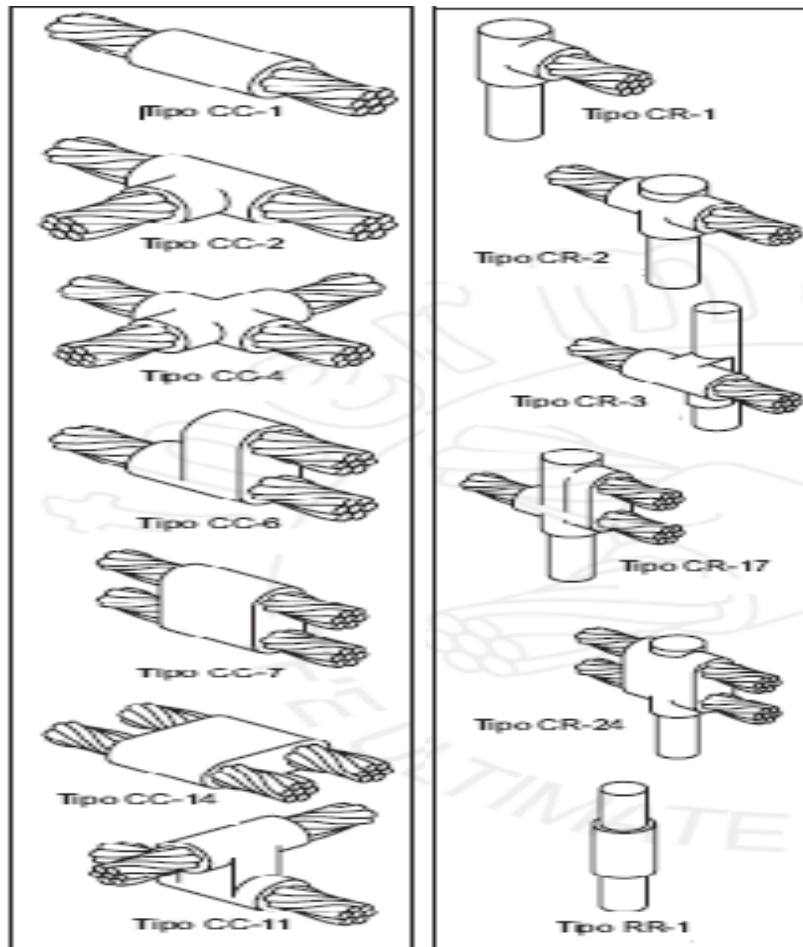
c) Conectores soldados.

Los conectores soldados o cadweld, son los más económicos y seguros por lo que se usan con mucha frecuencia. Los conectores para sistemas de tierra difieren de los usados en barras colectoras, en que se fabrican para unir los electrodos de tierra al cable; de la malla de tierra al cable de las estructuras, etc.

Todos los tipos de conectores deben poder soportar la corriente de la red de tierra en forma continua.

La gráfica de la 1.3 presenta algunos de los conectores que se utilizan para la construcción de una malla de puesta a tierra.

**GRÁFICO 1.3
CONECTORES CABLE-CABLE Y CABLE-VARILLA PARA SOLDADURAS
CADWELD.**



Fuente: Catálogo de Conexiones Eléctricas THERMOWELD.

Recopilado por: Grupo de Investigadores.

1.4.4 Factores considerados en el diseño.

Para la construcción de un sistema de una malla de puesta a tierra se tomarán en cuenta los siguientes factores.

1.4.4.1 Características del terreno.

Para determinar las características del suelo, normalmente se obtienen presentas hasta una profundidad razonable que pueda permitir juzgar de la homogeneidad y condiciones de humedad o nivel de aguas freáticas. Para determinar la resistividad

eléctrica es conveniente hacer mediciones con métodos y aparatos aceptados para esos fines.

Las mediciones deben incluir datos sobre temperatura y condiciones de humedad en el momento de efectuarlas, tipo de terreno, profundidad de la medición y concentraciones de sales en el suelo.

1.4.4.1.1 Resistividad del terreno.

Se debe realizar mediciones de la resistividad del suelo de acuerdo al estándar ANSI/IEEE 81-1983, el cual recomienda “Dividir el terreno en 25 partes iguales, obtener mediciones de la resistividad del suelo en cada una en dos capas (o dos niveles de profundidad)”¹².

Las medidas de la resistividad del suelo, determinarán la resistividad promedio del suelo y el tipo de suelo, es decir, si es un suelo uniforme o se debe considerar de dos capas.

1.4.4.1.2 Evaluación de la resistencia de tierra.

Un aterrizamiento ideal debe proporcionar una resistencia cercana a cero hacia tierra. En la práctica, la evaluación del potencial de tierra en la subestación se incrementa proporcionalmente con la corriente de falla; para altas corrientes el más bajo valor de la resistencia total del sistema debe ser obtenido. Para subestaciones de transmisión y otras subestaciones grandes, la resistencia de tierras deberá ser cercana a 1 Ω o menos. En pequeñas subestaciones de distribución, el rango usualmente aceptable es de 1 a 5 Ω , dependiendo de las condiciones del local.

¹² ANSI/IEEE STD. 81: 1983, IEEE, “Guía para la medición de la Resistividad, impedancia y potenciales en un sistema de Tierras” the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. USA, April 1983 , p. 40.

La estimación de la resistencia total a tierra, es uno de los primeros pasos en la determinación de la medida y la disposición básica de un sistema de tierras. Afortunadamente, la resistencia de la subestación depende en primera instancia del área que va ser ocupada por el sistema de tierra, la cual es conocida.

Hasta ahora, como una primera aproximación, el mínimo valor de la resistencia de tierra de la subestación en un suelo uniforme (misma resistividad) y para mallas enterradas con una profundidad entre 0.25 y 2.5 m se requiere la siguiente ecuación formulada por Sverak:

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 * A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \quad \text{eq. (7)}$$

Dónde:

h: Profundidad del enterramiento de la malla de tierra, metros.

R_g: Resistencia a tierra de la subestación en Ω.

ρ: Resistividad del terreno en ohmios por metro (Ω.m)

L: Longitud total de conductores enterrados en metros.

Para mallas sin varillas de tierra, esta fórmula se acerca a los resultados reales. Pero para mallas que utilizan varillas, se utilizarán las ecuaciones formuladas por Schwarz que toman en consideración la resistencia mutua entre los conductores de la malla y las varilla de tierra. Las ecuaciones son.

Para un suelo homogéneo:

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m} \quad \text{eq. (8)}$$

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[\ln \left(\frac{2L_c}{\sqrt{d_c \cdot h}} \right) + \frac{K_1 L_c}{\sqrt{A}} - K_2 \right] \quad \text{eq. (9)}$$

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi L_R n_r} \left[\ln \left(\frac{8L_R}{d_r} \right) - 1 + \frac{2K_1 L_r}{\sqrt{A}} (\sqrt{n_r} - 1)^2 \right] \quad \text{eq.}$$

$$R_m = \frac{\rho}{\pi L_C} \left[\ln \left(\frac{2L_C}{L_r} \right) + \frac{K_1 L_C}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right] \quad \text{eq.}$$

$$K_1 = -0,05 \frac{L_X}{L_Y} + 1,2 \quad \text{eq.}$$

$$K_2 = 0,1 \frac{L_X}{L_Y} + 4,68 \quad \text{eq.}$$

Para un suelo de dos capas:

$$Rg = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

$$\rho_a = \frac{L_r \rho_1 \rho_2}{\rho_2 (H - h) + \rho_1 (L_r + h - H)} \quad \text{eq.}$$

$$R_1 = \frac{\rho_a}{\pi L_C} \left[\ln \left(\frac{2L_C}{\sqrt{d_c h}} \right) - \frac{K_1 L_C}{\sqrt{A}} - K_2 \right] \quad \text{eq.}$$

$$R_2 = \frac{\rho_a}{2\pi L_r n_r} \left[\ln \left(\frac{8L_r}{d_r} \right) - 1 + \frac{2K_1 L_r}{\sqrt{A}} (\sqrt{n_r} - 1)^2 \right] \quad \text{eq.}$$

$$R_m = \frac{\rho_a}{\pi L_C} \left[\ln \left(\frac{2L_C}{L_r} \right) + \frac{K_1 L_C}{\sqrt{A}} - K_2 + 1 \right] \quad \text{eq.}$$

Donde:

Rg: Resistencia final de la malla.

- L_c : Longitud total de los conductores enterrados en m.
- ρ : Resistividad del Terreno en $\Omega \cdot m$
- A : Área ocupada por la malla de tierra en m^2 .
- h : Profundidad del enterramiento de la malla en m.
- R_1 : Resistencia de los conductores de la malla en Ω .
- R_2 : Resistencia de todas las varillas de tierra en Ω .
- R_m : Resistencia mutua entre el grupo de conductores de la malla y el grupo de varillas de tierra en Ω .
- H : Espesor de la capa superior en m.
- d_c : Diámetro del conductor de la malla en m.
- $L_x L_y$: Largo y ancho de la malla en m.
- n_r : Número de varillas de tierra.
- L_r : Longitud de cada varilla en m.
- d_r : Diámetro de cada varilla en m.

1.4.4.1.3 Métodos para la reducción de la resistencia a Tierra.

Si la resistencia final de la malla de tierra (R_g), es demasiado alta, se puede realizar las siguientes acciones para tratar de reducir su valor.

- Aumento del número de conductores en paralelo.

El colocar varios conductores en paralelo es una manera muy efectiva de bajar la resistencia. Pero, los electrodos enterrados no deben ser colocados muy cerca uno de otro, porque cada electrodo afecta la impedancia del circuito, por los efectos mutuos.

Por eso es recomendable que la separación entre los electrodos de puesta a tierra debe ser por lo menos el doble de la longitud del electrodo utilizado.

- Aumento del diámetro del electrodo o del conductor: La resistencia de un electrodo o de un conductor de sección circular se reduce al incrementarse

su diámetro, sin embargo tiene un límite en el que ya no es recomendable aumentarlo debido a que el valor de la resistencia del terreno permanece prácticamente constante.

- Aumento de la longitud de profundidad del electrodo: Aumentando la longitud de penetración del electrodo en el terreno es posible alcanzar capas más profundas, en el que se puede obtener una resistividad muy baja si el terreno presentará un mayor porcentaje de humedad o al contrario una resistividad muy alta si el terreno fuera rocoso y pedregoso, que las presentadas en las capas superficiales. Con frecuencia, es imposible obtener la reducción deseada de resistencia de tierra agregando más conductores o más varillas de tierra a la malla.¹³

Una solución alternativa es incrementar de manera efectiva el diámetro de los electrodos o de los conductores, pero una alternativa más económica es el empleo de agentes que modifiquen el suelo alrededor del electrodo. Los métodos más conocidos son los siguientes:

- El uso de bentonita, una arcilla natural que se formó por acción volcánica hace mucho tiempo, y es un elemento no corrosivo, estable y tiene una resistividad de 2.5 Ω -m al 300% de humedad.
- El uso de sales como cloruro de sodio, magnesio y sulfatos de cobre, o cloruro de calcio, para incrementar la conductividad del suelo alrededor del electrodo. Pero estas sales emigran a otras áreas.
- El uso de electrodos de tipo químico que constan de un tubo de cobre relleno de una sal. Los agujeros en el tubo permiten la entrada de humedad, disolver las sales y permitir que la solución de sal se filtre en la tierra.

¹³ IEEE, Guide for safety in AC Substation Grounding, Edición 80 – 2000, the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. USA, January 2000, p. 42.

- Reemplazo del suelo, por otro de baja resistividad colocados alrededor de las varillas y de los conductores en la zanja.
- Electrodo revestidos de concreto, donde el concreto por ser un material higroscópico y que atrae la humedad, al ser enterrado en el suelo se comporta como un semiconductor mediano con resistividades de 30 a 90 Ω -m, pero facilita la corrosión.

1.4.5 Corrientes de cortocircuito o falla a tierra.

Para determinar el valor correcto de la corriente de falla a tierra, utilizada en los cálculos de diseño se necesita:

- Determinar el tipo de falla posible a tierra que produzca el máximo flujo de corriente entre la malla del sistema de tierras y la tierra adyacente, y por lo tanto su mayor elevación de potencial y los mayores gradientes locales en el área de la subestación.
- Determinar por cómputo o por analizadores el máximo valor efectivo de la corriente simétrica de falla a tierra I entre la malla de tierra y la tierra circundante en el instante de iniciarse la falla.

1.4.5.1 Tipos de fallas a tierra.

Por razones prácticas se recomienda hallar la corriente para dos tipos de fallas:

- a) **Falla línea-línea-tierra**, ignorando la resistencia de la falla y la resistencia de puesta a tierra de la Subestación.

Para esto aplicamos la ecuación:

$$(I_F)_{L-L-T} = 3I_o = \frac{3 \cdot E \cdot Z_2}{Z_1 \cdot (Z_0 + Z_2) + Z_2 \cdot Z_0} \quad \text{eq.}$$

- b) **Falla línea-tierra**, ignorando la resistencia de la falla y la resistencia de puesta a tierra de la Subestación.

Para esto aplicamos la ecuación:

$$(I_F)_{L-T} = 3I_0 = \frac{3 \cdot E}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad \text{eq.}$$

Donde:

- I_0 : Valor RMS de secuencia cero de la corriente simétrica de falla en A.
- E: Voltaje Fase-Neutro RMS en V.
- Z_0 : Impedancia equivalente de secuencia (0) del sistema en el punto de falla.
- Z_1 : Impedancia equivalente de secuencia (+) del sistema en el punto de falla.
- Z_2 : Impedancia equivalente de secuencia (-) del sistema en el punto de falla.

Para cualquiera de los tipos de falla mencionados, se debe hacer primero un diagrama equivalente que represente la situación real de los circuitos. El diagrama deberá incluir todo hilo aéreo neutro que esté conectado al sistema de tierras o a los neutros de los transformadores.

Mediante un buen estudio de cortocircuito, se deben calcular las corrientes de falla a tierra de mayor magnitud en todos los buses de la subestación bajo análisis, en condiciones de operación actual y a futuro considerando la estructura de la red a un periodo de 10 años.

Para una buena optimización de la red de tierras se deben considerar los efectos de los hilos de guarda y del hilo del neutro en cables de energía en la distribución de la corriente de falla a tierra, esto es, determinar la cantidad de corriente que va a circular realmente a través de la red de tierras para reducir la cantidad de cable de cobre necesario para satisfacer los requerimientos de seguridad.

1.4.5.2 Factores de corrección considerados en el cálculo de las corrientes de cortocircuito.

Estos factores se usan para la determinación de la corriente de falla a tierra que se considera para el cálculo del sistema de tierra. Los factores de corrección se usan en los siguientes casos.

Cuando sea necesario tomar en cuenta el efecto del desplazamiento de la onda de corriente por corriente continua y los decrementos en los componentes transitorias de corriente directa y alterna de la corriente de falla.

Cuando sea pertinente tomar en cuenta los aumentos de las corrientes de falla a tierra debidos al crecimiento del sistema eléctrico.

1.4.5.2.1 Factor de decremento (Df).

Este factor se produce por el desplazamiento de la componente de corriente directa y por la atenuación de las componentes transitorias de corriente alterna y directa de la corriente de falla.

Debido a que los cortocircuitos suceden en forma aleatoria con respecto a la onda de voltaje y, como el contacto puede existir en el momento en que se inicia la falla, se hace necesario suponer una onda de corriente de falla a tierra asimétrica desplazada 100% durante el tiempo de choque eléctrico.

Como las experiencias para fijar el umbral de fibrilación están basadas en corrientes senoidales simétricas de amplitud constante, es necesario determinar la magnitud efectiva I de una corriente senoidal equivalente a la onda de fallas asimétricas.

Es por esto que en el diseño de la malla de puesta a tierra se debe considerar la corriente asimétrica de falla, la cual resulta de multiplicar la corriente simétrica de falla por el factor de decremento, que a su vez está dado por la ecuación:

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} \left(1 - e^{-\frac{2t_f}{T_a}}\right)} \quad \text{eq.}$$

$$T_a = \frac{X}{\omega R} = \frac{X}{R} * \frac{1}{2\pi f} \quad \text{eq.}$$

Donde:

D_f : Factor de decremento.

t_f : Tiempo de duración de la falla en s.

T_a : Constante de tiempo de la componente de corriente directa.

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

f: Frecuencia del sistema (60Hz)

La tabla 1.8 presenta algunos valores de este factor de decremento para tiempos de falla menores a un segundo y con diferentes relaciones X/R a una frecuencia nominal de 60 Hz.

TABLA 1.8
FACTORES DE CORRECCIÓN PARA CORRIENTES DE FALLA.

DURACION DEL SHOCK Y LA FALLA t		FACTORES DE DECREMENTO Df			
SEGUNDOS	CICLOS (60 Hz, C.A.)	X/R=10	X/R=20	X/R=30	X/R=40
0,00833	0,5	1,576	1,648	1,675	1,688
0,05	3	1,232	1,378	1,400	1,515
0,10	6	1,125	1,232	1,316	1,378
0,20	12	1,064	1,125	1,181	1,232
0,30	18	1,043	1,085	1,125	1,163
0,40	24	1,033	1,064	1,095	1,125
0,50	30	1,026	1,052	1,077	1,101

0,75	45	1,018	1,035	1,052	1,068
1,00	60	1,013	1,026	1,039	1,052

Fuente: NORMAS IEEE 80-2000.

Realizado por: Grupo de Investigadores.

Por lo general para el diseño se utilizan los factores de la relación $X/R=10$, debido a la relación de transformación del transformador.

1.4.5.2 Factor de seguridad por crecimiento de la Subestación C_p .

Resulta prudente tomar un margen adecuado para estimar los aumentos futuros de las corrientes de falla por aumento de la capacidad del sistema eléctrico o por interconexiones posteriores, pues las modificaciones posteriores de tierra resultan costosas y generalmente se omiten dando motivo a introducir inseguridad en el sistema. Si la malla se construye teniendo en cuenta la capacidad total de la subestación y no se considera aumentos futuros de carga ni de alimentadores $C_p = 1$, caso contrario este efecto puede tomarse en cuenta disminuyendo la impedancia del sistema o aplicando un factor de seguridad al valor calculado de la corriente de falla, por lo general se toma un 25% más del valor de la corriente calculada.

1.4.5.2.3 Factor de División de Corriente S_f .

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. El S_f depende de:

- Localización de la falla.
- Magnitud de la resistencia de la malla de puesta a tierra de la subestación.

- Cables y tubos enterrados en las vecindades de la subestación o directamente conectados al sistema de puesta a tierra.
- Cables de guarda, neutros u otras trayectorias de retorno por tierra.
- 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.

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 1.9, en la cual presenta las impedancias equivalentes de cables de guarda de líneas de transmisión y de neutros de alimentadores de distribución, para una contribución remota del 100% con X líneas de transmisión y Y alimentadores de distribución.

La primera columna presenta las impedancias equivalentes para resistencias de electrodos de puesta a tierra de líneas de transmisión R_{tg} de 15Ω y resistencias de electrodos de puesta a tierra de alimentadores de distribución R_{dg} de 25Ω .

La segunda columna de impedancias equivalentes corresponde a $R_{tg} = 100\Omega$ y $R_{dg} = 200\Omega$. Y el factor de división de corriente S_f calculado mediante la ecuación 22:

$$(S_f)_{X/Y} = \left| \frac{(Z_{eq})_{X/Y}}{(Z_{eq})_{X/Y} + R_g} \right| \quad \text{eq.}$$

Donde:

R_g : Resistencia máxima del sistema de puesta a tierra.

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

TABLA 1.9
FACTOR DE DIVISIÓN DE CORRIENTE PARA DIFERENTES CONFIGURACIONES
DEL SISTEMA

IMPEDANCIAS EQUIVALENTES APROXIMADAS DE LINEAS DE TRANSMISION								
Número de líneas de transmisión	Número de neutros de distribución	Zeq (Rtg=15 Rdg=25)		Rg	Sf	Zeq (Rtg=15 Rdg=25)		Sf
		R	jX			Ω	R	
1	1	0,91	j0,485	1	0,476	3,27	0,652	0,766
1	2	0,54	j0,33	1	0,351	2,18	0,412	0,686
1	4	0,295	j0,20	1	0,228	1,32	0,244	0,569
1	8	0,15	j0,11	1	0,130	0,732	0,133	0,423
1	12	0,1	j0,076	1	0,091	0,507	0,091	0,336
1	16	0,079	j0,057	1	0,073	0,387	0,069	0,279
2	1	0,685	j0,302	1	0,407	2,18	0,442	0,686
2	2	0,445	j0,241	1	0,308	1,63	0,324	0,620
2	4	0,27	j0,165	1	0,213	1,09	0,208	0,522
2	8	0,15	j0,10	1	0,130	0,087	0,122	0,080
2	12	0,1	j0,07	1	0,091	0,47	0,087	0,320
2	16	0,08	j0,055	1	0,074	0,366	0,067	0,268
4	1	0,45	0,16	1	0,310	1,3	0,273	0,565
4	2	0,34	0,15	1	0,254	1,09	0,22	0,522
4	4	0,23	0,12	1	0,187	0,817	0,16	0,450
4	8	0,134	0,083	1	0,118	0,546	0,103	0,353
4	12	0,095	0,061	1	0,087	0,41	0,077	0,291
4	16	0,073	0,05	1	0,068	0,329	0,06	0,248
8	1	0,27	0,08	1	0,213	0,72	0,152	0,419
8	2	0,23	0,08	1	0,187	0,65	0,134	0,394

Fuente: Normas IEEE 80-2000.

Realizado por: Grupo de investigadores.

La Corriente de diseño (IG), deberá considerar el factor de decremento (D_f), el factor de crecimiento de la subestación (C_p) y el factor de división de corriente (S_f), ya que de ocurrir una falla, se origina una corriente transitoria decreciente que debe considerarse en su aspecto más desfavorable para la seguridad, esto es, la corriente de diseño corresponde al valor máximo obtenido en la ecuación:

$$IG = I_F * D_f * S_f * C_p \quad \text{eq.}$$

La IG se determina para prevenir diseños demasiados densos de sistemas de tierras, únicamente aquí la porción de la corriente total de la falla 3Io que fluye a

través de la red hacia tierra (y contribuye a los voltajes de paso y de contacto y a la elevación del potencial de tierra GPR) debe ser usada en el diseño de la red.

La IG debe reflejar la peor falla el factor de decremento y alguna futura expansión del sistema.

Donde:

I_G : Corriente de diseño.

D_f : Factor de decremento.

C_p : Factor correctivo de proyección correspondiente para el incremento relativo de la corriente de falla durante el periodo de vida de la subestación. Para un crecimiento futuro de cero, $C_p = 1.0$, caso contrario se aplica un criterio del 25%.

I_F : Valor rms simétrica de la falla a tierra en amperios.

S_f : Factor de división de corriente relativa a la magnitud de la corriente de falla y la porción que fluye entre la red de tierra y la tierra circundante.

1.5 DISEÑO DE SISTEMAS DE TIERRA PARA SUBESTACIONES ELECTRICAS DE ACUERDO A LA NORMA DEL INSTITUTO DE INGENIEROS EN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA (IEEE Std 80-2000).

Estos cálculos cubren principalmente subestaciones tipo exterior, con aislamientos convencionales o en gas, incluyendo subestaciones de Distribución, Transmisión y Plantas Generadoras. Con la debida precaución, estas normas pueden emplearse en el cálculo de los sistemas de tierras a algunas partes interiores de tales subestaciones y a subestaciones totalmente interiores. Además buscan brindar una guía que permita:

- Establecer, como base de diseño, los límites seguros de diferencias de potencial que puedan existir en una subestación bajo condiciones de falla entre puntos que puedan ser contactados por el cuerpo humano.
- Proporcionar un procedimiento para el diseño de sistemas de tierra prácticos, basados en críticas de seguridad.

En principio, un diseño de tierra seguro tiene dos objetivos:

- Proporcionar los medios para transportar las corrientes eléctricas hacia la tierra, bajo condiciones normales y de falla, sin exceder algún límite de operación o de equipo o afectar adversamente la continuidad del servicio.
- Asegurar que una persona dentro del área aterrizada no esté expuesta al peligro de descargas (o choques) eléctricos críticos.

Bajo este criterio la norma aborda cálculos de parámetros críticos como son:

- Máxima corriente de malla.
- Tiempo de despeje de falla.
- Resistividad del suelo.
- Resistividad de la capa superficial.
- Geometría de la malla.

1.5.1 Procedimiento de Diseño.

De acuerdo con las normas IEEE 80-2000, se desarrollará cada uno de los cálculos para el dimensionamiento de las mallas de puesta a tierra. Este método está encaminado a dar una solución práctica al diseño y establecer límites seguros de diferenciales de potencial que pueden existir en una subestación, bajo condiciones de falla entre puntos que pueden ser tocados por algún ser humano. Sin embargo una vez construido el sistema deberá ser verificado para brindar mayor seguridad.

Los pasos a ejecutar durante el diseño de mallas de puestas a tierra para una subestación son los siguientes:

Paso 1: El mapa adecuado y plano de la localización general de la subestación proporciona un buen estimativo del área para la malla. Las medidas de resistividad determinan la curva de resistividad y los datos para modelar el terreno (suelo uniforme o suelo de dos capas), logrando definir el área (A), y la resistividad aparente del suelo (ρ).

Paso 2: Determinar el tamaño del conductor de la malla (A_{MCM}). La corriente de falla ($3I_0$), debe ser la máxima esperada en el futuro y que será conducida por cualquier conductor en el sistema de puesta a tierra, y el tiempo de duración de la falla t_c debe reflejar el tiempo de despeje máximo posible (incluyendo el respaldo).

Paso 3: Determinar los voltajes tolerables de toque y de paso (E_t, E_p), para personas con peso corporal de 50 kg y 70 Kg. La selección de tiempo t_s está basada en el juicio del ingeniero diseñador.

Paso 4: El diseño preliminar debe incluir un anillo conductor que abarque toda el área de la puesta a tierra, más los conductores adecuados de cruce, con el fin de proporcionar el acceso conveniente de las bajantes a tierra de los equipos, etc. Los estimativos iniciales del espaciamiento de conductores (D), y la localización de las varillas de tierra deben estar basados en la corriente de diseño (IG) y el área (A) que está siendo aterrizada. Además se encontrará los parámetros referentes a la longitud del conductor de la malla (L_c), la longitud total de conductores de la malla incluidas las varillas (L_v), la profundidad de enterramiento de la malla (h), la longitud total de las varillas (L_R), y el número de varillas a utilizar en el diseño (n).

Paso 5: Se calcula la resistencia de puesta a tierra (R_g), preliminar del sistema en suelo uniforme. Para el diseño final deben hacerse cálculos más exactos, considerando las varillas de tierra si es el caso.

Paso 6: Se determina la corriente (IG) a disipar por la malla para evitar un sobredimensionamiento de la malla de puesta a tierra, considerando sólo esa porción de la corriente total de falla $3I_0$ que fluye a través de la malla hacia una tierra remota. La corriente IG debe reflejar el peor tipo de falla y localización, el tiempo de falla (t_f), el factor de decremento (D_f), el factor de división de Corriente (S_f) y cualquier expansión futura de la subestación (C_p).

Paso 7: Si la elevación del potencial de tierra (GPR) del diseño preliminar es menor que la voltaje tolerable de toque, no es necesario realizar más cálculos. Sólo se requerirá conductor adicional para proporcionar acceso a las bajantes de los equipos. ($GPR < E_t/50$).

Paso 8: Si no se cumple la condición anterior, se calcula la voltaje de malla (E_m) y la voltaje de paso para la malla con suelo uniforme (E_s). Para esto se deberá hallar diversos factores que influyen en la corrección del diseño. Estos factores son:

- Factor de espaciamento para el voltaje de malla (K_m).
- Factor de espaciamento para el voltaje de paso (K_s).
- Factor de irregularidad de la malla (K_i).
- Factor de corrección de efectos de la profundidad de la malla (K_n).
- Factor de corrección de efectos de peso de los conductores internos en las esquinas de la malla (K_{ii}).

Paso 9: Si el voltaje de malla calculado (E_m) es menor que la voltaje tolerable de toque (E_t), se requiere completar el diseño. Si la voltaje de malla calculada es mayor que la voltaje tolerable de toque, el diseño debe ser modificado.

Paso 10: Si ambas voltajes calculadas de toque (E_t) y de paso (E_p) son menores que los voltajes tolerables ($E_{paso\ tolerable}$) y ($E_{contacto\ tolerable}$), el diseño sólo necesita los refinamientos requeridos para proporcionar acceso a las bajantes de los equipos. Entonces ($E_s < E_p$). Caso contrario el diseño preliminar debe ser modificado

Paso 11: Si se exceden los voltajes tolerables de toque y de paso, es necesaria la revisión del diseño de la malla. Estas revisiones pueden incluir espaciamientos de conductores más pequeños, varillas adicionales de tierra, etc.

Paso 12: Después de satisfacer los requerimientos de voltajes de paso y de toque, se pueden requerir varillas de tierra y malla adicional. Los conductores adicionales de malla se requieren si su diseño no incluye conductores cerca de los equipos a ser puestos a tierra. Se pueden requerir varillas adicionales en la base de los pararrayos, neutros de transformadores, etc. El diseño final también será revisado para eliminar peligros debido a potenciales transferidos y peligros asociados con áreas de interés especial.

1.5.1.1 Plano de la subestación.

El plano de la subestación deberá mostrar el área que será ocupada por la red de tierras. Asimismo, debe incluir la distribución física de los equipos eléctricos de potencia con acotaciones a escala, considerando el proyecto completo (inmediato y las ampliaciones a futuro).

1.5.1.2 Selección final del calibre del conductor.

Cada uno de los elementos del sistema de tierra, incluyendo los conductores de la propia malla, las conexiones y los electrodos, deberá diseñarse de tal manera que:

Las uniones eléctricas no se fundan o deterioren en las condiciones más desfavorables de magnitud y duración de la corriente de falla a que en expuestas.

Los elementos sean mecánicamente resistentes en alto grado, especialmente en aquellos lugares en que quedan expuestos a un daño físico.

Tengan suficiente conductividad para que no contribuyan apreciablemente a producir diferencias de potencial locales.

El conductor y la unión pueden ser seleccionado en función a la corriente que circulará por los mismos evitando la fusión en caso de falla tomando en cuenta las características del material de los conductores definidos en la TABLA 1,3 y mediante la ecuación:

$$A_{MCM} = \frac{197,4 * I_F}{\sqrt{\left(\frac{TCAP}{t_c * \alpha_r * \rho_r}\right) * \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}} \quad \text{eq.}$$

$$A_{mm^2} = \frac{I_F}{\sqrt{\left(\frac{TCAP * 10^{-4}}{t_c * \alpha_r * \rho_r}\right) * \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}}$$

Donde:

A_{MCM} : Área del conductor en cmils.

A_{mm^2} : Área del conductor en milímetros cuadrados.

I_F : Corriente asimétrica de falla RMS en KA, se usa la más elevada encontrada.

T_m : Máxima temperatura soportada por el conductor en °C.

T_a : Temperatura ambiente en °C.

T_r : Constante de temperatura referencial del material en °C.

α_r : Coeficiente de resistividad térmico a temperatura de referencial T_r en $1/^\circ\text{C}$.

α_0 : Coeficiente de resistividad térmica a 0°C en $1/^\circ\text{C}$.

ρ_r : Resistividad del conductor a temperatura referencial T_r en $\mu\Omega\text{-cm}$.

K_0 : $\frac{1}{\alpha_0} - T_r$ ó $\frac{1}{\alpha_r} - T_r$ in °C.

t_c : Duración de la corriente de falla en s.

TCAP: Capacidad térmica por unidad de volumen en J/cm³ °C.

Ó a su vez se podrá utilizar la fórmula simplificada:

$$A_{MCM} = I_F * K_f * \sqrt{t_c}$$

Donde:

K_f: Constante para el material dado en la Tabla 1,3, usando una *T_a*=40 °C.

El criterio para utilizar la fórmula simplificada es la conductividad.¹⁴

El tamaño del conductor realmente seleccionado es usualmente más grande que el que se basa en la fusión, debido a factores como:

- El conductor debe resistir los esfuerzos mecánicos esperados y la corrosión durante la vida útil de la instalación.
- El conductor debe tener alta conductancia para prevenir caídas de voltaje peligrosas durante una falla.
- La necesidad de limitar la temperatura del conductor.
- Debe aplicarse un factor de seguridad a la instalación de puesta a tierra y a los demás componentes eléctricos.
- Se acostumbra entonces emplear como calibre mínimo el N° 2/0 AWG de cobre de 7 hilos o más, con el fin de mejorar la rigidez mecánica de la malla y soportar la corrosión.

Para cumplir diversas consideraciones de las mallas de puestas a tierra en las protecciones de equipos y personas que operan en las subestaciones son:

- El mal funcionamiento de los relevadores y errores humanos pueden resultar en excesivos tiempos de libramientos de falla. Para subestaciones

¹⁴ IEEE, Guide for safety in AC Substation Grounding, Edición 80 – 2000, the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. USA, January 2000, p. 48.

pequeñas, este puede ser aproximadamente de 3 segundos o más, y para las grandes subestaciones que cuenten con esquemas de protección complejos o redundantes, la falla generalmente es librada en 1 segundo o menos.

- El último valor de corriente usado para determinar el calibre del conductor deberá tomar en consideración el posible crecimiento a futuro, esto es menos costoso para incluir un adecuado margen en el calibre del conductor durante el diseño inicial, que tratar de incrementar el número de varillas de tierra después de un tiempo.

1.5.1.3 Cálculo de los potenciales seguros de la malla de puesta a tierra.

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.¹⁵ Como paso previo para determinar la longitud adecuada del conductor que forma la malla, se hace uso de la ecuación que limite los voltajes de contacto y de paso en base a la corriente máxima que puede tolerar el cuerpo humano y para 50 y 70 Kg.

Para calcular los potenciales de paso y toque a fin de tener un mayor índice de seguridad a las personas. Utilizamos las ecuaciones:

$$E_{paso} = (R_B + 2R_f) * I_B \quad \text{eq.}$$

$$E_{toque} = \left(R_B + \frac{R_f}{2} \right) * I_B \quad \text{eq.}$$

Donde:

$$I_B = \frac{0,116}{\sqrt{T_s}}$$

$$R_f = 3C_s \rho_s$$

¹⁵ RAMIREZ, José, Sistemas de tierra diseñados con IEEE 80 y evaluados con MEF, Primera Edición, Colombia, 2010, p. 36-41 .

Estas ecuaciones (eq. 25 y eq. 26), son aplicadas mediante un criterio del peso aproximado de las personas quedando de la siguiente manera:

$$E_{paso50Kg} = (1000 + 6 C_s \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{paso70Kg} = (1000 + 6 C_s \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{contacto50Kg} = (1000 + 1.5 C_s \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$$

$$E_{contacto70Kg} = (1000 + 1.5 C_s \rho_s) \frac{0.157}{\sqrt{t_s}}$$

Donde:

E_{paso}: Límite de voltaje de paso.

E_{contacto}: Límite de voltaje de toque o contacto.

R_B: Resistencia del cuerpo humano (aproximadamente 1000Ω).

ρ_s: Resistividad de material de la capa superficial en Ω-m.

t_s: Duración de la corriente de falla en segundos.

C_s: Factor de reducción por degradación del valor nominal de la resistividad de la capa superficial.

R_f: Resistencia de los pies de la persona sobre la capa superficial separados a 1 m.

Si no hay capa superficial protectora los valores de *C_s* = 1 y *ρ_s* = 1

El contacto entre metal a metal, con ambas manos ó mano a pie, resultara en *ρ_s* = 0. Entonces la resistencia total del circuito accidental es equivalente a la resistencia del cuerpo, *R_B*.

Con la sustitución del $\rho_s = 0$ en la resistencia del pie el límite de voltaje de pie de metal a metal es:

Para un peso de 50 kg.

$$E_{\text{toque metal - metal}} = \frac{116}{\sqrt{t_s}}$$

Para un peso de 70 kg.

$$E_{\text{toque metal - metal}} = \frac{157}{\sqrt{t_s}}$$

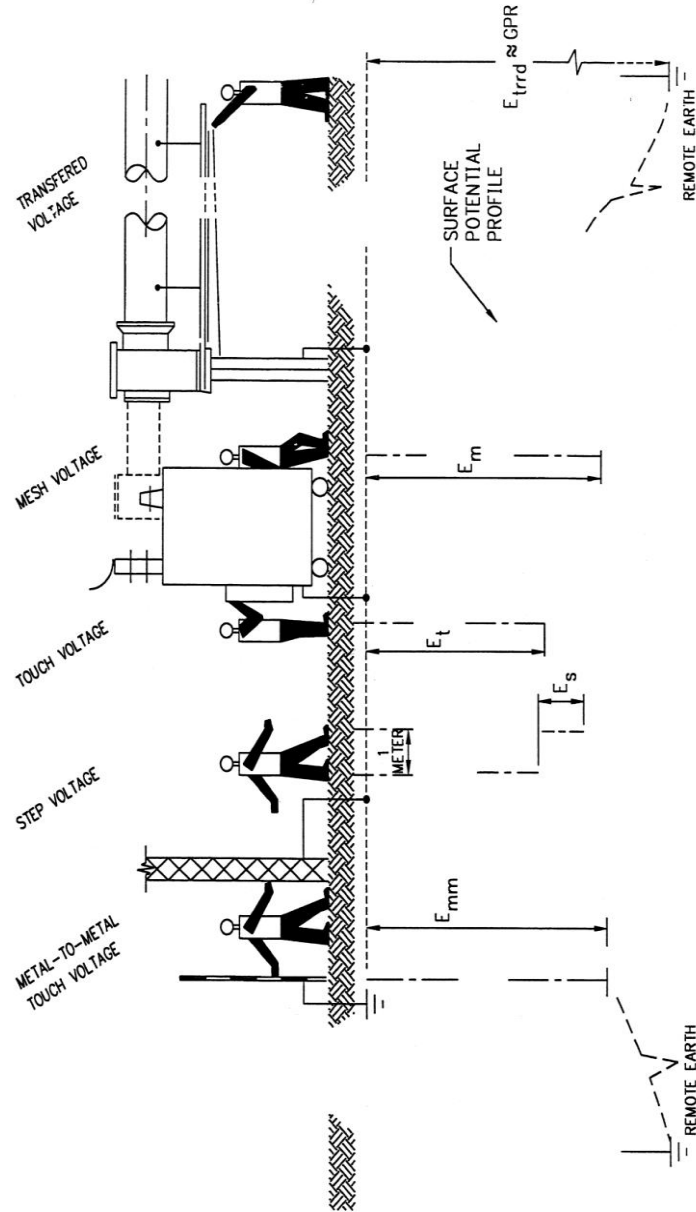
El voltaje de paso, voltaje de toque ó el voltaje de toque metal a metal debe ser menor que sus respectivos voltajes limites para un diseño seguro. El riesgo de transferencia de voltajes externos puede ser evitado mediante una buena señalización en puntos de posibles contactos con líneas vivas.

Para evitar la transferencia de potencial desde la malla a la superficie existe una capa que ofrece una resistividad que evita el efecto de este fenómeno.

Luego de definir la corriente de diseño (IG), teniendo en cuenta todos los factores que afectan la misma y una vez calculados los valores de los voltajes de paso, toque, malla, se efectuará un diseño preliminar del mallado considerando la forma que va a tener el diseño final.

El Gráfico 1.5 presenta los diferentes potenciales a los que están expuestas las personas dentro de la subestación.

GRÁFICO 1.4
SITUACIONES BÁSICAS DE POSIBLES SHOCKS ELÉCTRICOS



Fuente: Normas IEEE 80-2000.

Recopilado por: Grupo de Investigadores.

1.5.1.4 Diseño preliminar de la malla.

Para el diseño preliminar se considerará 3 casos posibles. Siendo estos:

- Caso 1: Malla Cuadrada con varillas.
- Caso 2: Malla Rectangular con varillas.

- Caso 3: Malla en tipo “L” con varillas.

La malla debe diseñarse bajo las siguientes condiciones:

- Un cable continuo debe rodear totalmente la rejilla para abarcar la mayor área posible, debe evitarse puntas de cable sin conectar.
- Los cables en el interior de la rejilla deberán colocarse paralelamente a una distancia conveniente y lo más constante posible, procurando llevarlos cerca de todas las salidas a estructuras, columnas metálicas, carcasas de motores, generadores, neutros, etc.

1.5.1.4.1 Factores de diseño preliminar y ajustes de diseño.

Los factores a ser tomados en cuenta para el diseño de la malla de tierra y sus posibles ajustes son:

a) Factor de espaciamiento para el voltaje de malla (K_m).

$$K_m = \frac{1}{2\pi} * \left[\ln \left(\frac{D^2}{16 * h * d_c} + \frac{(D + 2 * h)^2}{8 * D * d_c} - \frac{h}{4 * d_c} \right) \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} * \ln \left[\frac{8}{\pi(2n - 1)} \right] \quad \text{eq.}$$

Donde:

- D: Separación entre los conductores de la malla en metros.
- d_c : Diámetro del conductor que forma la malla en metros.
- h: Profundidad a la que está enterrada la malla respecto a la superficie en metros.
- Kii: Factor de corrección de efectos de peso de los conductores internos en las esquinas de la malla.
- Kh: Factor de corrección por efectos de la profundidad de la malla.
- n: Número de conductores paralelos en una malla rectangular equivalente.

b) Factor de espaciamiento para el voltaje de paso (K_s).

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right] \quad \text{eq.}$$

c) Factor de irregularidad de la malla (K_i).

El factor de corrección por irregularidad, para tomar en cuenta la distribución irregular de flujo de corrientes a tierra. Varía de 1,2 a 2 ó más, dependiendo de la geometría de la rejilla. Su valor puede encontrarse mediante la ecuación:

eq.

$$K_i = 0.644 + 0.148 * n$$

d) Factor de corrección de efectos de la profundidad de la malla (K_h).

Se encuentra mediante la ecuación:

$$K_h = \sqrt{\frac{h}{h_0} + 1} \quad \text{eq.}$$

Donde:

h₀: 1m referencia de la profundidad de la malla.

h: profundidad de los conductores de la malla.

e) Factor de corrección de efectos de peso de los conductores internos en las esquinas de la malla (K_{ii}).

Para mallas con varillas situadas en el perímetro, en las esquinas o a lo largo de la malla, el factor $K_{ii}=1$, para determinar los factores en mallas sin varillas o con relativamente pocas y ninguna de ellas en el perímetro o en las esquinas se aplica la ecuación:

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 * n)^{\frac{2}{n}}} \quad \text{eq.}$$

Para determinar estos factores, necesitamos el factor de corrección de geometría de la malla el cual se aproxima al número de conductores paralelos de una malla rectangular equivalente (n) y este está dado por:

$$n = n_a * n_b * n_c * n_d \quad \text{eq.}$$

n_b : 1 para mallas cuadradas.

n_c : 1 para mallas cuadradas y rectangulares.

n_d : 1 para mallas cuadradas, rectangulares y en L.

Y en caso de que no coincida el diseño con las especificaciones, estos parámetros serán calculados mediante las ecuaciones:

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 * \sqrt{A}}}$$

$$n_c = \left[\frac{L_x * L_y}{A} \right]^{0,7 * \frac{A}{L_x * L_y}}$$

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$

Donde:

L_c : Longitud total del conductor en metros.

L_p : Longitud total del perímetro de la malla.

L_x : Máxima longitud de los conductores en la dirección x. (m)

L_y : Máxima longitud de los conductores en la dirección y. (m)

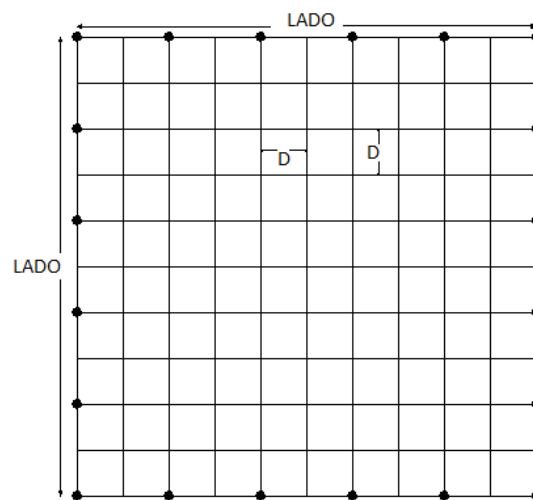
A: Área de la malla en m².

D_m : Distancia máxima entre dos puntos cualesquiera de la malla.

Para cada tipo de malla, los valores de estos parámetros serán:

- **Caso 1: Malla cuadrada con varillas.**

GRÁFICO 1.5
MALLA CUADRADA CON VARILLAS



Fuente: Normas IEEE 80-2000.

Recopilado por: Grupo de investigadores.

$$L_p = lado * 4$$

$$L_c = (lado * N_{cx}) + (lado * N_{cy})$$

$$A = lado * lado$$

$$D_m = \sqrt{lado^2 + lado^2}$$

La longitud efectiva enterrada para el voltaje de malla es:

$$L_M = L_c + \left[1,55 + 1,22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] * L_R$$

$$L_X, L_Y = \text{lado}$$

$$L_R = n_r * L_r$$

$$n_r = \frac{(2 * N_{cx}) + (2 * N_{cy})}{2} - 4$$

$$N_{cx} = \frac{\text{lado}}{D}$$

$$N_{cy} = \frac{\text{lado}}{D}$$

La longitud efectiva enterrada para el voltaje paso es:

$$L_S = 0,75L_C + 0,85L_R$$

Donde:

Lado: Valor del lado geométrico del cuadrado en m.

N_{cx} : Número de conductores paralelos en la dirección X.

N_{cy} : Número de conductores paralelos en la dirección Y.

L_R : Longitud total de las varillas que conforman la malla en m.

L_S : La longitud efectiva enterrada para el voltaje paso en m.

L_r : Longitud de cada varilla en m.

n_r : Número de varillas utilizadas en la malla.

L_M : La longitud efectiva enterrada para el voltaje de malla en m.

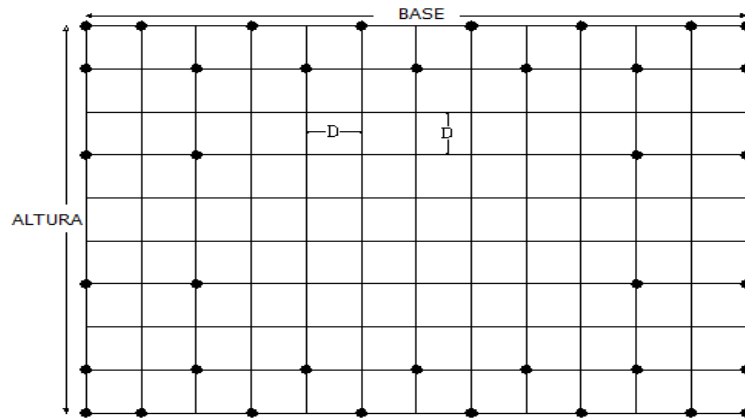
D : Espaciamiento entre conductores en m.

L_X : Máxima longitud del conductor en el eje X en m.

L_Y : Máxima longitud del conductor en el eje Y en m.

Caso 2: Malla Rectangular con varillas.

GRÁFICO 1.6
MALLA RECTANGULAR CON VARILLAS



Fuente: Normas IEEE 80-2000.

Recopilado por: Grupo de investigadores.

$$L_p = (2 * BASE) + (2 * ALTURA)$$

$$L_c = (BASE * N_{cx}) + (ALTURA * N_{cy})$$

$$A = BASE * ALTURA$$

$$L_x = BASE$$

$$L_y = ALTURA$$

$$D_m = \sqrt{BASE^2 + ALTURA^2}$$

La longitud efectiva enterrada para el voltaje de malla es:

$$L_M = L_C + \left[1,55 + 1,22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] * L_R$$

$$L_R = n_r * L_r$$

$$n_r = \frac{(2 * N_{cx}) + (2 * N_{cy})}{2} - 4$$

$$N_{cx} = \frac{BASE}{D}$$

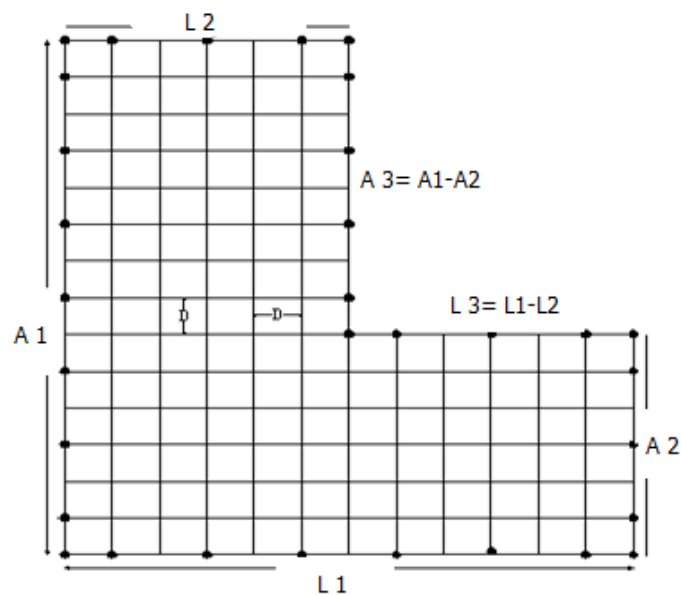
$$N_{cy} = \frac{ALTURA}{D}$$

La longitud efectiva enterrada para el voltaje paso es:

$$L_S = 0,75L_C + 0,85L_R$$

Caso 3: Malla en tipo “L” con varillas.

GRÁFICO 1.7
MALLA TIPO “L”



Fuente: Normas IEEE 80-2000.

Recopilado por: Grupo de investigadores

$$L_p = (A1 + L1 + A2 + L2 + A3 + L3)$$

$$L_c = \left((L1 * N_{cx}) - \left(\left(\frac{A3}{D} \right) * L3 \right) \right) + \left((A1 * N_{cy}) - \left(\left(\frac{L3}{D} \right) * A3 \right) \right)$$

$$A = (A2 * L1) + (A3 * L2)$$

$$L_x = L1$$

$$L_y = A1$$

$$D_m = \sqrt{L1^2 + A1^2}$$

La longitud efectiva enterrada para el voltaje de malla es:

$$L_M = L_c + \left[1,55 + 1,22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] * L_R$$

$$L_R = n_r * L_r$$

$$n_r = \frac{(2 * N_{cx}) + (2 * N_{cy})}{2} - 4$$

$$N_{cx} = \frac{L1}{D}$$

$$N_{cy} = \frac{A1}{D}$$

La longitud efectiva enterrada para el voltaje paso es:

$$L_S = 0,75L_c + 0,85L_R$$

Donde:

A1: Altura 1 en m.

A2: Altura 2 en m.

A3: Altura 3 en m.

L1: Longitud 1 en m.

L2: Longitud 2 en m.

L3: Longitud 3 en m.

D: Espaciamiento entre conductores.

La distancia *D*, es la distancia entre los conductores de la malla. Según la norma IEEE 80, esta distancia está entre el rango de 3 a 15 metros. La saturación de conductores crea un efecto negativo al mallado por el flujo de corriente al momento de una falla.

En base a este aspecto, en el Software a diseñar se permitirá introducir el valor de dicho espaciamiento y podrá ser modificado para lograr el diseño óptimo requerido.

1.5.1.5 Cálculo de la resistencia de la Puesta a Tierra.

Una vez diseñada la red de tierra, se necesita calcular la resistencia de conexión a tierra de la malla. En el caso de que la red esté solo colocada en la superficie del terreno, se puede considerar con cierta aproximación toda la malla equivalente a una superficie conductora circular, con el área igual al área cubierta por la malla. El cálculo de esta resistencia puede resultar en diferentes precisiones, dependiendo del método empleado.

Para mallas sin varillas en un suelo homogéneo según Sverak:

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

Para mallas con varillas teniendo en consideración el tipo de suelo según Schwarz:

$$R_g = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

Donde:

R_g : Resistencia de la malla en ohmios.

L_M : Longitud total del conductor incluidas las varillas en metros.

A: Área total del mallado, dependiendo de su forma en m².

h: Profundidad a la que se encuentra enterrada la malla en metros.

R_1 : Resistencia de los conductores de la malla en Ω .

R_2 : Resistencia de todas las varillas de tierra en Ω .

R_m : Resistencia mutua entre el grupo de conductores de la malla y el grupo de varillas de tierra en Ω .

1.5.1.6 Cálculo de la elevación máxima del potencial de la red.

El aumento máximo de potencial en la red respecto a la tierra absoluta se calcula por la ecuación:

$$E_m = \frac{\rho * K_m * K_i * I_G}{L_M} \quad \text{eq.}$$

Donde:

E_m : Potencial máximo que alcanza la malla respecto a tierra en Voltios.

L_M : Longitud efectiva del conductor para voltajes de malla.

Este potencial es el valor real del voltaje de malla y genera un gradiente que tiene una distribución por toda la instalación, siendo susceptible de ser concatenado por una persona que se encuentre en el campo electrostático creado, en su totalidad o en parte. Este potencial es conocido como potencial de contacto o de toque.

Si el potencial encontrado no excede a la diferencia de potencial o voltaje máxima tolerable por una persona (E_{contacto}), el diseño de la red está correcto y no necesitará hacer mayores cálculos excepto la resistencia de la rejilla ya en el campo una vez terminada su instalación.

1.5.1.7 Cálculo de la diferencia de potencial en el piso exterior inmediato a la red.

Al dar un paso largo sobre el piso, mientras está circulando la corriente de falla los pies concatenan una voltaje que se la conoce como “voltaje de paso”. El valor de esta diferencia de potencial, cuando está circulando la corriente máxima de la falla por la red hacia la tierra, se calcula aplicando la ecuación:

$$E_s = \frac{K_s * K_i * \rho * I_G}{L_s} \quad \text{eq.}$$

Donde:

E_s : Potencial máximo de paso a una distancia de 1m, entre la malla y el exterior, o dentro de la malla en Voltios.

L_s : La longitud efectiva enterrada para el voltaje paso en m.

El voltaje de paso máximo es asumido a una distancia mayor o igual a un metro, empezando y extendiéndose fuera del perímetro conductor. Según las normas, la profundidad a la que debe estar enterrada la malla se define entre 0,25 m y 2,5 m.

Para asegurar y afirmar que el diseño de la malla de puesta a tierra es el óptimo, se compara los valores obtenidos:

$$E_m \text{ vs } E_{\text{contacto}}$$

$$E_S \text{ vs } E_{\text{paso}}$$

Si se cumple esta condición, el diseño es correcto; caso contrario se deberán realizar modificaciones como por ejemplo el aumento en el calibre del conductor de la malla ó el incremento de varillas de puesta a tierra.

Los métodos de cálculo del LITERAL 1.5., son aplicables a mallas de tipo cuadrado, rectangular y de tipo “L”, para esto al momento de diseñar el software, deberá permitirnosc escoger la forma deseada y nos proporcionará el diseño óptimo de la malla de puesta a tierra, en función de los parámetros iniciales.

1.5.2 Revisión del diseño.

En caso de haber hecho el cálculo total para el diseño preliminar y encontrar que la malla puede resultar peligrosa, se hace un nuevo diseño ajustándose a modificaciones para caer dentro de los límites de seguridad. En este caso será necesario redefinir todos los cálculos.

Además de lo anterior, para mejorar la operación de la red pueden seguirse las siguientes indicaciones:

- Reducir la resistencia total de la red reduciendo el aumento de potencial máximo y por lo tanto, el potencial máximo de transferencia. Hay dos formas de reducirla que son: aumentar el área de la red, o cuando el área está confinada, usar varillas enterradas y conectar la red a tubos de pozos profundos.

- Reducir el espaciamiento de los conductores que forman las mallas acercándose al límite a la condición de placa metálica. Esto permite eliminar los potenciales peligrosos.
- Agregar capas de roca triturada de alta resistividad en la superficie del terreno para aumentar la resistencia en serie con el cuerpo.
- Proveer pasos adicionales a las corrientes de falla a tierra por medio de los cables de guarda, conectándolos a la red de tierra.
- Limitar cuando sea posible las corrientes de falla a tierra sin aumentar los tiempos de interrupción, ya que en general este hecho tiene un efecto adverso a la seguridad.
- Prohibir el paso a ciertas áreas limitadas, donde sea poco práctico eliminar la posibilidad de que aparezcan diferencias de potencial excesivas durante las falla a tierra.

1.6 IMPACTO EDUCATIVO DEL DISEÑO DE UN SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE MALLAS DE PUESTA A TIERRA.

Los orígenes del uso de la tecnología para mejorar el aprendizaje iniciaron con la investigación sobre como aprenden las personas más efectiva y eficientemente; se ha encontrado que al usar la tecnología puede mejorara la experiencia del aprendizaje, mejorando la eficiencia y la optimización del tiempo.¹⁶

Los autores manifestamos que en la actualidad el campo educativo va de la mano con el desarrollo tecnológico, la búsqueda de optimizar tiempo y recursos se plasma en la aplicación de métodos y técnicas que facilitan la solución de problemas complejos.

Hoy en día la demanda de energía a nivel mundial crece constantemente por las nuevas tecnologías que hacen que la electricidad sea el motor elemental que

¹⁶ [en línea]. [ref. de 10 de diciembre 2011]. Disponible en Web: <[http:// www.teletraining.com](http://www.teletraining.com) , 2011.

mueve al mundo. A medida que se aproximan a núcleos urbanos o zonas industriales se hace visible las interminables redes eléctricas que alimentan a diferentes zonas. En los países desarrollados han surgido infinidad de estudios sobre el diseño de mallas a tierra, los cuales han permitido crear herramientas de todo tipo, sin embargo muchos de estas herramientas al tener patentes, son de acceso limitado.

El Ecuador actualmente está abriendo nuevos campos dentro del estudio de la electricidad ya que se busca brindar mejores niveles de confiabilidad en las redes eléctricas de todos los niveles de voltaje pero se ha dejado muy de lado lo referente al diseño de mallas de puesta a tierra y los riesgos que existen por un mal diseño de las mismas.

Las normativas para el diseño de mallas de puesta a tierra son muy complejas y diversas. La norma IEEE 80-2000, es sin embargo la más difundida, y que mejor que poseer una herramienta informática basada en dicha norma para realizar de manera simplificada diseños de mallas de puesta a tierra tan complejos de una manera simple y rápida, beneficiando tanto a profesionales dedicados al tema como a estudiantes de ingeniería eléctrica en su etapa formativa.

El aprendizaje es un proceso complejo y sistemático en el que se encuentran involucrados directa e indirectamente el sistema, los estudiantes y los profesores. Este proceso depende de la organización de las actividades educativas, las técnicas pedagógicas y los recursos didácticos aplicados.

Dentro del proceso de aprendizaje, hay que considerar su apertura a nuevos campos. Para los autores todas las ramas de conocimiento están directamente relacionadas con la informática ya que mediante esta se puede tener acceso a diversa información y permite además el control y evaluación de los temas tratados. La electricidad, al igual que las demás ciencias se ha visto beneficiada por el apareamiento de herramientas computacionales que facilitan tanto el diseño como la construcción de obras eléctricas de manera óptima.

CAPITULO II

2. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS SITUACIÓN ACTUAL DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA UNIVERISDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.

2.1 Antecedentes

La educación superior en los actuales momentos se enmarca en formar profesionales capacitados en el campo de la ciencia, tecnología, investigación y experimentación de conocimiento de la realidad, dotados de una conciencia crítica y humanista, para esto nuestra provincia el anhelado de tener una institución de Educación Superior se alcanza el 24 de enero de 1995. Las fuerzas vivas de la provincia lo hacen posible, después de innumerables gestiones y teniendo como antecedente la Exvoltaje que creó la Universidad Técnica del Norte.

Actualmente son cinco hectáreas las que forman el campus de la Universidad Técnica de Cotopaxi y 82 hectáreas del Centro Experimentación, Investigación y Producción Salache. De la misma manera hemos definido con claridad la postura institucional ante los dilemas internacionales y locales; somos una entidad que por principio defiende la autodeterminación de los pueblos, respetuosos de la equidad de género.

En estos 15 años de vida institucional la madurez ha logrado ese crisol emancipador y de lucha en bien de la colectividad, en especial de la más apartada y urgida en atender sus necesidades. El nuevo reto institucional cuenta con el compromiso constante de sus autoridades hacia la calidad y excelencia educativa.

Nuestra universidad propicia mediante todas las formas científicas de buscar e interpretar la realidad, afirmando en sus propósitos científicos y educativos, estando abierto a todas las aéreas sociales, mediante la vinculación de los pueblos, las mismas que ayudan a asimilar, generar adelantos científico técnico y las manifestaciones del pensamiento científico.¹⁷

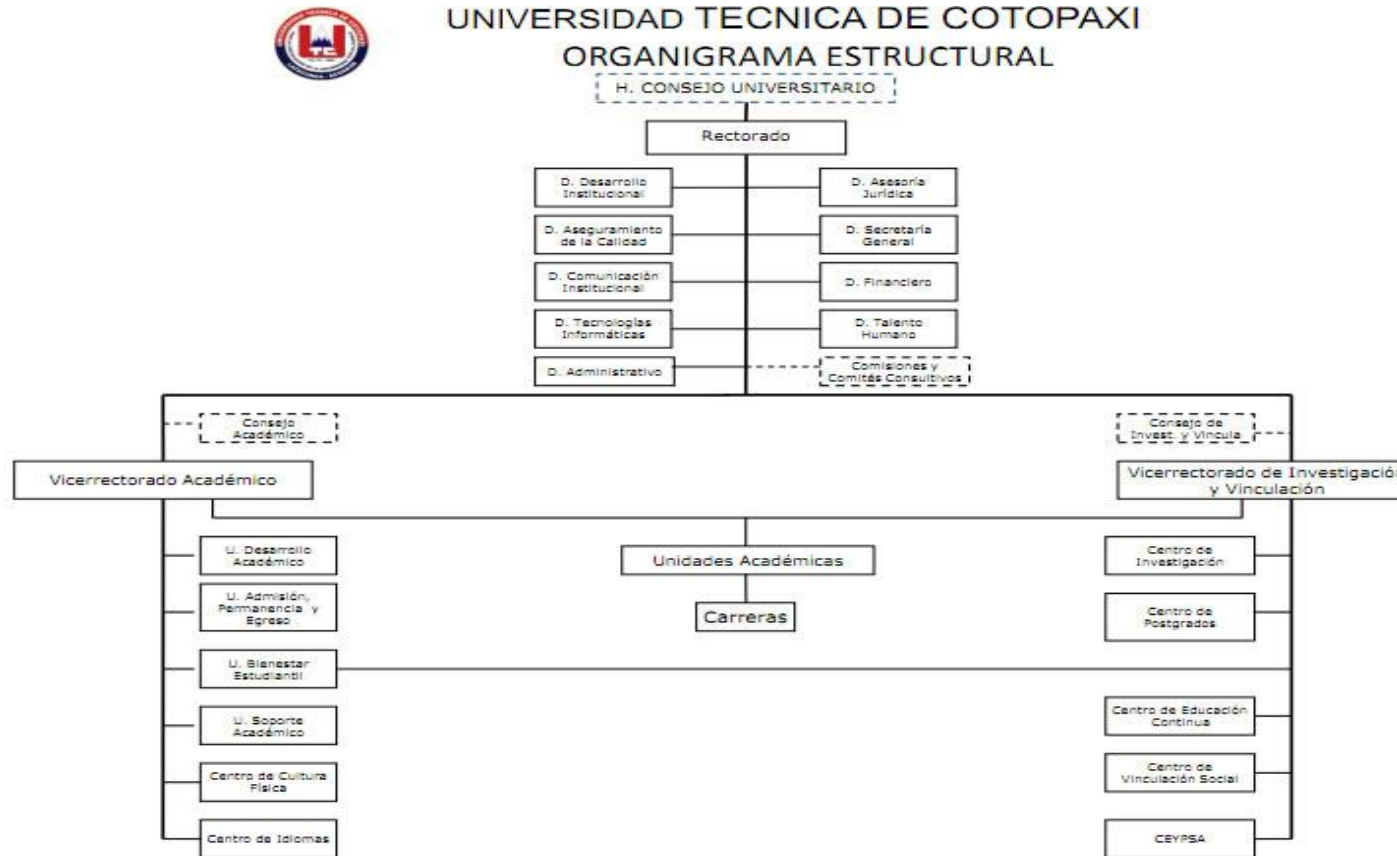
2.2 Estructura Orgánica

Nuestra institución cuenta en la actualidad con varias unidades académicas y extensiones. El organigrama estructural indica que debe seguir los canales de comunicación (lineal) adecuados para cada uno de las unidades académicas y extensiones; de igual manera cada una de estas conservan su autoridad y responsabilidad específica dentro de su especialidad así por ejemplo la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas tiene plena autoridad sobre las demás secciones o cargos que se le reparten o asignan directamente.

¹⁷ [en línea]. [ref. de 16 de agosto 2011]. Disponible en Web:
<<http://http://www.utc.edu.ec/sitio/index.aspx?pagID=L15&Ln=ES&ban=utc&contenidoID=1064>
Página web de la institución.

A continuación se presenta el organigrama estructural correspondiente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y la Unidad Académica a la que estamos aplicando nuestro proyecto.

2.2.1 Organigrama Estructural de la Universidad Técnica de Cotopaxi.



Fuente: <http://www.utc.edu.ec/sitio/index.aspx?pagID=L15&Ln=ES&ban=utc&contenidoID=1064>

Recopilado por: Grupo de Investigadores.

2.3 Misión y Visión Institucional

2.3.1 *Planificación Estratégica de la Universidad Técnica de Cotopaxi*

La misión de nuestra universidad se enmarca principalmente en ser pública, laica y gratuita, con plena autonomía, desarrolla una educación liberadora, para la transformación social, que satisface las demandas de formación y superación profesional, en el avance científico-tecnológico de la sociedad, en el desarrollo cultural, universal y ancestral de la población ecuatoriana. Generadora de ciencia, investigación y tecnología con sentido: humanista, de equidad, de conservación ambiental, de compromiso social y de reconocimiento de la interculturalidad; para ello, desarrolla la actividad académica de calidad, potencia la investigación científica, se vincula fuertemente con la colectividad y lidera una gestión participativa y transparente, con niveles de eficiencia, eficacia y efectividad, para lograr una sociedad justa y equitativa.

Para ello la visión es mediante una universidad líder a nivel nacional en la formación integral de profesionales, con una planta docente de excelencia a tiempo completo, que genere proyectos investigativos, comunitarios y de prestación de servicios, que aporten al desarrollo local, regional en un marco de alianzas estratégicas nacionales e internacionales. Difunda el arte, la cultura y el deporte, dotada de una infraestructura adecuada que permita el cumplimiento de actividades académicas, científicas, tecnológicas, recreativas y culturales, fundamentadas en la práctica axiológica y de compromiso social, con la participación activa del personal administrativo profesional y capacitado.

Para lo cual nosotros como estudiantes se pretende mediante un proceso investigativo y de campo realizar un proyecto que ayude al cumplimiento de actividades académicas, como es la de implementación de un software didáctico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica en el área de Diseño de Alto Voltaje.

2.4 Unidades Académicas

La Universidad Técnica de Cotopaxi brinda la oportunidad a estudiantes que han terminado la formación secundaria, para que se sigan preparando académicamente en sus diferentes áreas o unidades académicas, las mismas que poseen sus diferentes carreras siendo estas las siguientes:

- Unidad Académica de Ciencias en Ingeniería y Aplicadas.
- Unidad Académica de Ciencias Administrativas Humanísticas y del Hombre.
- Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias Ambientales y Veterinarias.

La unidad académica en la que estamos inmersos y a la cual pertenecemos es la de Ciencias en Ingeniería y Aplicadas, la cual oferta carreras técnicas entre las cuales tenemos las siguientes:

2.4.1 Carreras de la Unidad Académica de Ciencias en Ingeniería y Aplicadas.

En los actuales momentos las profesiones que en el campo laboral serán los más aplicados son los profesionales en las carreras técnicas por el avance científico y tecnológico que se viene desarrollando, de acuerdo a la realidad la universidad posee una Unidad Académica de Ciencias en Ingeniería y Aplicadas, la cual orienta sus esfuerzos hacia la búsqueda de formar profesionales creativos, críticos y humanistas que utilizan el conocimiento científico y técnico, mediante la promoción y ejecución de actividades de investigación y aplicaciones tecnológicas para contribuir en la solución de los problemas de la sociedad. Además la visión de la Unidad Académica es mediante un alto nivel científico, investigativo, técnico y profundamente humanista, generadora de tecnologías, con trabajos inter y multidisciplinario, vinculada con la sociedad se logra desde su creación

entregar profesionales inmensos con esos perfiles profesionales, que de una u otra manera se desarrolla en su proyecto de desarrollo de tesis.

En atención a la fundamentación ideológica, a la contextualización de la realidad presente y del futuro inmediato, así como a los requerimientos del desarrollo de la zona de influencia de la UTC, la Unidad Académica presenta las siguientes carreras:

- **Ingeniería en Informática y Sistemas Computacionales.**
- **Ingeniería en Diseño Gráfico Computarizado.**
- **Ingeniería en Electromecánica.**
- **Ingeniería Eléctrica.**
- **Ingeniería Industrial.**

Fuente:<http://www.utc.edu.ec/sitio/index.aspx?pagID=L15&Ln=ES&ban=utc&contenidoID=1064>

Recopilado por: Grupo de investigadores.

2.4.1.1 Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia

Hoy en día la demanda de energía a nivel mundial crece constantemente por las nuevas tecnologías que hacen que la electricidad sea el motor elemental que mueve al mundo. Es por esto que la universidad con la Carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia forma profesionales capacitados para diseñar y dirigir la construcción, la operación y el mantenimiento de componentes, circuitos y sistemas destinados a la generación, distribución y conversión de la energía eléctrica, y a todos los aspectos relacionados con ella y sus aplicaciones.

2.4.1.2 Perfil Profesional

Durante la preparación profesional en las aulas y las prácticas realizadas se adquirió conocimientos relacionados con nuestra carrera y en la cual nos desarrollamos estas son las siguientes:

- Interpretar, identificar y clasificar los procesos de la conversión de energía convencional y no convencional, con énfasis en la conversión de energía electromecánica, para generar energía eléctrica, mediante el óptimo aprovechamiento de los recursos naturales con criterio técnico, económico y de preservación del ambiente.
- Diseñar, supervisar la construcción y administrar los sistemas de transmisión (líneas y subestaciones) que transportan la energía, desde las fuentes de generación a los centros de consumo, en óptimas condiciones técnicas, económicas y de preservación del ambiente, sea como empleado o desde el libre ejercicio de la profesión.
- Diseñar, supervisar la construcción y administrar los sistemas de distribución (redes y subestaciones), que distribuyen la energía eléctrica desde las subestaciones de transmisión y subtransmisión hacia los centros de consumo, en óptimas condiciones técnicas, económicas y de seguridad ciudadana.
- Interpretar, administrar y controlar la demanda de la energía eléctrica, mediante una investigación de las reales necesidades de la energía eléctrica en los niveles residencial, comercial e industrial, sea como empleado o desde el libre ejercicio de la profesión.
- Realizar auditorías energéticas, orientadas al uso racional y ahorro de la energía eléctrica, sea como empleado o desde el libre ejercicio de la profesión.
- Colaborar con la investigación de punta en la operación, seguridad, calidad del servicio y aplicación de reglamentos y Ley del sector eléctrico en los Sistemas Eléctricos de Potencia, con énfasis en los sistemas de distribución.

- Aplicar las nuevas regulaciones vigentes para la comercialización de la energía eléctrica en el Mercado Eléctrico Mayorista, en función de la libre competencia con criterio de eficiencia administrativa, económica y financiera.

Según el criterio de los investigadores y como aspirantes a obtener el título de Ingeniero Eléctrico nuestro campo ocupacional se desarrollara en actividades tanto en el sector público como privado, ya sea como parte integrante de una empresa o institución, o en forma independiente en el libre ejercicio de nuestra profesión. La formación integral y capacitación técnica específica le permiten formar parte del personal ejecutivo y operativo de las empresas que interactúan en el medio a través de las Empresas eléctricas que existen en el país, de TRANSELECTRIC, CENACE, CONELEC, entre otras.

2.5 Diseño Metodológico

El trabajo de investigación para el “Diseño de un software para el dimensionamiento de una malla de puesta a tierra, como alternativa en el desarrollo del aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi”, emplea una Metodología cuasi experimental, siendo una investigación cuali-cuantitativo.

El trabajo de investigación corresponde a una modalidad de Proyecto factible o de intervención, ya que la propuesta de Diseñar un software como herramienta para el aprendizaje de los estudiantes. De la misma manera se logró diseñar y planificar las actividades a desarrollarse de una manera eficaz y dinámica, esto servirá como una guía de seguimiento de pasos para alcanzar el propósito planteado.

A continuación se detalla el diseño metodológico aplicado en la obtención de información de nuestro tema:

unidad de Estudio

La Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas se conforma por autoridades, docentes, estudiantes y personal administrativo. Por lo cual en especial se logró trabajar con los docentes, alumnos de los ciclos superiores y egresados de la carrera de Ingeniería Eléctrica que es el área del proyecto a ser implementado.

Mediante la aplicación de instrumentos y técnicas de investigación permitieron determinar dos unidades estadísticas de estudio que son docentes y estudiantes, para poder responder la hipótesis planteada la cual es la necesidad de disponer de un software para el complemento del tema que se hace referencia del diseño de mallas de puesta a tierra impartidas en las aulas y como podría cambiar esta necesidad al disponer de uno, esto permite cumplir con las expectativas que es de una cátedra teórica - practica en beneficio de los que conforman la misma.

2.5.2 Población

La población para el trabajo de investigación corresponde a la selección representativa de dos unidades estadísticas, se empleó un método de muestreo probabilístico a través de un procedimiento aleatorio, considerando la población que han recibido la materia de Diseño de Alto Voltaje esto con el fin de recabar información mucho más confiable y segura, tomando en cuenta al personal de docentes, estudiantes de los ciclos superiores y alumnos egresados de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

TABLA No. 2.1

POBLACIÓN ENCUESTADA DE LA CARRERA DE INGENIERIA ELECTRICA

DETALLE	CANTIDAD
Docentes	7
Estudiantes de los ciclos superiores (sexto, séptimo y octavo)	92
Noveno ciclo (pasantes)	8
Total	107 (personas)

Fuente:<http://www.utc.edu.ec/sitio/index.aspx?pagID=L15&Ln=ES&ban=utc&contenidoID=1064>

Realizado por: Grupo de investigadores

2.6 Tipos de Investigación

Para la formulación y ejecución de la propuesta se adoptó los niveles de investigación perceptual, comprensivo e interactivo, se requirió de la investigación Bibliográfica, de Campo y cuasi Experimental.

2.6.1 Investigación Bibliográfica

Este tipo de investigación se utilizó para obtener la respectiva información del diseño, modelación, realización de los cálculos y programación de los diferentes tipos de herramientas de mallas de puestas a tierra; que han sido necesarios establecer mediante la revisión de libros, folletos, fuentes electrónicas, textos, revistas, entre otros, cada uno de ellas ayudaron a conocer más acerca de cómo se desarrollaría el “Diseño de un software para el dimensionamiento de una malla de puesta a tierra, y por ende impulsar el desarrollo de la herramienta para el mejoramiento del aprendizaje de los estudiantes de ingeniería eléctrica”, permitiendo un mejor proceso en el trabajo investigativo.

2.6.2 Investigación de Campo

Concibió la observación del objeto de estudio, a través de las experiencias y teorías recibidas del diseño de mallas de puesta a tierra, además se acudió a la fuente misma para mediante visitas a las aulas. Con el fin de poder identificar los problemas reales que causa el no contar con un laboratorio o Software de diseño de mallas de puestas a tierra que ayude en la metodología impartida, para con ello relacionar lo teórico con la práctica permitiendo tener una visión más amplia para describir los efectos ya sea a corto o largo plazo que puede traer una vez desarrollada.

2.6.3 Investigación Cuasi Experimental

Se utilizara la investigación cuasi experimental para comprobar y corregir los posibles errores que se puede presentar en la aplicación técnica durante el periodo de pruebas y funcionamiento completo cuando ya se entregue y sea manipulada por los estudiantes durante el diseño.

Se realizara pruebas con datos reales y diseños en el software la misma que permitirá elaborar una propuesta de proyecto didáctico y participativo, determinando datos involucrados, limitaciones e intereses con respecto al estudio, mediante la elaboración de una malla de puesta a tierra.

2.7 Métodos de Investigación

2.7.1 Método Hipotético Deductivo

Este método se utilizó por parte de los investigadores para disponer de un conocimiento científico siguiendo varios pasos esenciales que permitan conocer de una forma clara y precisa el problema en estudio mediante la observación, creando una hipótesis del aprendizaje de los estudiantes del dimensionamiento de las mallas, misma que puede ser comprobada; finalmente la verificación o comprobación de la verdad mediante la implementación del software de diseño, el

mismo que nos mostrara el resultado final de la investigación aplicado al área de ingeniería eléctrica.

2.7.2 Método Inductivo

Se aplicó el método inductivo, el mismo que permitió conocer la necesidad de un software mediante las encuestas que se aplicó a la población determinada.

Sin embargo vale señalar que su definición consiste en ir de los casos particulares a la generalización; se inicia por la observación de fenómenos particulares con el propósito de llegar a conclusiones y premisas generales.

2.8 Técnicas e Instrumentos

2.8.1 Técnica

2.8.1.1 Encuesta

El trabajo de investigación demanda datos cualitativos y cuantitativos, como técnica se utiliza la encuesta y como instrumento de recolección de datos el cuestionario aplicado a las dos unidades estadísticas: docentes y estudiantes de los ciclos superiores, además alumnos egresados de la carrera de Ingeniería Eléctrica cuyas opiniones personales interesa al grupo de investigadores, aplicado mediante un formulario de preguntas de acuerdo al “Diseño de un software para el dimensionamiento de una malla de puesta a tierra”, esto permitiendo conocer si la población encuestada presenta interés en participar en el trabajo investigativo con el propósito de cambiar la metodología actual mediante software especiales.

2.8.2 Instrumentos

2.8.2.1 Cuestionario de Encuesta

Consiste en un banco de preguntas que son diseñadas por parte del investigador siguiendo un lineamiento del tema propuesto para aplicar a la población escogida, la misma que ayuda a recopilar información, tabular y determinar datos específicos y esenciales que se utilizara para conocer si en realidad causa interés en contar con la propuesta presentada.

La “Encuesta sobre el Diseño de un software para el dimensionamiento de una malla de puesta a tierra” se basó en una encuesta cara a cara o de profundidad, inmiscuye 10 preguntas cerradas, dividiéndose en tres secciones:

- **Sección 1:** Conocimiento y aplicación del dimensionamiento de mallas de puestas a tierra.
- **Sección 2:** Acceso a las Tecnologías de la Información y el uso de herramientas computacionales para el diseño de mallas a tierra.
- **Sección 3:** Necesidad de software especializados para diseños de mallas de puesta a tierra.

Además se elige una encuesta de profundidad o entrevista de dos porque puede ser controlada y guiada por el encuestador, se suele obtener más información que con otros medios. Para el diseño del cuestionario se consideró el formato, redacción de las preguntas, las decisiones de secuencia y la corrección de problemas así como también los indicadores mostrados en la tabla de Operacionalización de las Variables (Anteproyecto).

Una vez diseñado el cuestionario se validó por dos expertos el Ing. Elec. Klever Mayorga Director de la tesis y el Dr. Edwin Vaca Docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, que emitieron juicios y aportes para enriquecer el instrumento de investigación.

Luego de las correcciones se procede a la debida autorización por parte de las autoridades para la aplicación del instrumento de investigación. Completado el

proceso de recolección de información se somete a un adecuado tratamiento y tabulación mediante revisión y codificación de los cuestionarios que faciliten su análisis posterior y representación mediante gráficos y cuadros empleando una herramienta de software ofimática (Excel).

2.8.2.2 Fuentes de Información

Las fuentes de información primarias que se ha tomado en cuenta para el presente trabajo de investigación son: docentes, estudiantes y alumnos egresados de la carrera de Ingeniería Eléctrica, como fuentes secundarias se establece libros, textos, folletos, revistas, y otras de acuerdo a la necesidad que se presente en su desarrollo.

2.9 El conocimiento aplicando software didácticos

El conocimiento en el ámbito educativo se puede transmitir mejor de dos formas:

- **Conocimiento explícito:** esto son las habilidades, experiencias y hechos que están escritos, o pueden escribirse, que se pueden transmitir a otros con facilidad.
- **Conocimiento externo:** Se refiere a la realidad, enseñanza y tecnología, que se mueven en el entorno y especialmente en el sector educativo, tal es el caso de nuestra carrera en el cual un estudiante adquiere conocimientos teóricos, en su mayor parte lo adquirimos auto educándonos con cursos prácticos o en el ámbito laboral.

2.9.1 Proceso de Creación del conocimiento

El proceso de creación del conocimiento, dice que a través de un modelo de generación de conocimiento mediante dos espirales, es un proceso de

interacción entre conocimiento tácito y explícito, que tiene una naturaleza dinámica y continua.¹⁸

Las fases son las siguientes:

- **La socialización:** es el proceso de convertir conocimiento tácito a través de compartir experiencias por medio de exposiciones orales, documentos, manuales y tradicionales, o experiencias de la vida diaria y que añade el conocimiento nuevo a la base colectiva que posee el campo en la que se encuentra inmerso.
- **La exteriorización:** es el proceso de convertir conocimientos tácitos en conceptos explícitos que se puedan transmitir a otras personas, de modo que se pueda integrar en el aprendizaje, es la actividad esencial en la creación del conocimiento, como es un aprendizaje teórico-práctico.
- **La combinación:** es el proceso de crear nuevos conocimientos explícitos al reunir conocimientos provenientes de ciertos números de fuentes, mediante el intercambio de información entre colegas, reuniones, charlas, etc. Este nuevo conocimiento se puede categorizar, confrontar y clasificar en base de datos para ser usado y aplicado en tecnologías acordes al campo.
- **La interiorización:** es un proceso de transformación de conocimiento explícito en conocimiento tácito, que analiza las experiencias adquiridas en la puesta en práctica de los nuevos conocimientos explícitos y que se incorpora en la base de conocimiento tácito de los estudiantes en forma de modelos mentales comparativos creando nuevos modelos en el proceso de enseñanza aprendizaje.

Para un individuo, socializar el conocimiento es la parte más difícil del modelo ya que, muchas veces, no se dispone de comunicación oral para hacerlo (la forma más usada), es por eso que hay que crear una herramienta didáctica para el proceso de enseñanza mediante un modelo adecuado.

¹⁸ NONAKA, Takeuchi, "PROCESO DE CONOCIMIENTO", España, Segunda Edición, 1995, p. 25

2.9.2 ¿Qué es un modelo educativo?

Un modelo educativo es el conjunto de propósitos y directrices que orientan y guían la acción en las funciones académicas para la formación de las personas o estudiantes. Los modelos educativos son visiones sintéticas de teorías o enfoques pedagógicos que orientan a los especialistas y a los profesores en la elaboración y análisis de los programas de estudios; este es la sistematización del proceso de enseñanza-aprendizaje, o bien en el proceso de implementar una herramienta o software aplicado para el estudio de diferentes temáticas.

Se podría decir que un software aplicado a un modelo educativo mediante el proceso de enseñanza-aprendizaje, en la que se distribuye funciones y la secuencia de impartir un tema importante combinando experiencias con la teoría, para luego el alumno evalúe dicha información recibida mediante la ayuda de un software y así complementar y despejar dudas.

El conocimiento que se tenga de los programas y de sus partes será determinante para que los docentes elaboren prácticas didácticas eficientes y obtengan resultados mejores en el aula.

2.10 Análisis e Interpretación de Resultados.

Para el desarrollo del presente trabajo investigativo se utilizó la Estadística Descriptiva, ya que facilita la descripción y la interpretación respectiva de la población seleccionada. Se puede utilizar para resumir o descubrir cualquier conjunto que se trate de la población, otorgando así respuesta al segundo objetivo específico del trabajo de investigación.

2.10.1 Entrevista dirigida a Ingenieros Docentes de la Unidad Académica de ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA).

1. ¿Conoce usted herramientas o software de enseñanza aplicados en el campo eléctrico que se complemente con la teoría recibida en las aulas?

Interpretación

El Ing. Mario Banda (Docente del Unidad Académica CIYA) menciona que no conoce herramientas o software de enseñanza aplicados en el campo eléctrico o en nuestra carrera que complemente con la teoría recibida en las aulas. También afirma que se debe a que no existe software didáctico en la carrera de ingeniería eléctrica o en la universidad.

2. ¿Cree usted que se podría desarrollar un software didáctico para la carrera de Ingeniería Eléctrica?

Interpretación

El Ing. Mario Banda (Docente de la Unidad Académica CIYA) señala que hoy en día el desarrollo de software ha avanzado gracias al crecimiento de tecnología en comunicación un claro ejemplo son los programas que permiten el desarrollo de páginas web que mediante su avance ha permitido promocionar productos industriales, etc.

De acuerdo a la opinión del docente podemos afirmar que el de un software o programa se puede aplicar en cualquier campo.

3. ¿Qué herramientas informáticas o lenguajes de programación recomienda en el diseño de un software didáctico para el dimensionamiento de una malla de puesta a tierra?

Interpretación

El Ing. Mario Banda (Docente del Unidad Académica CIYA) manifiesta que el desarrollo de esta propuesta se lo realice en Java porque es un lenguaje que permite múltiples opciones de cálculo y gráficos, pero esto es muy complicado su programación para nosotros como eléctricos, conociendo esto el programa Visual Basic 6.0 también lo permite previo a una información que se deba conocer por parte de los investigadores que desarrollan esta propuesta, lógicamente que ayudara también la capacitación externa como un curso de este programa.

4. ¿Podría decirnos ventajas o desventajas de visual Basic y Auto CAD elegidas para el diseño de este software didáctico?

Interpretación

Para el Ing. Mario Banda Visual Basic es una herramienta grafica de fácil implementación y desarrollo para inmersos en esta área de la programación, mientras que Auto CAD es una potente herramienta de diseño arquitectónico. Entre otros aspectos, además expresó que este desarrollo entre los dos programas mediante un Interfaz gráfico no lo conocía pero si es posible sería una gran oportunidad para la propuesta planteada de desarrollo del software didáctico.

5. ¿Puede existir algún problema con las licencias de estos programas en caso de ser utilizados?

Interpretación

De acuerdo al Ing. Mario Banda (Docente del Unidad Académica CIYA) expreso que no existe siempre y cuando se tenga adquirida las licencias, en el caso de la UTC, el software ya tiene adquirida las licencias de los programas mencionados. En cuestión del diseño es una decisión de los diseñadores y el director de tesis por ende debe haber una comunicación constante entre las dos partes para abarcar los requisitos que sean necesarios, también argumento que este software debe contener lo cosas necesarias y específicas.

6. ¿Considera usted que la implementación del software didáctico en los actuales momentos mejorara el aprendizaje de temas relacionados con cálculos o diseños eléctricos?

Interpretación

Acorde al Ing. Mario Banda (Docente del Unidad Académica CIYA) estableció que en cuanto al mejoramiento del aprendizaje si porque todo aporte al mejoramiento del proceso enseñanza aprendizaje es importante, pero expresó que una de las estrategias para el fortalecimiento y desarrollo de la misma es necesario y obligatorio crear herramientas como el software didáctico que beneficiara a los estudiantes.

2.10.2 Encuesta aplicada a Docentes, estudiantes de los ciclos superiores y alumnos egresados de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la UTC ubicada en la ciudad de Latacunga.

Para una mejor interpretación de los resultados se procedió a tabular los datos de una manera individual, es decir, las encuestas aplicadas se lo realizara de la siguiente manera, 7 docentes conformarán un grupo de 100 %, los 100 estudiantes

la otra población para tener una mejor visión de lo referente al tema y proyecto planteado.

2.10.2.1 Encuesta aplicada a docentes Carrera de Ingeniería Eléctrica de la U.T.C.

A continuación se detalla el análisis e interpretación de los resultados de la encuesta aplicada a los docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

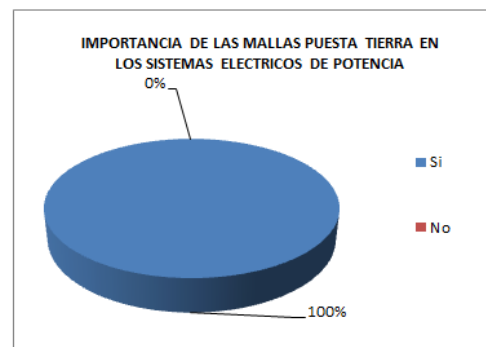
1. ¿Piensa Ud. que las mallas de puesta a tierra son una parte importante de los Sistemas Eléctricos de Potencia?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.2

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	7	100%
No	0	0%

GRÁFICO No. 2.1



TOTAL	7	100%
--------------	----------	-------------

Fuente: Encuesta extendida a los Docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica
Realizado por: Investigadores.

Análisis e Interpretación

El diseño de Sistemas de Conexión a Tierra tiene como premisa fundamental garantizar la confiabilidad o robustez del Sistema Eléctrico de Potencia, y desde una perspectiva profesional de los docentes consideran que según los resultados obtenidos en lo referente a las mallas de puesta a tierra el 100% de la población piensa que tiene gran importancia ya que ayuda a mantener mayor seguridad. Además esto busca condiciones favorables y la toma de decisiones correctas para la distribución de energía, reduciendo el número y tiempo de interrupciones de servicio que se presentan por daños a componentes del SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA que se producen por malos aterramientos del sistema.

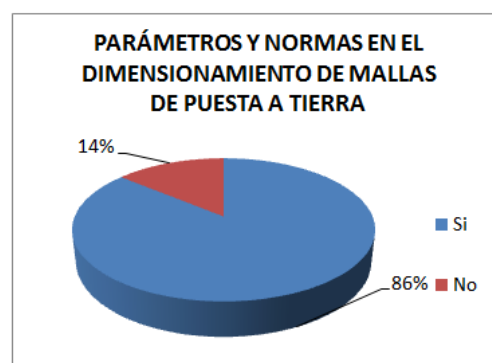
2. ¿Conoce usted los parámetros y normas que se toman en cuenta para el dimensionamiento de mallas de puesta a tierra?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.3

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	6	86 %
No	1	14 %

GRÁFICO No. 2.2



TOTAL	7	100%
--------------	----------	-------------

Fuente: Encuesta extendida a los Docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

Hoy en día existen diferentes medios para difundir información sobre diferentes temas como es el internet, libros, revistas, etc. De la misma manera los parámetros y normas para el diseño de mallas de puestas a tierra son actualizados utilizando la tecnología, pero para conocer esto cada profesional o docente inmerso en el campo eléctrico posee conocimiento en este tema de acuerdo a la encuesta dirigida a los docentes se obtuvo un 86% que establecen que poseen conocimientos acerca de los parámetros y normas que se deben tener en cuenta en el diseño de una malla de puesta a tierra, posteriormente el 14% se refiere que no posee conocimientos de la tematica planteada en el instrumento técnico.

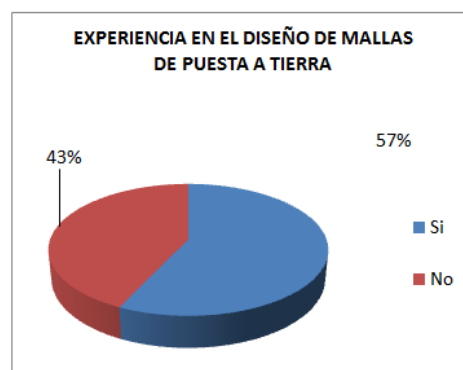
3. ¿Tiene experiencia en el diseño de mallas de puesta a tierra?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.4

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	4	57 %
No	3	43 %
TOTAL	7	100%

GRÁFICO No. 2.3



Fuente: Encuesta extendida a los Docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.
Realizado por: Investigadores.

Análisis e Interpretación

El diseño de mallas de puestas a tierra nos permite conocer y disponer de gran información referente a normas y procedimientos a seguir, fue esta la razón que nos llevó a plantear la presente pregunta a la población encuestada en la que se obtuvo el siguiente resultado: los docentes de nuestra área ha expresado en un porcentaje del 57% coincide en conocer o tiene experiencia en el diseño de una malla de puesta a tierra, pero también se ve en un porcentaje de un 43% no dispone de estos conocimientos, estos datos nos pone a reflexionar que si es necesario realizar diseños de una parte importante del SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA pero que también necesitan tener o disponer de esta información básica.

4. ¿Es necesario incrementar el material didáctico innovador en el proceso de enseñanza-aprendizaje dentro del área de diseño de Alto Voltaje?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.5

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	7	100 %
No	0	0 %
TOTAL	7	100%

GRÁFICO No. 2.4



Fuente: Encuesta extendida a los Docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

Es muy significativo en la actualidad contar con material didáctico innovador no solamente para aquellos que quieren adquirir experiencia en temas académicos de enseñanza-aprendizaje, sino para todas aquellas personas que ofrecen algún servicio o tienen algún negocio que permite mejorar su imagen profesional, demostrando por encima de todo, el conocimiento y la aceptación de las nuevas tecnologías por ende los docentes encuestados en un 100% confía y están de acuerdo con el incremento de material didáctico para el beneficio de todos los que hacen la Carrera de Ingeniería Eléctrica, y de allí nace la importancia de implementar una herramienta que ayude al fortalecimiento y adelanto de la enseñanza en el área de Diseño de Alto Voltaje.

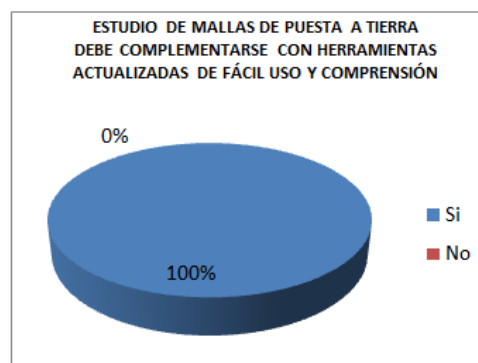
5. ¿Piensa usted que el estudio de mallas de puesta a tierra debe complementarse con herramientas actualizadas de fácil uso y comprensión?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.6

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	7	100 %
No	0	0 %
TOTAL	7	100%

GRÁFICO No. 2.5



Fuente: Encuesta extendida a los Docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

Hoy en día un sin número de investigaciones, desarrollos científicos, desarrollo de software y otras se lleva a cabo para el área de aprendizaje como complemento a la cátedra impartida en las aulas, cabe señalar que en la población de docentes encuestada el 100% se interesa por el desarrollo y perfeccionamiento académico, considerando necesario herramientas actualizadas de fácil uso y comprensión en lo referente a realizar estudio de las mallas de puesta a tierra que le servirá para un aprendizaje teórico-práctico.

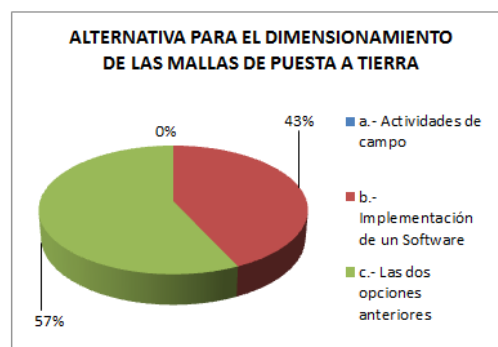
6. Según su criterio, de las siguientes alternativas ¿Cuál facilitaría el dimensionamiento de las mallas de puesta a tierra?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.7

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
a.- Actividades de campo	0	0 %
b.- Implementación de un Software	3	43 %
c.- Las dos opciones anteriores	4	57 %

GRÁFICO No. 2.6



TOTAL	7	100%
--------------	----------	-------------

Fuente: Encuesta extendida a los Docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

Los resultados obtenidos en lo referente a las alternativas que facilitarían el dimensionamiento de las mallas de puesta a tierra el 0% de los docentes manifiestan que las actividades de campo no ayuda en el dimensionamiento, no obstante el 43% aprueba la implementación de un software por que la experiencia que poseen en este ambito y de acuerdo a la oportunidad que han tenido de conocer o investigar sobre este tema consideran necesario desarrollar esta propuesta. Por otro lado el 57% de la poblacion expresa que las actividades de campo y la implementación del software con su manual de usuario permitira un mejor entendimiento ya que de esta manera complementaria lo indispensable para poder tener un dimensionamiento exacto de las mallas de puestas a tierra que esto permitira tener seguridad en el diseño de un sistema electrico de potencia.

7. ¿Conoce usted herramientas computacionales para el dimensionamiento de las mallas de puestas a tierra?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.8

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	3	43 %
No	4	57 %
TOTAL	7	100%

GRÁFICO No. 2.7



Fuente: Encuesta extendida a los Docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

Las herramientas computacionales en la actualidad son desarrolladas en diferentes áreas, también son manipuladas por todas las personas, ya sea para resolver problemas o realizar diseños necesarios al campo que pertenecen, pero en el ámbito de Sistemas Eléctricos de Potencia son pocos los que existen en especial el educativo como de presenta los resultados obtenidos: el 43% de los docentes manifiestan que si conocen o saben de herramientas computacionales que ayudan en el diseño de mallas de puestas a tierra con su respectivo dimensionamiento y el 57% dijeron que no conocen de los diseñadores mediante computadora, por lo que es necesario realizar una investigación de este importante tema.

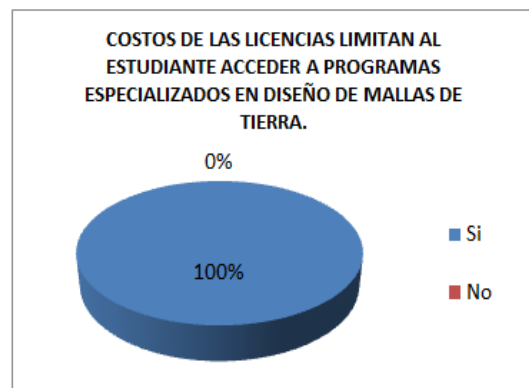
8. ¿Piensa usted que los altos costos de las licencias de programas computacionales especializados en diseño de mallas de puestas a tierra limitan su acceso a nivel estudiantil?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.9

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	7	100 %
No	0	0 %
TOTAL	7	100%

GRÁFICO No. 2.8



Fuente: Encuesta extendida a los Docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

Los diseños y el dimensionamiento de una malla de puesta a tierra en diferentes lugares dependen de muchos factores, es por eso para diseñar de una manera rápida y segura se han desarrollado herramientas computacionales avanzadas, los resultados obtenidos en un 100% los profesionales expresaron que el costo de las licencias han impedido el acceso a los estudiantes como uso a nivel educativo, por lo que el presente proyecto busca brindar una herramienta de fácil comprensión y libre acceso que sirva como ayuda didáctica para los estudiantes de Ingeniería Eléctrica y como un soporte para los profesionales que se involucren con el área.

9. ¿Cree usted que es necesario la elaboración de un software para el dimensionamiento de las mallas de puestas a tierra que sirva como un complemento a la información recibida en las aulas?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No.2.10

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	7	100 %
No	0	0 %
TOTAL	7	100%

GRÁFICO No. 2.9



Fuente: Encuesta extendida a los Docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

Con el avance de la informática en diferentes áreas es necesaria la elaboración de un software para el dimensionamiento de las mallas de puestas a tierra que sirva como un complemento a la información recibida en las aulas, es por esto que los docentes en un 100% recomiendan y aprueban la realización de este proyecto ya que las mallas de puesta a tierra brinda un alto grado de seguridad y salvaguarda para la integridad de las personas y equipos importantes del sistema eléctrico, considerando que esto les ayudaría a una mejor cátedra en esta materia impartida a los estudiantes.

10. ¿Un software especializado le facilitará el estudio del dimensionamiento de las mallas de puesta a tierra?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.11

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	7	100 %
No	0	0 %
TOTAL	7	100%

GRÁFICO No. 2.10



Fuente: Encuesta extendida a los Docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

El costo de diseñar instalar y probar una red de tierra nueva o renovada puede ser bastante alto. Algunos problemas no son solo difíciles de resolver, sino también costosos; sin embargo, si ocurre un accidente, los costos humanos y legales asociados podrían ser mayores, evidenciando esto el software ayudaría a los docentes que manifestaron en un 100% en la encuesta aplicada que la creación de una herramienta les permitirá impartir de mejor manera esto tan importante que es el proteger el SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA de fallas que ocurren en la misma. Además con esta herramienta computacional, se busca asegurar el diseño de los sistemas de puestas a tierra con lo que se alcanzaría un mayor índice de confiabilidad y menor riesgo en la integridad de las personas, durante el diseño en un software una vez implantado en la especialidad.

2.10.3 Encuesta aplicada a estudiantes de los ciclos superiores y alumnos egresados de la Carrera de ingeniería eléctrica de la UTC ubicada en la ciudad de Latacunga.

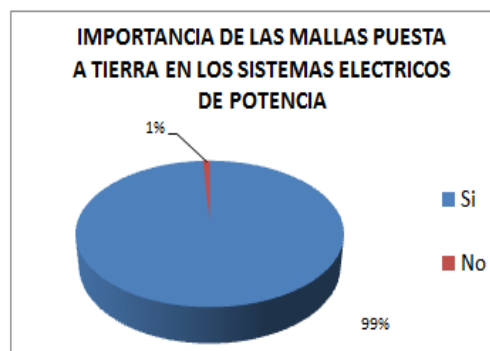
1. ¿Piensa usted que las mallas de puesta a tierra son una parte importante de los Sistemas Eléctricos de Potencia?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.12

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	99	99%
No	1	1%
TOTAL	100	100%

GRÁFICO No. 2.11



Fuente: Encuesta extendida a los estudiantes de los ciclos superiores y alumnos egresados.
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

Una perspectiva de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica y estando inmersos en el área de las puestas a tierra consideran que encierran importancia dentro de un Sistema Eléctrico de Potencia pues permite obtener el neutro del sistema, asegura que las partes sin corriente tales como armazones de los equipos estén al potencial de tierra aún en caso de fallar el aislamiento, considerando esto y según los resultados obtenidos de las mallas de puesta a tierra el 99% de la población piensa que tiene gran importancia, de igual manera el 1% se encuentra en desacuerdo de esta temática impartida en el aprendizaje y operación dentro del sistemas eléctricos de potencia.

2. ¿Conoce usted los parámetros y normas que se toman en cuenta para el dimensionamiento de mallas de puesta a tierra?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.13

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	66	66 %
No	34	34 %
TOTAL	100	100%

GRÁFICO No. 2.12



Fuente: Encuesta extendida a los estudiantes de los ciclos superiores y alumnos egresados
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

Las normas IEEE generalmente incluyen formulaciones para realizar los cálculos necesarios o una guía detallada sobre aspectos prácticos por ejemplo, cómo conectar partes de un equipo o dónde ubicar los electrodos. Aquí se describen los fundamentos sobre los cuales se basan los límites de diseño, la utilización de estos

medios ayudan a fortalecer los conocimientos, esto se comprobó mediante la encuesta dirigida a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica que en un 66% establecen que poseen conocimientos acerca de los parámetros y normas que se deben tener en cuenta en el diseño de una malla de puesta a tierra, pero el 34% se refiere que no posee conocimientos.

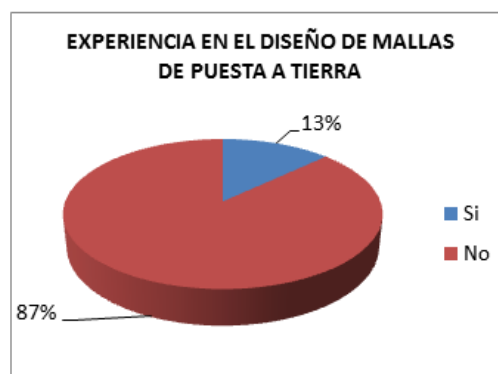
3. ¿Tiene experiencia en el diseño de mallas de puesta a tierra?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.14

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	13	13 %
No	87	87 %
TOTAL	100	100%

GRÁFICO No. 2.13



Fuente: Encuesta extendida a los estudiantes de los ciclos superiores y alumnos egresados
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

Para realizar un diseño de mallas de puestas a tierra nosotros como estudiantes debemos conocer y disponer de gran información referente a normas y procedimientos a seguir, en la que se obtuvo el siguiente resultado: los estudiantes de los ciclos superiores y alumnos egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica ha expresado en un porcentaje del 13% coincide en conocer o tiene experiencia en el diseño de una malla de puesta a tierra, pero también en un 87% no dispone de estos conocimientos o ha realizado un diseño, estos datos nos

representa que es necesario realizar estudios de una parte importante del sistemas eléctricos de potencia.

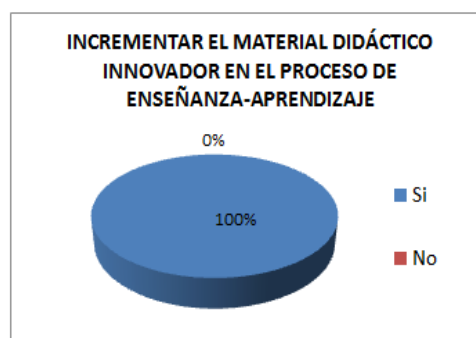
4. ¿Es necesario incrementar el material didáctico innovador en el proceso de enseñanza-aprendizaje dentro del área de diseño de Alto Voltaje?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.15

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	100	100 %
No	0	0 %
TOTAL	100	100%

GRÁFICO No. 2.14



Fuente: Encuesta extendida a los estudiantes de los ciclos superiores y alumnos egresados
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

Los sistemas de puesta a tierra son diseñados para asegurar que los potenciales durante una falla están bajo los límites apropiados. Cuando ocurre una falla la corriente fluye al terreno vía el electrodo de tierra, el potencial del electrodo de cualquier equipo conectado a él, se elevará sobre el potencial real de tierra. Para lo cual disponer de material didáctico innovador en este tema de enseñanza-aprendizaje, demostrando el conocimiento y la aceptación de las nuevas tecnologías por esto los estudiantes encuestados en un 100% confía y están de acuerdo con el incremento de material didáctico para el beneficio de todos los que

hacen la Carrera de Ingeniería Eléctrica, y de allí nace la importancia de implementar una herramienta que ayude al fortalecimiento y adelanto de la misma.

5. ¿Piensa usted que el estudio de mallas de puesta a tierra debe complementarse con herramientas actualizadas de fácil uso y comprensión?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.16

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	98	98 %
No	2	2 %
TOTAL	100	100%

GRÁFICO No. 2.15



Fuente: Encuesta extendida a los estudiantes de los ciclos superiores y alumnos egresados
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

Un sin número de investigaciones, desarrollo científico, desarrollo de software para el aprendizaje como complemento a la cátedra impartida en las aulas se están desarrollando; cabe señalar que en la población encuestada el 98% de los estudiantes busca el desarrollo y perfeccionamiento académico, mediante herramientas actualizadas de fácil uso y comprensión en lo referente a realizar estudio de las mallas de puesta a tierra. Por otro lado el 2% de los encuestados no considera la utilización de estos medios, esto depende del interés de cada uno de

nosotros que de acuerdo al avance tecnológico podemos aprovechar y mejorar nuestro conocimiento de temas concernientes a nuestra carrera.

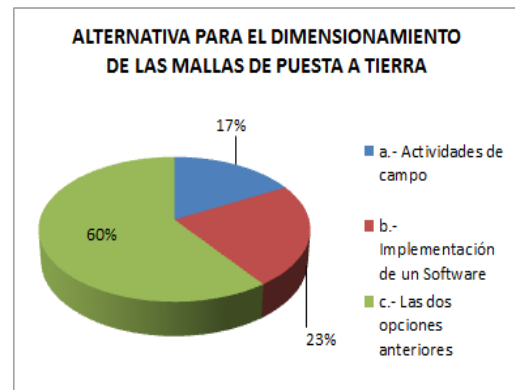
6. Según su criterio, de las siguientes alternativas ¿Cuál facilitaría el dimensionamiento de las mallas de puesta a tierra?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.17

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
a.- Actividades de campo	17	17 %
b.- Implementación de un Software	23	23 %
c.- Las dos opciones anteriores	60	60 %
TOTAL	100	100%

GRÁFICO No. 2.16



Fuente: Encuesta extendida a los estudiantes de los ciclos superiores y alumnos egresados
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

Los criterios obtenidos en lo referente a las alternativas que facilitarían el dimensionamiento de las mallas de puesta a tierra son los siguientes: el 17% de los estudiantes manifiestan que las actividades de campo ayudan en el dimensionamiento y diseño dentro de un SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA, no obstante el 23% aprueba la implementación de un software, por que la experiencia en este ámbito es muy reducido y la oportunidad que han tenido de vivir en las aulas o investigar sobre este tema consideran necesario desarrollar esta propuesta. Por otro lado el 60% de la población expresa que las actividades de campo y la implementación del software permitiera un mejor entendimiento como es lo teórico y la práctica, la misma permitiera tener seguridad en el diseño de un Sistema Eléctrico de Potencia.

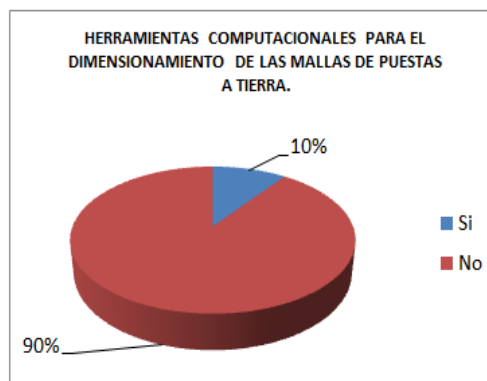
7. ¿Conoce usted herramientas computacionales para el dimensionamiento de las mallas de puestas a tierra?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.18

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	10	10 %
No	90	90 %
TOTAL	100	100%

GRÁFICO No. 17



Fuente: Encuesta extendida a los estudiantes de los ciclos superiores y alumnos egresados
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

Un correcto diseño del sistema de puesta a tierra es fundamental para asegurar la correcta conducción de la descarga eléctrica o falla en el SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA. Para esto el desarrollo de las herramientas computacionales que resuelvan problemas o realicen diseños en el ámbito eléctrico son pocos los que existen, como se representa en el instrumento técnico aplicado con los siguientes resultados: el 10% de los encuestados manifiestan que si conocen o saben de herramientas computacionales que ayudan al dimensionamiento de mallas de puestas a tierra y el 90% dijeron que no conocen, por lo que es necesario realizar una investigación y así llegar a conocer más de estas herramientas que ayudan a los estudiantes a una mejor preparación académica y profesional.

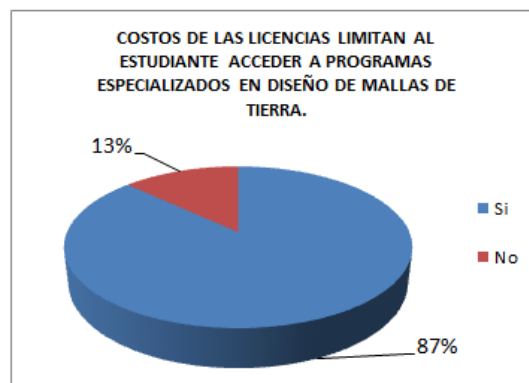
8. ¿Piensa usted que los altos costos de las licencias de programas computacionales especializados en diseño de mallas de puestas a tierra limitan su acceso a nivel estudiantil?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.19

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	87	87 %
No	13	13 %
TOTAL	100	100%

GRÁFICO No. 18



Fuente: Encuesta extendida a los estudiantes de los ciclos superiores y alumnos egresados
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

El diseño de una malla de puesta a tierra de una manera rápida y segura se debe ha programas computacionales avanzados en esta área, de acuerdo a los resultados de las encuestas aplicadas en un 87% de los estudiantes expresaron que el costo de las licencias han impedido su acceso a nivel educativo, creando vacíos referente a lo recibido en las aulas ya que este tema debe ser tratado en conjunto tanto teórico como práctico, mientras que el 13% manifestaron que no es un inconveniente los costos para acceder a este tipo de programas.

9. ¿Cree usted que es necesario la elaboración de un software para el dimensionamiento de las mallas de puestas a tierra que sirva como un complemento a la información recibida en las aulas?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.20

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	99	99 %
No	1	1%
TOTAL	100	100%

GRÁFICO No. 2.19



Fuente: Encuesta extendida a los estudiantes de los ciclos superiores y alumnos egresados
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

Hoy en día en la mayor parte de los sistemas se han implementado el uso de tecnologías y con el crecimiento de la industria en nuevas tecnologías, desarrollar y mantener un software de una manera fácil, rápida y menos costosa para el dimensionamiento de las mallas de puestas a tierra se hace necesario, es por esto que los estudiantes en un 99% aprueban la realización de este proyecto ya que las mallas de puesta a tierra brinda un alto grado de seguridad y salvaguarda para la integridad de las personas y equipos eléctricos, considerando que esto les ayudaría como un complemento a la información recibida de parte de los docentes. Y solo el 1% de los estudiantes encuestados expresan que no son necesarias estas herramientas.

10. ¿Un software especializado le facilitará el estudio del dimensionamiento de las mallas de puesta a tierra?

Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA No. 2.21

Alternativas	Frecuencia	Porcentaje
Si	97	97 %
No	3	3 %
TOTAL	100	100%

GRÁFICO No. 2.20



Fuente: Encuesta extendida a los estudiantes de los ciclos superiores y alumnos egresados
Realizado por: Grupo de Investigadores.

Análisis e Interpretación

El presente proyecto busca diseñar un software de aplicación que permita realizar el dimensionamiento de las mallas de puesta a tierra. Un software de aplicación es un programa realizado por los usuarios o para los usuarios que realizan una función específica, y en nuestro caso se encargará de resolver problemas de dimensionamiento de la malla de puesta a tierra, mediante la implementación de algoritmos matemáticos complejos, evidenciando esto el software ayudaría a los estudiantes que manifestaron en un 97% en la encuesta aplicada que la creación de una herramienta les permitirá de mejor manera el estudio ya que es importante proteger el sistema eléctrico de potencia de fallas que ocurren en la misma, y solo un 3% de los encuestados dijeron que esto no les ayudaría al estudio de esta materia.

2.11 Verificación de la Hipótesis

La hipótesis planteada en el proyecto de tesis decía: “Diseño de un SOFTWARE para el dimensionamiento de una MALLA DE PUESTA A TIERRA, como una herramienta que MEJORARÁ EL APRENDIZAJE de los ESTUDIANTES de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi”.

Mediante la aplicación del instrumento técnico se obtuvo la mayor información para conocer la situación real del aprendizaje especialmente en la materia Diseño de Alto Voltaje en la malla curricular donde se realiza estudio de las puestas a tierra que es una parte importante del Sistema Eléctrico de Potencia, el tema planteado por el grupo de investigación se ha desarrollado de acuerdo a los requerimientos y peticiones de los estudiantes y docentes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, con la finalidad de satisfacer las diferentes necesidades existentes de una cátedra teórica-práctica y así contribuir al desarrollo oportuno de la misma.

De allí la importancia para el grupo de investigación que cuenta con la aprobación y apoyo de la Carrera para la implementación del tema planteado, ya que nuestra carrera ha mostrado un gran interés por implementar un Software que ayude a la optimización de recursos y a obtener mejores resultados a futuro, permitiendo a los estudiantes tener mayor comunicación con sus docentes al presentarse dudas de un diseño de una malla de puesta a tierra, así la facilidad de conocer todos los parámetros y normas en las que se basa un diseño.

Implementación del software

Luego de la culminación del programa este fue aplicado en la comprobación de cálculos de proyectos eléctricos como la subestación Pujilí. Obteniendo datos reales en relación al diseño realizado con herramientas profesionales y por ingenieros contratistas con lo cual se logró comprobar que a más de ser una herramienta educativa puede constituirse como una ayuda para los profesionales en el campo laboral.

El prototipo del software fue utilizado por los alumnos egresados de ingeniería eléctrica en el dimensionamiento de la malla del laboratorio de alto voltaje implementado en la universidad, proporcionando datos acertados en cuanto a conductores y varillas utilizadas.

A nivel institucional el software será instalado en los laboratorios de ingeniería eléctrica con el fin de que esté al alcance de los estudiantes cuando los mismos lo requieran.

Al implementar el Software se obtiene resultados como:

- Diseñar una malla de puesta a tierra acorde a los requerimientos técnicos vigentes de manera rápida optimizando recursos.
- Los cálculos y reportes generados de un diseño de una malla de puesta a tierra para un sistema eléctrico son de fácil entendimiento.
- Se reemplaza en lo posible la utilización de documentación para realizar un cálculo por parte del estudiante.
- Se optimiza el tiempo de trabajo de diseño y mejora el entendimiento por parte del usuario (estudiante o profesional que esté realizando el diseño).
- El software dispone de un manual de usuario para obtener información de los parámetros a seguir durante el diseño.
- Se estableció solo información necesaria que le interesa al estudiante en cuanto a normas a seguir en un dimensionamiento de una malla de puesta a tierra.

En base a lo expuesto se puede dar cuenta que el software de dimensionamiento de mallas de puesta a tierra creado, por su facilidad de manejo lo convierte en una

herramienta técnica de libre acceso y de gran aplicación en las aulas y en la vida profesional; con lo cual verificamos la hipótesis enunciada.

2.11.1 Conclusión

La carrera de Ingeniería Eléctrica con el permanente crecimiento de la demanda estudiantil y gracias al amplio campo que exige una educación teórica-práctica en las materias recibidas, de la misma manera la actualización de la educación permite el uso de herramientas computacionales que mejora el conocimiento, por esto que un diseño de una herramienta computacional para el diseño o dimensionamiento de una malla de puesta a tierra como complemento a lo recibido en las aulas se hace necesario.

Mediante un análisis de las respuestas obtenidas, es evidente que la Carrera de Ingeniería Eléctrica, requiere de un software para realizar la práctica o modelación del dimensionamiento de una malla de puesta a tierra, es decir, los estudiantes necesitan un complemento en su formación académica.

Pero en la actualidad se ha visto el gran interés y colaboración por parte de los estudiantes y docentes, los mismos que han facilitado la información necesaria para el desarrollo del presente proyecto, así como también la oportunidad de aplicar las diferentes herramientas de la investigación.

CAPITULO III

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.

3.1 PRESENTACIÓN.

En un Sistema Eléctrico de Potencia (S.E.P), existe la denominada “tierra” que busca brindar un camino de baja impedancia por el cual se descarguen las variaciones de los parámetros eléctricos nominales del sistema. El óptimo diseño de las mallas de puesta a tierra, tiene como premisa fundamental garantizar la confiabilidad o robustez del sistema y para esto debe permitir la descarga rápida de voltajes peligrosos para los componentes físicos del sistema pero sobre todo salvaguardando la integridad de los seres bajo condiciones de funcionamiento normal y condiciones de falla

Hoy en día la demanda de energía a nivel mundial crece constantemente por las nuevas tecnologías que hacen que la electricidad sea el motor elemental que mueve al mundo. El Ecuador actualmente está abriendo nuevos campos dentro del estudio de la electricidad ya que se busca brindar mejores niveles de confiabilidad en los sistemas eléctricos, y que mejor combinar los avances tecnológicos con los conocimientos técnicos en lo referente al dimensionamiento de las mallas de puesta a tierra para crear una herramienta que permita su diseño óptimo tomando en cuenta todos los factores que se involucran dentro del mismo.

La reglamentación del sector eléctrico para los sistemas eléctricos, consideran importantes los aspectos relacionados con la calidad del servicio, razón por la cual

una de las principales preocupaciones dentro de la Ingeniería Eléctrica ha sido el buscar condiciones favorables y la toma de decisiones correctas para la distribución de energía, reduciendo el número y tiempo de interrupciones de servicio que se presentan por daños a componentes del Sistema Eléctrico de Potencia que se producen por malos aterramientos del sistema, mejorando la confiabilidad del mismo. Es así que la confiabilidad y seguridad en el diseño de los sistemas eléctricos están ligadas estrechamente al diseño de las mallas de puesta a tierra.

3.2 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA.

Los procedimientos para diseñar sistemas de tierras se basan en conceptos tradicionales, pero su aplicación puede ser muy compleja ya que cada instalación es única en su localización, tipo de suelo y equipos a proteger.

La instalación de un sistema de puesta a tierra permite la protección de personas y bienes contra los efectos de los sobre voltajes, descargas estáticas, señales de interferencia electromagnética y contactos indirectos por corrientes de fugas a tierra. Por lo tanto, la ejecución correcta de la misma brinda importantes beneficios al evitar pérdidas de vidas, daños materiales e interferencias con otras instalaciones.

Como se puede invertir mucho dinero en un sistema de puesta a tierra, es necesario asegurar el correcto diseño del mismo. En la actualidad, existen diversas herramientas computacionales que permiten el diseño y simulación de los sistemas de puesta a tierra, sin embargo los altos costos de las licencias de estos programas hacen que su acceso sea limitado, por lo que el presente proyecto busca brindar una herramienta de fácil comprensión y libre acceso que sirva a nivel educativo como una ayuda didáctica para los estudiantes de Ingeniería Eléctrica y como un soporte para los profesionales que se involucren con el área.

Con el desarrollo de este proyecto, se tendrá la oportunidad de explicar claramente los conceptos que intervienen en lo que se refiere a puestas a tierra y la necesidad de que los conocimientos sean traspasados a los diseñadores a instaladores, para lograr una mayor comprensión del tema en estudio. El estudio, diseño y aplicación de esta herramienta computacional se fundamentará en toda la información disponible acerca de los Sistemas de Puesta a Tierra; por lo cual, consideramos que existe información suficiente a ser usada como fuente de consulta, basado en normas técnicas para su correcta utilización.

La aplicación tendrá soportes tecnológicos e informativos, siendo útil en el diseño eléctrico y una innovadora herramienta para estudiantes y docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.3 OBJETIVOS.

3.3.1 Objetivo General.

Investigar los parámetros eléctricos de mallas de puesta a tierra para crear un Software que ayude al aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.3.2 Objetivos Específicos.

- Analizar los fundamentos teóricos y conceptuales en los que se enmarca el diseño de las mallas de puesta a tierra.
- Diagnosticar la situación actual del conocimiento de los alumnos de Ingeniería Eléctrica sobre los Sistemas de Puesta a Tierra, para determinar las fortalezas y debilidades.
- Crear un programa computacional que permita el diseño y simulación de las mallas de puesta a tierra.

3.4 Descripción de la Investigación.

El propósito principal del software “Diseño de un software para el dimensionamiento de la malla puesta a tierra como herramienta que mejorará el aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Eléctrica” es permitir desarrollar una aplicación que realice dimensionamiento virtual de puesta a tierra, proporcionando al estudiante información detallada de los parámetros y materiales que necesita la misma; Este sistema manejará un módulo de usuario (estudiante).

El módulo que se refiere al usuario, al entrar a esta aplicación será capaz de disponer de campos para ingresar datos y realizar los cálculos necesarios los mismos, que se realizarán automáticamente por parte del sistema y en la forma gráfica una vez que se realice el enlace gráfico con AUTOCAD, como también puede realizar correcciones si se ingresa datos erróneos.

De esta manera y con esta aplicación se trata de disminuir recursos económicos y mejorar la enseñanza aprendizaje de los estudiantes con un modelo teórico práctico, donde uno de los puntos que hay que destacar de este tipo de aplicación es que permite a un estudiante realizar comparaciones con software existentes.

3.4.1 Alcance de la investigación.

En base a las normas IEEE 80-2000, adoptadas por el CONELEC para lo referente al diseño de sistemas de puesta a tierra, se creará un Software que permita el diseño de las mallas de puesta a tierra para subestaciones de transmisión, subtransmisión y distribución de energía eléctrica; considerando los parámetros eléctricos y de suelo para un dimensionamiento lo más óptimo posible. Esta herramienta brindará un nuevo nivel de comprensión a los estudiantes convirtiéndose en el nexo entre la teoría y la práctica. Configurar y dimensionar adecuadamente la malla de puesta a tierra, definir claramente el posible costo del diseño, definir los máximos potenciales a los cuales debe estar sometido dicho diseño son los aspectos a tomarse en cuenta para el desarrollo del proyecto,

teniendo siempre en cuenta que la confiabilidad del sistema y la seguridad de las personas se involucran directamente con el diseño de la malla de puesta a tierra.

3.4.2 Impacto de la Investigación.

Con respecto a este tema el impacto de la investigación es a nivel educativo porque en el tema de investigación el grupo investigador habla de sistemas de dimensionamiento de mallas puesta a tierra para que la institución busque posesionarse y preparar profesionales aptos en el campo eléctrico, y por ende automatizar la enseñanza en los nuevos elementos que están preparándose en esta carrera.

Al contar con un sistema de dimensionamiento de mallas de puesta a tierra se puede interactuar con el estudiante y el docente; lo cual, ayuda a tener una comunicación directa para el aprendizaje y prácticas que ofrece el software didáctico a los alumnos de la carrera CIYA en el caso particular en la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.4.3 Limitaciones de la Investigación.

La aplicación en el momento que se ejecute los cálculos devolverá un resultado decimal, y también como se encuentra enlazado al software visualizador presentara un grafica de acuerdo a los resultados que arroje dicho proceso, con medidas ingresadas por parte del estudiante, además desplegando un presupuesto tentativo que implicara desarrollar el diseño en el campo a aplicarse, este proceso se da siempre y cuando el usuario o beneficiario este de acuerdo.

Se ha considerado la utilización de herramientas tecnológicas de software libre con el objeto de promover su uso de manera que se reduzca el costo de desarrollo e implementación.

3.4.4 Identificación de actores.

Docente: Persona que interactúa constantemente con el sistema, realiza cálculos y pruebas ingresando datos reales, y dar respuestas a los estudiantes que han realizado su diseño previo, en si manipular el sistema en su totalidad.

Usuario (estudiante): Persona que accede a la aplicación, tiene la posibilidad de realizar diseños y cálculos de acuerdo a la necesidad con la información obtenida en el estudio de campo, y puede visualizar el diseño virtual de la imagen generada con las condiciones ingresadas al sistema de cálculo.

Tabla N° 3.1
CUADRO DEL CASO DE USO

CASOS DE USO	ACTOR(ES)	DESCRIPCIÓN
Manejo del software	Docente/Estudiante	Da a conocer el dimensionamiento de la malla puesta a tierra
Ingreso a la aplicación	Estudiante	Ingresa al software donde especifica los datos a ingresar y que despliegue los resultados requeridos.

Fuente: FAIRLEY Richard, "Ingeniería del Software", México, 1988

Realizado por: Grupo de Investigadores.

3.5 DESARROLLO DE LA PROPUESTA.

En el capítulo I, se definen cada uno de los parámetros a tomar en consideración para el diseño de las mallas de puesta a tierra. Mediante este estudio, se construirá el programa computacional para el diseño de los mallados. El software va a tomar en consideración los tipos más generalizados de mallas siendo estas las mallas en cuadrado, en rectángulo y las del tipo "L", de estos se determinará la alternativa más efectiva para reducir la resistencia final de la malla.

3.5.1 SOFTWARE A DISEÑAR

3.5.1.1 Antecedentes

En la actualidad, el diseño de software se ha constituido en la principal fuente de tecnología de los países desarrollados a nivel mundial. En la mayor parte de los sistemas se han implementado el uso de tecnologías modernas ya que dichos sistemas dependen o son controlados por software. Esto obliga a utilizar técnicas y procedimientos que permitan obtener herramientas funcionales, confiables y de calidad, para satisfacer las necesidades de las empresas, industrias, instituciones, profesionales. etc.

Con el crecimiento de la industria del software se han desarrollado nuevas tecnologías que permiten desarrollar y mantener el software de una manera fácil, rápida y menos costosa. Algunas de estas tecnologías están aplicadas a desarrollos específicos como el diseño de sitios web, programación orientada a objetos, y que mejor si estos nuevos programas se involucran en todas las áreas de conocimiento.

La ingeniería de software se encarga de establecer la metodología que permite obtener un software de calidad empleando el menor tiempo posible y sin desperdiciar recursos económicos y humanos. Es indispensable conocer las técnicas utilizadas en el diseño de software, los criterios para evaluar su funcionalidad y posibles riesgos que se originan en todo el ciclo de vida del proyecto

En el diseño de software, existen tres tipos distintos de actividades: el diseño externo, el diseño arquitectónico y el diseño detallado, conocidos como diseño interno.¹⁹

El diseño externo consiste en concebir, planear y especificar las características del software a construir mediante la programación, dentro de este diseño se pueden incluir los interfaces, los reportes que genera, la definición de datos de entrada y salida, así como las características funcionales, los requerimientos de desempeño y la estructura general del programa.

¹⁹ FAIRLEY Richard, "Ingeniería del Software", México, 1988, p. 35

El diseño interno incluye por su parte la concepción, la planeación y la especificación de la estructura interna y los detalles de proceso del programa. Las metas del diseño interno son: las de especificar la estructura interna, los detalles de procesamiento, condiciones de ejecución, elaborar planes y pruebas y proporcionar una guía para dichas pruebas y actividades de mantenimiento.

3.5.1.2 Importancia del software.

El software es el elemento lógico fundamental para el funcionamiento del computador y diversas aplicaciones del mismo. Está formado por un conjunto de instrucciones bien detalladas, la configuración de datos que se necesitan para hacer que estos programas operen de manera correcta y los documentos físicos y virtuales que describen el uso y operación de los programas.

Es importante considerar ciertas características que hacen que el diseño de un software sea importante.²⁰

- El software es un elemento lógico y no físico.
- El software se desarrolla o se construye; no se fabrica.
- El software no se desgasta.
- El software cambia y evoluciona continuamente.

Lo que se busca con la ejecución del presente proyecto es diseñar un software de aplicación que permita realizar el dimensionamiento de las mallas de puesta a tierra; es decir, un software de aplicación orientado a la Ingeniería Eléctrica. Un software de aplicación es un programa realizado por los usuarios o para los usuarios que realizan una función específica, y en nuestro caso se encargará de resolver problemas un dimensionamiento de la malla de puesta a tierra, mediante la implementación de algoritmos matemáticos complejos.

²⁰LARMAN Graig, "Manual del programador", Colombia, 2001, p 66

En la mayoría de sistemas informáticos el software es el elemento que más presupuesto requiere, debido a los diversos métodos de diseño y lenguajes de programación a ser utilizados. Una mala estimación del presupuesto del software puede causar pérdidas económicas, incluso un fracaso en el proyecto planteado.

La estimación del costo del software no es una ciencia exacta, porque depende del tipo de software que se vaya a desarrollar. No se debe subestimar el costo del proyecto y para la estimación del presupuesto, se deben considerar todos los costos que se generan durante vida del mismo, incluyendo los mejoramientos esperados y los costos de mantenimiento.

Al realizar un programa computacional, se deben escoger las herramientas (lenguajes de programación, librerías, editores de texto, instaladores) adecuados que permitan desarrollar el programa según los requerimientos establecidos en el proyecto.

Estas herramientas deben estar acorde a los avances tecnológicos que se presentan en el desarrollo de software. La información que disponga cada una de estas herramientas es fundamental para su utilización. Dentro de las herramientas de programación existen librerías que realizan funciones específicas, dentro de las que podemos citar: librerías para realizar gráficos en computadora o librerías que permiten diseñar interfaces tipo profesional.

3.6 CONSTRUCCIÓN DEL SOFTWARE.

3.6.1 Introducción.

El software es el elemento lógico fundamental para el funcionamiento del computador. Está formado por un conjunto de instrucciones bien detalladas, la

configuración de datos que se necesitan para hacer que estos programas operen de manera correcta y los documentos físicos y virtuales que describen el uso y operación de los programas. Un software técnico, se basa en algoritmos y formulismos para determinar valores, características, modelos y cálculos en diferentes áreas técnicas como pueden ser la mecánica, la arquitectura, la neumática, entre otras.²¹

Actualmente la tendencia es hacia un mundo heterogéneo en el cual convivan diversos productos que se complementen y en ese contexto contar con herramientas de desarrollo abiertas con conectividad a diversas plataformas, basadas en tecnología orientada a objetos y que permitan la reutilización del software. De este modo, las ciencias técnicas se han involucrado directamente con los avances tecnológicos mediante la creación de herramientas computacionales con el fin de automatizar los aspectos clave de todo lo que implica el proceso de desarrollo de un sistema.

La ingeniería de software se encarga de establecer la metodología que permite obtener un software de calidad empleando el menor tiempo posible y sin desperdiciar recursos económicos y humanos. Es indispensable conocer las técnicas utilizadas en el diseño de software, los criterios para evaluar su funcionalidad y posibles riesgos que se originan en todo el ciclo de vida del proyecto.

3.6.2 Fases de construcción del software.

Los modelos que intervienen en el proceso de diseño de software son representaciones con diferentes niveles de abstracción de las especificaciones de los requerimientos. Los modelos de diseño se mejoran porque en la realización de cada uno de ellos se descubren errores y omisiones del sistema.²²

²¹ MOLINA Rita, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE DE MANEJO DE HISTORIAS CLÍNICAS", Latacunga, 2008, p 120.

²² CAIZA, Víctor, "Diseño e implementación del Software", Quito, 2008.

Según los investigadores, el desarrollo de un Software sigue una metodología lineal o secuencial, es decir que para culminar con el diseño hay que seguir una serie de pasos de manera ordenada con el fin de obtener resultados acertados como información de salida. La figura 3.2 presenta las fases a seguir para la construcción del software.



Fuente:” Diseño e implementación del Software.”

Recopilado por: Grupo de Investigadores.

3.6.2.1 Diseño de Datos.

El diseño de datos traduce los datos obtenidos en el análisis de requerimientos a estructuras globales a nivel de componentes de software, utilizando niveles de abstracción de datos y ocultamiento de información. Se considera los siguientes principios para el diseño de datos.

- Desarrollar y revisar las representaciones del flujo y contenido de datos, identificando los objetos de datos, considerar alternativas y evaluar el impacto de los datos que modelan el diseño del software.
- Identificar la estructura de datos y operaciones que se realizarán en ellas.
- El diseño de datos debe ser descendente, desde referencias generales especificándose en detalle.
- El uso de una biblioteca de plantillas de datos (tipo abstracción de datos) puede reducir el trabajo de especificación y diseño de datos.
- Hay que pensar en que el lenguaje de programación soporte la estructura de datos elegida.

3.6.2.2 Diseño Arquitectónico.

El diseño arquitectónico de un programa o sistema de cómputo describe la estructura y la organización de los componentes del software, sus propiedades y las relaciones entre ellos. A través de la arquitectura del software se puede analizar, evaluar y probar la efectividad del diseño en etapas iniciales permitiendo al grupo desarrollador realizar cambios oportunos. El tipo de diseño arquitectónico a utilizar depende de la estructura del sistema a desarrollar, en ocasiones se deben utilizar diversas arquitecturas según como se divida el sistema.

En cada tipo de diseño arquitectónico, se debe considerar los siguientes aspectos:

- Desempeño.
- Seguridad.
- Protección.
- Disponibilidad.
- Mantenibilidad.

3.6.2.3 Diseño de Interfaz.

El diseño de la interfaz es el mecanismo que permite establecer una comunicación hacia o fuera del sistema. Existen tres elementos importantes del diseño de interfaz.

- La interfaz con el usuario: Permite establecer un medio de comunicación entre el usuario y una computadora. La interfaz de usuario incorpora elementos estéticos, ergonómicos y técnicos.
- Interfaces externas: Es el medio de comunicación entre sistemas externos a la aplicación. En este tipo de interfaces se debe considerar el uso de revisión de errores y la implementación de seguridades.
- Interfaces internas: Permite la comunicaron y colaboración entre componentes de diseño.

3.6.2.4 Diseño de componentes.

El diseño de componentes define las estructuras de datos, interfaces y los algoritmos para un módulo de programa. Cada componente proporcionar la información suficiente para la generación del código fuente, su representación puede ser mediante diagramas de flujo, formatos de texto o tabulares.

3.6.2.5 Diseño del despliegue.

El diseño a nivel del despliegue indica la configuración y funcionalidad de los subsistemas dentro del entorno computacional.

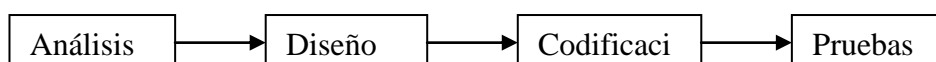
3.6.3 Métodos de Diseño del Software.

Para el desarrollo de un software informático se debe considerar una metodología o modelo para el proceso de desarrollo del sistema y otro para el diseño. En la metodología para el diseño se especificará los requerimientos funcionales del sistema y una visión general de la estructura y funcionamiento de la misma. En la metodología de desarrollo se implementará el software mediante la ayuda de lenguajes de programación.

3.6.3.1 Método Lineal Secuencial

La metodología que se aplicará para el desarrollo del software, es el método Lineal Secuencial también conocido como modelo de cascada, se basa en un enfoque sistemático y secuencial del desarrollo del software que comienza en un nivel de sistemas y progresa con el análisis, diseño, codificación pruebas y mantenimiento la figura 3,2 ilustra el modelo lineal secuencial para la ingeniería de software.

GRÁFICO 3.2
MODELO LINEAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PROGRAMAS



Fuente: “Diseño e implementación del Software”

Recopilado por: Grupo de investigadores.

Cada una de las etapas permite obtener una definición exacta de lo que se requiere en el sistema, aunque según otros autores este modelo contempla seis actividades los enumerados en el gráfico son las 4 bases en la que se debe sujetar los diseñadores responsables del proyecto, este resultado de la ejecución será utilizada para la siguiente fase. La finalización con éxito de todos los períodos que propone este método, será un software didáctico listo para su funcionamiento para el cual fue creado.

De acuerdo a Presman todo proceso de ingeniería de software debe comenzar por contestar las siguientes preguntas:²³

- ¿Cuál es el problema a resolver?
- ¿Cuáles son las características de la entidad que se utiliza para resolver el problema?
- ¿Cómo se realizara la entidad y la solución?
- ¿Cómo se construirá la entidad?
- ¿Cómo va a probarse la entidad?
- ¿Cómo se apoyara la entidad cuando los usuarios (estudiantes docentes) soliciten correcciones y adaptaciones en la entidad?

3.6.4 Fases de diseño del Software.

La tabla 3.1 presenta cada una de las Fases de diseño del Software con los parámetros de entrada y salida que interviene en cada una.

TABLA 3.2

FASES DE DISEÑO DEL SOFTWARE

FASE	ENTRADA	SALIDA	DESCRIPCIÓN
Fase Ingeniería y modelado de	Requisitos de todos los elementos del	Establecimiento de los	El software siempre forma parte de un contexto más grande, que puede ir desde

²³ PRESMAN Hyler, “Desarrollo del Software”, México, Segunda Edición, 2002, p. 99.

Sistemas.	sistema.	documentos de requisitos del sistema (usado hasta el final del sistema).	una empresa hasta un sistema. En caso de la herramienta de software que este proyecto propone, queda establecido el hecho de que el software es una aplicación aislada que no se incorpora a un sistema computacional más grande, y por eso que tienen que establecerse requerimientos funcionales y no funcionales que permitan que el software desarrollado pueda ubicarse exitosamente dentro de este contexto.
Fase de Análisis de los requisitos del software.	Establecimiento de requisitos del sistema.	Documentos de los requisitos específicos del software	El proceso de reunión de requisitos se intensifica y se centra específicamente en el software, es fundamental que a través de una colección de requerimientos, el desarrollador o desarrolladores comprendan completamente la naturaleza de los programas que deben construirse para desarrollar la aplicación de la función requerida, comportamiento, rendimiento e interconexión. En caso de este proyecto, el proceso de análisis y obtención de requerimientos se llevara a cabo por parte de los responsables directos del software a desarrollarse.
Fase de Diseño.	Documentos de los requisitos específicos del software	Establecimiento de la estructura de datos y otras actividades.	El diseño del software es realmente un proceso de muchos pasos que se clasifican dentro de uno mismo. En general la actividad del diseño se refiere al establecimiento de la estructura de datos, la arquitectura general del software, representaciones de interfaz y algoritmos. El proceso de diseño traduce requisitos en una representación de software didáctico.
Fase de generación de código.	Establecimiento de la estructura de datos y otras actividades.	Documentos de Generación de ambiente virtual mediante la generación de códigos.	Esta actividad consiste en traducir el diseño en una forma legible por la maquina. En el caso de la aplicación de software de este proyecto, la generación del código se refiere tanto a la parte de generación de los ambientes virtuales, como a la parte en la cual se añadirá conjuntamente a estos ambientes. El lenguaje de programación orientada a objetos visual Basic 6.0 es un lenguaje que ayuda a programar líneas de código los mismos que arrojarán resultados y serán enlazados al software de visualización AUTOCAD para que se encargue de realizar automáticamente las imágenes en 2D especificando las características del diseño virtual de la mallas de puesta a tierra.

Fase de pruebas.	Documentos de Generación de ambiente virtual mediante la generación de códigos.	Comportamiento del software durante el periodo de pruebas.	Una vez que se ha generado el código, comienza las pruebas del software o sistemas que se ha desarrollado, de acuerdo al proceso de pruebas se centra en los procesos lógicos internos del software, asegurando que todas las sentencias se han comprobado, y en los procesos externos funcionales, es decir, la realización de las pruebas para detección de errores. En el caso de una herramienta de software para tratar el diseño de la malla, es necesario tener etapas de pruebas tanto para la parte funcional del sistema, como para la parte aplicativa del mismo. Se requiere poder probar el software con sujetos reales que puedan evaluar el comportamiento del sistema con el fin de proporcionar retroalimentación a los desarrolladores. es necesario durante el proceso de desarrollo no se pierda el contacto con los beneficiados, de esta manera los objetivos del software se mantendrán vigentes y se tendrá una idea clara de los aspectos que tienen que probarse durante el periodo de pruebas.
Fase de Mantenimiento.	Comportamiento del software durante el periodo de pruebas.	Adaptaciones y acoplamiento a cambios internos cuando así lo requiera el sistema de acuerdo a su utilización.	El software individualmente sufrirá cambios, y habrá que hacer algunas modificaciones a su funcionalidad. Es de suma importancia que el sistema de calidad pueda adaptarse con fines de acoplarse a los cambios de su entorno externo.

Fuente: "Ingeniería del Software", 1998

Realizado por: Grupo de Investigadores

3.7 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SOFTWARE PARA DISEÑO DE MALLAS DE PUESTA A TIERRA "SISMAT".

Una vez analizadas cada una de las fases de diseño y construcción de un software y partiendo de un modelo lineal o secuencial y del diagrama de flujo proporcionado por las Normas IEEE-80, se definirán cada uno de los parámetros, variables y entornos para construir el "SISMAT".

3.7.1 Requerimientos del software.

Como el diseño del software se basará en las normas IEEE 80-2000, la estructura o diagrama de flujo a seguir para su construcción será el definido en dichas normas.

El objetivo del programa a desarrollar es obtener los valores de resistencia y potenciales que presentan las diversas configuraciones de mallado. También mostrar los resultados en la pantalla del computador mediante una interfaz gráfica.

Los requerimientos que debe tener el programa son:

- Las características de electrodos y conductores son definidas en un documento.
- Los datos de entrada son: Análisis de Suelo, Análisis de Electrodos, Análisis de Conductores, Parámetros de Diseño y Diseño Preliminar.
- El análisis matemático no debe consumir demasiado tiempo de procesamiento.
- Presentar un reporte de los resultados de voltajes peligrosos, resistencia final de la malla y distancias de seguridad, (se lo realizará en un documento de texto).
- Grafica del diseño final de la malla de puesta a tierra, desplegados en AutoCAD.

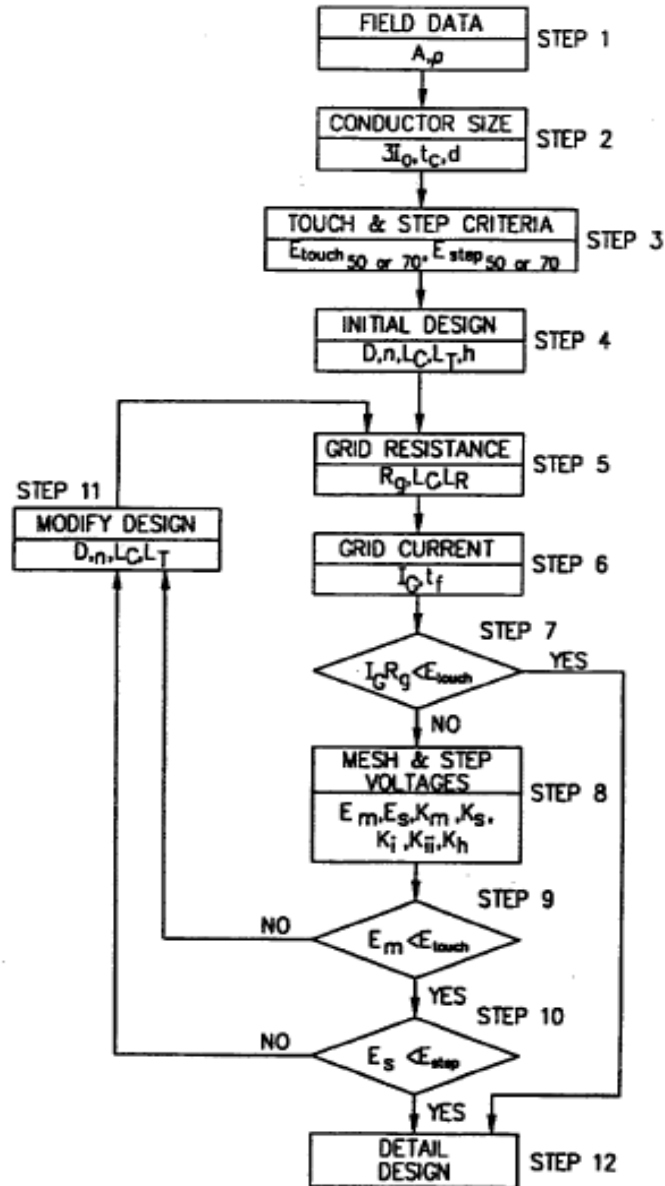
El gráfico 3.1 presenta el diagrama de flujo que proporcionan las normas IEEE 80-2000, para el diseño de herramientas computacionales para diseñar mallas de puesta a tierra.

Definido el diagrama de bloque, necesitamos definir los requerimientos relacionados con el diseño del software.

Los requerimientos relacionados con la interfaz gráfica de usuario son:

- La interfaz gráfica debe ser intuitiva y de fácil utilización, procurando que la mayor parte de información requerida para su utilización esté en la vista principal.
- Al ser un programa que presenta gráficos, estos deberán ser presentados procurando obtener su mayor visibilidad y la capacidad de navegación sobre los mismos.
- La visualización y manejo de los gráficos será simple y de forma directa, evitando tocar aspectos fuera del dimensionamiento de la malla de puesta a tierra.
- Los reportes de resultados serán presentados en tablas de fácil comprensión.
- El programa hace referencia al estudio de puestas a tierra y se desarrollará y documentará empleando la metodología de análisis y diseño, en base a las normas IEEE 80-2000.

GRÁFICO 3.3
DIAGRAMA DE FLUJO PARA DISEÑOS COMPUTARIZADOS DE MALLAS DE
PUESTA A TIERRA.



Fuente: NORMAS IEEE 80-2000.

Recopilado por: Grupo de Investigadores.

3.7.2 *Requerimientos informáticos.*

Los requerimientos informáticos son el conjunto de actividades, acciones, tareas que se utilizan para desarrollar y mantener software de alta calidad y sus productos asociados (planes de desarrollo, documentación del proyecto, elaboración del código fuente, documentos de ayuda). Los procesos ayudan a la planificación y desarrollo de un trabajo.

Los procesos del software que elijamos deben ser flexibles y deben facilitar el cambio y la innovación, al mismo tiempo el proceso debe poder ser aprendido. Todos los procesos de software organizan las actividades a realizar de diferente forma y con un nivel diferente de detalle. Se deben escoger herramientas de fácil manejo y que satisfagan las necesidades que conlleva la realización de nuestra herramienta.

Para la realización de nuestro proyecto, se utilizará tres paquetes informáticos que a nuestro criterio cumplen con lo mencionado anteriormente, de tal modo que podamos crear un software de fácil manejo, fácil comprensión pero sobre todo acorde con las expectativas de innovación y calidad. Los paquetes a utilizar son Visual Studio, AutoCAD y Microsoft Office.

- **Visual Studio.**

Microsoft Visual Studio es un entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) para sistemas operativos Windows. Soporta varios lenguajes de programación tales como Visual C++, Visual C#, Visual J#, ASP.NET y Visual Basic .NET, aunque actualmente se han desarrollado las extensiones necesarias para muchos otros.²⁴

Visual Studio permite a los desarrolladores crear aplicaciones, sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET (a partir de la versión .NET 2002). Así se pueden crear aplicaciones que se intercomunican entre estaciones de trabajo, páginas web y dispositivos móviles. El software será diseñado en Visual Basic, paquete de Visual Studio, que es una aplicación y un lenguaje de programación orientado a objetos. La primera versión salió en 1991 en un entorno relativamente sencillo para facilitar la creación de programas gráficos. Visual Basic, como su nombre lo indica, utiliza una interfaz totalmente visual.

²⁴ [en línea]. [ref. de 2 de Mayo del 2012]. Disponible en World Wide Web: <<http://www.ForoVisualProg.com/VisualDefinición.html>>.

Actualmente, los programas creados en Visual Basic sólo funcionan en Windows. La aplicación Visual Basic, permite crear ventanas, botones, menús, etc. de forma sencilla con solo arrastrar y soltar los elementos. Luego se pueden definir las apariencias, posiciones y comportamientos tanto de forma visual como utilizando códigos de programación.

Este lenguaje toma elementos de diferentes paradigmas como el orientado a objetos y el orientado a eventos. Visual Basic suele considerarse un sistema RAD (Rapid Application Development), porque permite crear aplicaciones de forma rápida, especialmente para prototipos y desarrollo de nuevo Software.

Para los autores, Visual Basic es un lenguaje de programación de alto nivel orientado a objetos que además permite crear vínculos con otros paquetes como AutoCAD o Microsoft Office, creando un vínculo perfecto para la realización del Software cuya finalidad es realizar los cálculos matemáticos en Visual Basic, desplegar los resultados finales en AutoCAD y crear reportes finales en Microsoft Excel.

- **AutoCAD.**

Autodesk AutoCAD, es un programa de diseño asistido por computadora para dibujo en dos y tres dimensiones. Actualmente es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk. El término AutoCAD surge como creación de la compañía Autodesk, teniendo su primera aparición en 1982. AutoCAD es un software reconocido a nivel internacional por sus amplias capacidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D.

AutoCAD es uno de los programas más usados, elegido por arquitectos, ingenieros y diseñadores industriales. El gran desarrollo de las tecnologías computacionales, las ha llevado a incorporarse en todos los ámbitos de acción del hombre, por lo que no es raro que también se haya incorporado a la Arquitectura,

a la Topografía, a la Geomensura y a la Geografía, poniendo a disposición de estas actividades una serie de herramientas que han permitido simplificar considerablemente los procesos de almacenamiento y actualización de la gran cantidad de información en general, que debe ser manejada según los diferentes propósitos profesionales. Un desarrollo sustancial se ha venido dando en este contexto, y es el que concierne a este documento, específicamente el manejo de información gráfica y georreferenciada.

El sistema AutoCAD, hoy en día uno de los más difundidos por su versatilidad, en su desarrollo ha llegado también, en sus últimas versiones, a incorporarse al trabajo en ambiente WINDOWS, lo que le permite aprovechar las características de dicho sistema, uno de los primeros en incorporar el concepto de AUI (**Attachment Unit Interface**), el cual incrementa la productividad del usuario, proveyendo de rápido acceso a todos los comandos disponibles en el sistema.

El programa se destaca por tener grandes características que en cada versión nueva ya son comunes. Al igual que otros programas de diseño asistido por computadora, AutoCAD gestiona una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.), con la que se puede operar a través de una pantalla gráfica en la que se presentan éstas, el llamado editor de dibujo. La interacción del usuario se realiza a través de comandos, de edición o dibujo, desde la línea de órdenes, a la que el programa está fundamentalmente orientado.

Parte del programa AutoCAD está orientado a la producción de planos, empleando para ello los recursos tradicionales de grafismo en el dibujo, como color, grosor de líneas y texturas tramadas. AutoCAD, a partir de la versión 11, utiliza el concepto de espacio modelo y espacio papel para separar las fases de diseño y dibujo en 2D y 3D, de las específicas para obtener planos trazados en papel a su correspondiente escala, lo cual potencializa la realización de nuestro proyecto por la versatilidad y la gama de aplicaciones que nos brinda.

Este Software comercial, nos servirá para desplegar el gráfico resultante de la malla, para ello utilizaremos un sistema de coordenadas generado en Visual Basic y exportado mediante líneas de código a AutoCAD para generar la gráfica.

- **Microsoft Office.**

Microsoft Office es una suite ofimática desarrollada por **Microsoft Corp.**, (una empresa estadounidense fundada en **1975**). Se trata de un conjunto de programas informáticos que realizan tareas **ofimáticas**, es decir, que permiten automatizar y optimizar las actividades de una oficina.

La primera versión de **Microsoft Office** fue lanzada en **1989** con dos paquetes básicos: uno formado por **Microsoft Word**, **Microsoft Excel** y **Microsoft PowerPoint**, y otro al que se le sumaban los programas **Microsoft Access** y **Schedule Plus**.

Word es uno de los programas más populares que forman parte de **Microsoft Office**. Consiste en un procesador de textos que incluye un corrector ortográfico, diccionario de sinónimos y la posibilidad de trabajar con diversas fuentes (tipografías).

Excel, por su parte, está compuesto por hojas o planillas de cálculo. Su principal atractivo es la posibilidad de realizar cálculos aritméticos de manera automática, lo que facilita el desarrollo de balances y estados contables.

PowerPoint es el programa de **Office** que se utiliza para crear y exhibir presentaciones visuales. Su base está en el desarrollo de diapositivas multimedia que pueden incluir texto, imágenes, videos y sonido.

La administración de la información personal y los correos electrónicos pueden gestionarse desde **Outlook**. Su principal fuerte es el cliente de correo, aunque también ofrece un calendario y un directorio de contactos.

Los autores consideran de gran importancia a este paquete informático para lograr sus objetivos, ya que mediante el se emitirán los reportes de cálculos, resultados, presupuestos y dimensiones de la malla. Además permitirá crear, guardar y acceder a información almacenada en bases de datos, manteniendo organizada la información a ser requerida.

3.7.3 Definición de variables.

El objetivo fundamental del software al cual se lo ha denominado Sistema de Diseño de Mallas a Tierra (SIMAT), es disminuir el tiempo que lleva diseñar una malla de puesta a tierra y proporcionar datos lo más certeros posibles a ser considerados en la construcción de esta parte tan importante dentro de los Sistemas Eléctricos de Potencia.

En el Capítulo 1, se detalla el análisis matemático de todos y cada uno de los parámetros que intervienen en el diseño de las mallas de puesta a tierra, sin embargo la tabla 3.3 resume dichos parámetros y como están definidos en forma de variable en el lenguaje de programación; con la finalidad de tener una referencia ya que todas estas variables serán compiladas para proporcionar resultados de salida.

TABLA 3.3
LISTA DE PARÁMETROS.

Símb.	Definición	Unidad	Declaración como variable en Visual Basic.net 2008
ρ	Resistividad del terreno	[Ω .m]	Dim _resistividadfinaldelsuelo as decimal
ρ_s	Resistividad del material de la capa superficial.	[Ω .m]	Dim _resistividadcapasuperficial as decimal
$3I_0$	Corriente de cortocircuito	[A]	Dim _corrientedecortocircuito as decimal
A	Área del mallado	[m^2]	Dim _areadelmallado as decimal
C_s	Factor de disminución de la capa superficial	[U]	Dim _Cs as decimal
d_c	Diámetro del conductor de la malla	[m]	Dim _calibredelconductor as decimal
D	Espaciamiento entre conductores.	[m]	Dim _espaciamiento as integer
D_f	Factor de decremento para hallar la IG.	[U]	Dim _factordedecremento as decimal

D_m	Máxima distancia entre dos puntos de la malla	[m]	Dim _Dm as decimal
E_m	Voltaje de la malla en las esquinas	[V]	Dim _Em as decimal
E_p	Voltaje de paso entre el interior de la malla y un punto externo a 1 m de distancia	[V]	Dim _Ep as decimal
$E_{paso\ 50}$	Voltaje de paso tolerable para personas con un peso 50 kg.	[V]	Dim _Epasotolerable50 as decimal
$E_{paso\ 70}$	Voltaje de paso tolerable para personas con un peso de 70 kg.	[V]	Dim _Epasotolerable70 as decimal
$E_{toque\ 50}$	Voltaje de toque tolerable para personas con un peso de 50 kg.	[V]	Dim _Epasotolerable50 as decimal
$E_{toque\ 70}$	Voltaje de toque tolerable para personas con un peso de 70 kg.	[V]	Dim _Epasotolerable50 as decimal
h	Profundidad de enterramiento de la malla	[m]	Dim _Profenterramiento as decimal
h_s	Altura del material de la capa superficial	[m]	Dim _alturacapasuperficial as decimal
I_G	Máxima corriente que fluye entre la malla y la tierra circundante	[A]	Dim _IG as decimal
I_g	Corriente simétrica en la malla	[A]	Dim _i_g as decimal
K	Factor de reflexión entre diferentes resistividades	[U]	Dim K as decimal
K_h	Factor de corrección que enfatiza los efectos de enterramiento	[U]	Dim _kh as decimal
K_i	Factor de corrección de simetría de la malla	[U]	Dim _ki as decimal
K_{ii}	Factor de corrección de efectos de peso de los conductores internos en las esquinas de la malla	[U]	Dim _kii as decimal
K_m	Factor de espaciamento para el voltaje de la malla	[U]	Dim _km as decimal
K_s	Factor de espaciamento para el voltaje de paso	[U]	Dim _ks as decimal
L_C	Longitud total de los conductores de la malla	[m]	Dim _LC as decimal
L_M	Longitud total efectiva de conductores y electrodos para el voltaje de la malla	[m]	Dim _LM as decimal
L_R	Longitud total de los electrodos de puesta a tierra	[m]	Dim _LR as decimal
L_r	Longitud de cada electrodo o varilla de puesta a tierra	[m]	Dim _L_r as decimal
L_S	Longitud total efectiva de conductores y electrodos para el voltaje de paso	[m]	Dim _LS as decimal
L_T	Longitud total de conductores y varillas de puesta a tierra	[m]	Dim _LT as decimal
l_x	Máxima longitud entre conductores en el eje x	[m]	Dim _distanciaX as decimal
l_y	Máxima longitud entre conductores en el eje y	[m]	Dim _distanciaY as decimal
n	Factor geométrico compuesto por la suma de los factores n	[U]	Dim _N as decimal
n_a	Componente del factor na	[U]	Dim _Na as decimal
n_b	Componente del factor nb	[U]	Dim _Nb as decimal
n_c	Componente del factor nc	[U]	Dim _Nc as decimal
n_d	Componente del factor nd	[U]	Dim _Nd as decimal

n_R	Número de varillas utilizados en el mallado	[U]	Dim_NR as decimal
R_g	Resistencia final de la malla	[Ω]	Dim_Rg as decimal
S_f	Factor de división de corriente	[U]	Dim_Sf as decimal
t_c	Duración de la falla para determinar el calibre del conductor	[s]	Dim_tiemprofalla as decimal
$t_f = t_s$	Tiempo de duración de la falla $t_f = t_s$	[s]	Dim_tiemprofalla as decimal
GPR	Elevación de potencial de tierra	[V]	Dim GPR as decimal
N_{cx}	Número de conductores paralelos al eje X	[U]	Dim _NumerodeconductoresX as decimal
N_{cy}	Número de conductores paralelos al eje Y	[U]	Dim _NumerodeconductoresY as decimal
D_v	Diámetro de la varilla de puesta a tierra	[mm]	Dim_diametrovarilla as decimal
L_r	Longitud de cada varilla de puesta a tierra	[m]	Dim_longitudvarilla as decimal
D_c	Diámetro del conductor	[mm]	Dim_diametrodelconductor as decimal
L_p	Longitud del perímetro de la malla	[m]	Dim_Lp as decimal
N_R	Número de varilla a utilizar	[U]	Dim_numerodevarillas as decimal

Fuente: NORMAS IEEE 80-2000

Realizado por: Grupo de Investigadores.

Hay que resaltar además que al programar, se necesitan y definen una serie de variables auxiliares, estas se detallan en el código fuente presentado en los anexos.

3.7.4 Herramientas para el Desarrollo del Interfaz.





El interfaz del software “SISMAT”, está enteramente construido en Visual Basic.net 2008. Dicho interfaz busca ser lo más simple y comprensible; desplegando de manera ordenada cada una de las entradas y salidas de datos.




En la Tabla 3.4 se detallan las herramientas u objetos de Visual Basic utilizados para la construcción de este interfaz; así como las propiedades aplicadas a cada objeto.

El interfaz del software “SISMAT”, está enteramente construido en Visual Basic.net 2008. Dicho interfaz busca ser lo más simple y comprensible; desplegando de manera ordenada cada una de las entradas y salidas de datos.

En la Tabla 3.4 se detallan las herramientas u objetos de Visual Basic utilizados para la construcción de este interfaz; así como las propiedades aplicadas a cada objeto.

TABLA 3.4
OBJETOS DE VISUAL BASIC.

Objeto	Nombre	Propiedades	Detalle
	PictureBox (Cuadro de dibujo)		Crea un área de dibujo donde se puede desplegar imágenes tipo jpg, bmp, png.
		Name	Permite asignar un nombre al objeto picture box.
		Anchor	Permite centrar o alinear el objeto seleccionado a un área específica.
		Image	Permite asignar una imagen importada como recurso propio de Visual Basic.
		Size Mode	Permite asignar un tamaño específico a la imagen en el área asignada.
		Visible	Permite definir si el objeto se visualiza o no dentro del formulario.
A	Label (Etiqueta)		Se utiliza para mostrar texto. Puede ser transparente de forma que el texto parece que forma parte del formulario.
		Name	Permite asignar un nombre al objeto.
		Visible	Permite definir si el objeto se visualiza o no dentro del formulario.
	TextBox (Cuadro de texto)		Este control es un pequeño editor de texto y su propiedad principal es el Text, con la que se puede poner un texto fijo en el control o leer el texto que introduzca el usuario.
		Text	Asigna el ingreso y la salida de datos.
		Enabled	Bloquea la asignación o borrado de datos.
	CommandButton (Botón de comando)		Crea un botón en el que el usuario puede hacer un clic para ejecutar un comando.
		Name	Permite asignar un nombre al objeto.
		Size	Permite asignar un tamaño específico al botón.
		Icon	Permite definir una imagen como interfaz del botón.
	ComboBox (Cuadro combinado)		Este control es una combinación de un cuadro de texto y un cuadro de lista. El usuario puede seleccionar un elemento de la lista o escribir un valor en el cuadro de texto.

		Items	Permite crear un listado con datos que pueden ser seleccionados para un proceso determinado.
		Data Source	Permite asignar los valores de una base de datos al combo.
	Timer (Reloj)		Permite activar procesos a intervalos regulares de tiempo.
	ListBox (Cuadro de lista)		Se utiliza para mostrar una lista de elementos de los que el usuario puede seleccionar uno. Puede contener varias líneas, y el usuario puede desplazarse para localizar una entrada determinada.
		Data Source	Permite asignar los valores de una base de datos y detallarlo en forma de lista.
		Items	Permite crear un listado con datos que pueden ser seleccionados para un proceso determinado.
	Frame		Se utiliza para agrupar objetos relacionados entre sí. Para agrupar controles dibuje primero el marco y después dibuje los controles dentro del marco.
	Table Layout Panel		Permite definir áreas de trabajo para agrupar una serie de objetos de manera ordenada.

Fuente: Ingeniería del Software.
Realizado por: Grupo de investigadores.

Visual BASIC, permite trabajar con una serie de datos de diferente tipo, dependiendo de la asignación y el proceso q va a realizar cada una.

Las variables pueden ser locales, públicas, generales y globales. Para generar reportes la opción más recomendada es declarar variables públicas, es decir cuyo valor pueda ser utilizado a lo largo de la programación.

La tabla 3.5 presenta la declaración del tipo y forma de variable a ser utilizada.

**TABLA 3.5
DECLARACIÓN Y TIPO DE VARIABLE**

TIPO DE VARIABLE	DE	NOMBRE DE LA VARIABLE	TIPO DE DATO	DETALLE
Dim		variable	As integer	Dimensiona una variable de tipo entero.
Public		variable	As decimal	Dimensiona una variable pública de tipo decimal
Global		variable	As string	Dimensiona una variable tipo cadena de texto.
Private		variable	As double	Dimensiona una variable doble, es

			decir que puede ser carácter y numérica a la vez.
Dim	variable	As char	Dimensiona una variable tipo carácter, utilizada para crear contraseñas o procesos alfabéticos.

Fuente: Ingeniería del Software.
Realizado por: Grupo de investigadores.

3.7.5 Herramientas para el Desarrollo de Reportes.

El paquete de Microsoft Office, permite crear vínculos directos con Visual Basic a través de MACROS.

Un macro en aplicaciones de ordenador o computadora, un conjunto de pulsaciones de teclas, acciones o instrucciones grabadas y ejecutadas mediante una simple pulsación de tecla o una instrucción.²⁵ Así se evita la introducción repetitiva de instrucciones, se minimizan los errores tipográficos y se permite a los usuarios que no conozcan el programa reproducir conjuntos de instrucciones previamente grabados por alguien más experto en la aplicación.

Si la aplicación incluye también un lenguaje de macros que responda a variables e instrucciones condicionales, el usuario puede también controlar el resultado de un procedimiento, haciendo que la macro responda de forma diferente bajo condiciones diversas. En un lenguaje de programación, tal como el lenguaje C o ensamblador, una macro es un nombre que define un conjunto de instrucciones que serán sustituidas por la macro cuando el nombre de ésta aparezca en un programa (proceso denominado expansión de macros) en el momento de compilar o ensamblar el programa. Las instrucciones de macros se pueden guardar en el programa mismo o en un archivo separado que el programa pueda identificar.

²⁵ Microsoft Student con Encarta Premium, 2009. [Consultada: 15 de Enero del 2012]

Al momento de grabar un macro, todo el diseño que realizamos en Excel es almacenado como código fuente en el lenguaje de Visual Basic, lo cual facilita el crear entornos que pueden ser utilizados para generar reportes, e incluso realizar cálculos mediante los comandos de una Hoja de Cálculo.

3.7.6 Herramientas para generar Gráficos.

Autodesk AutoCAD, es un programa de diseño asistido por computadora para dibujo en dos y tres dimensiones. La ventaja de utilizar AutoCAD para generar el gráfico final de la malla, es que también puede generar gráficos mediante comandos y en base a coordenadas (X, Y, Z); dándonos la posibilidad de generar gráficos en 2D y 3D dependiendo de los requerimientos. Aunque existe la posibilidad de generar macros para enlazar Visual Basic y AutoCAD, es mejor programar directamente sobre Visual y enviar los resultados finales a AutoCAD mediante líneas de código que permitirá generar la gráfica.

El código para generar este vínculo es:²⁶

```
/******AUTOCAD  
Global gob_acad As Object  
Global gob_docu As Object  
Global gob_mosp As Object  
Global gob_lwpl As Object  
  
'f_cone_acad: retorna true si se conecta con autocad, false de lo contrario  
  
Public Function f_cone_acad() As Boolean  
On Error Resume Next  
Set gob_acad = GetObject("AutoCAD.Application.18")  
If Err Then  
On Error GoTo erro_cad:  
Set gob_acad = CreateObject("AutoCAD.Application.18")  
Err.Clear  
End If  
  
On Error GoTo erro_cad:
```

²⁶ Departamento de Planificación de la EEASA, Codificación del SISDE [Consultada: 15 Septiembre del 2011]


```

    Set gob_docu = gob_acad.ActiveDocument
    f_cone_acad = True
    Exit Function
erro_cad:
    f_cone_acad = False
    MsgBox "Error en la conexión con AutoCad"
End Function

ReDim PUNTOS_REF(2)
PUNTOS_REF(0) = resultado!coor_x - 1
PUNTOS_REF(1) = resultado!coor_y - 1

```

```
Set gob_lwpl = gob_mosp.AddLightWeightPolyline(PUNTOS_REF)
```

Esto abre un nuevo documento en AutoCAD, y la forma más adecuada para generar el gráfico final es crear un vector de n posiciones generando puntos mediante coordenadas y en lanzando dichos puntos con líneas formando la malla final.

CONCLUSIONES

- ✓ Las mallas de puesta a tierra son una parte vital en los Sistemas Eléctricos de Potencia ya que su objetivo principal es proteger los equipos eléctricos de: generación, líneas de transmisión, subestaciones, redes de distribución, acometidas, medidores instalaciones interiores de viviendas, etc., y principalmente para salvaguardar la integridad física de las personas que operan y mantienen los diferentes sistemas eléctricos, ante posibles descargas o voltajes peligrosos.
- ✓ Dentro del diseño de las mallas de puesta a tierra las características del suelo y las condiciones a las cuales este está sometido; como la temperatura ambiente y la estacionalidad, influyen directamente en la variación de la resistividad del terreno; por lo cual, este parámetro debe ser medido según establecen las normas, porque puede afectar directamente en el dimensionamiento de la malla.
- ✓ Los conductores a utilizar en el diseño del mallado, deben ser lo suficientemente resistentes a las corrientes que deben disipar para evitar su fusión; así como también, resistentes a efectos ambientales como la corrosión.

- ✓ Un diseño de mallas de puesta a tierra es óptimo para proporcionar mayor seguridad al personal y mayor protección a los equipos durante la falla, cuando se logra tres condiciones concretas: la resistencia a tierra sea cercana a cero, los voltajes de paso y toque tolerables sean ampliamente superiores a los voltajes reales de paso y toque de la malla.

- ✓ Es importante, que en un diseño de mallas a tierra hay que respetar las distancias tanto entre conductores como entre varillas de puesta a tierra, ya que el uso de demasiados conductores o varillas producen efectos adversos causados por fenómenos magnéticos que retornan la corriente de falla hacia los equipos y no la disipan hacia tierra.

- ✓ Existen diversos paquetes informáticos comerciales orientados al diseño de mallas de puesta a tierra; los cuales por su complejidad de manejo, acceso limitado y altos costos, están restringidos al manejo estudiantil y profesional dejando de lado el nivel educativo y formativo de los estudiantes.

- ✓ El diseño de un sistema no posee un modelo general a seguir ya que este depende íntegramente de la aplicación que se le va a dar; por lo cual, el presente proyecto se basa en las necesidades y requerimientos propios de la investigación destinada a la educación como un soporte a la enseñanza y reforzamiento de conocimientos; esto no quiere decir, que el software diseñado (SISMAT) no puede ser utilizado para cualquier cálculo de un sistema de malla a tierra por profesionales en ejercicio libre.

- ✓ El software creado se basa en las Normas IEEE 80-200, por lo que los valores obtenidos del campo para ser utilizados como datos de entrada deben sujetarse al diseño mediante esta normativa. Cabe destacar que el presente proyecto busca optimizar los tiempos de diseño de mallas previo a la información proporcionada por el ejecutor o constructor de la malla.

- ✓ Los resultados que proporciona el software poseen un pequeño margen de error al ser comparados con paquetes profesionales comerciales debido al uso de

algoritmos más complejos, utilización de decimales y una programación más detallada.

- ✓ El reporte de costos que efectúa el software no considera la mano de obra de la construcción de una malla de puesta a tierra, únicamente es una proforma de material la cual está sujeta a posibles modificaciones de precio.
- ✓ El presente proyecto se constituirá en la base para investigaciones futuras sobre el tema, así como una fuente de información para los estudiantes y profesionales involucrados en el campo eléctrico. Por lo cual afirmamos que el software está abierto a posibles mejoras y correcciones que aseguren su funcionamiento y vigencia.

RECOMENDACIONES

- ✓ Enfatizar el conocimiento y aprendizaje del dimensionamiento de las mallas de puesta a tierra, con el fin de conocer su importancia y la relevancia que tiene el mallado en los sistemas eléctricos de potencia, para salvaguardar el funcionamiento de equipos y la integridad de vidas humanas.
- ✓ La resistividad del terreno debe ser medida en el campo en la peor condición ambiental; es decir, en el periodo más seco y a la hora más calurosa del día, con el fin de que el sistema de mallado sea diseñado para soportar situaciones extremas.
- ✓ Se recomienda utilizar un calibre superior al que proporcionan los cálculos de diseño, esto permitirá asegurar una buena conductividad y resistencia a fenómenos eléctricos y ambientales, además el conductor debe ser de 7 o más hilos, para que permita una disipación más rápida de la falla hacia la tierra.
- ✓ Si el diseño de mallas de puesta a tierra no cumple con las tres condiciones de resistencia, voltajes de paso y toque para la protección de equipos y seguridad personal, se debe buscar alternativas como: incremento de longitud y calibre de

conductor, aumento del número de varillas, espaciamiento de conductores, etc., las mismas que se las puede ejecutar con el programa computacional SISMAT, el mismo, que está diseñado para simular una malla bajo diferentes alternativas que el usuario crea conveniente ejecutarlas; además, con esto se pretende que el estudiante que tenga las bases y conocimientos suficientes de la operatividad de un sistema de malla a tierra.

- ✓ En el diseño de una malla se debe considerar que el espaciamiento entre conductores deberá ser por lo mínimo el doble de la longitud de la varilla, esto evitará el retorno de la corriente de falla a los equipos que se produce por fenómenos magnéticos.
- ✓ Previo a la simulación de una malla, es recomendable comparar los costos referenciales del programa, con los precios del mercado vigentes, esto permitirá tener un presupuesto referencial lo más cercano a la realidad.
- ✓ El programa se basa íntegramente en las NORMAS IEEE-80, por esto al realizar los cálculos hay que considerar la norma mencionada para evitar cálculos irreales o equivocados que terminan por generar errores en el dimensionamiento final de la malla.
- ✓ Los estudiantes pueden investigar cada uno de los tipos de mallas que el programa puede generar y en lo posible realizar ejemplos de cálculos para cada tipo de malla con el fin de comparar resultados y tener ideas más claras sobre el funcionamiento del programa.
- ✓ Para la comprobación de los resultados que se obtienen del programa SISMAT, se comparó con los resultados obtenidos con el sistema comercial difundido a nivel mundial CYM-GRD de la compañía CYME de Canadá, la misma que arrojó resultados similares o con pequeñas variaciones por el uso de decimales, así como también se realizó corrimientos manuales dando resultados similares.
- ✓ La aplicación del software SISMAT está abierta a modificaciones o incremento de módulos, con la finalidad que pueda ser optimizado en su manejo y funcionalidad.

- ✓ Los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, poseen conocimientos teóricos acerca del dimensionamiento de mallas a tierra no obstante se requieren herramientas didácticas, novedosas y actualizadas que aseguren una mejor comprensión, por lo que se recomienda continuar con este tipo de trabajos de investigación e implementación, que lo único que ayudará a fortalecer el conocimiento y destreza de los compañeros de nuestra carrera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Bibliografía Citada.

- ANSI/IEEE STD. 81: 1983, IEEE, Guía para la medición de la Resistividad, impedancia y potenciales en un sistema de Tierras, the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. USA, April 1983.

- AVILÉZ, Fausto. Optimización del cálculo de mallas de puesta a tierra en suelos no homogéneos. Tesis (Ingeniero Eléctrico), Quito, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Eléctrica, 1978.
- AYORA, Paúl. Apuntes de Alto Voltaje, Primera Edición, (Ingeniero Eléctrico), Quito, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, Biblioteca de Ingeniería Eléctrica, 1978.
- AYORA, Paúl, Curso sobre Instalaciones de puestas a tierra, (Ingeniero Eléctrico), Quito, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, Biblioteca de Ingeniería Eléctrica, 2005.
- CAIZA, Víctor, Diseño e implementación del Software, Quito, 2008.
- Departamento de Planificación de la EEASA, Codificación del SISDE [Consultada: 15 Septiembre del 2011]
- IEEE, Guide for safety in AC Substation Grounding, Edition 80 – 2000, the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. USA, January 2000.
- [en línea]. [ref. de 16 de agosto 2011]. Disponible en World Wide Web: <<http://www.biblioteca.epn.edu.ec/catalogo/libre10.php>>.
- [en línea]. [ref. de 10 de diciembre 2011]. Disponible en Web:
 - <<http://www.teletraining.com>, 2011.
- [en línea]. [ref. de 16 de agosto 2011]. Disponible en Web:
 - <<http://http://www.utc.edu.ec/sitio/index.aspx?pagID=L15&Ln=ES&ban=utc&contenidoID=1064> Página web de la institución.
- [en línea]. [ref. de 2 de Mayo del 2012]. Disponible en World Wide Web: <<http://www.ForoVisualProg.com/VisualDefinición.html> >.
- ENRIQUEZ, Gilberto: Fundamentos de instalaciones de mediana y alta tensión, Primera Edición, Editorial LIMUSA, Lima-Perú, 2005, p.
- ENRIQUEZ Harper Gilberto, “Diseño de Redes de Tierra”, Tercera Edición, Editorial LIMUSA, Lima-Perú, 2008.
- ENRIQUEZ Harper Gilberto, Diseño de Redes de Tierra, Tercera Edición, Editorial LIMUSA, Lima-Perú, 2008.
- FAIRLEY Richard, Ingeniería del Software, México, 1988.
- LARMAN Graig, Manual del programador, Colombia, 2001.
- Microsoft Student con Encarta Premium, 2009. [Consultada: 15 de Enero del 2012]
- MOLINA Rita, Diseño e implementación de un software de manejo de historias clínicas, Latacunga, 2008.

- NONAKA, Takeuchi, PROCESO DE CONOCIMIENTO, España, Segunda Edición, 1995.
- PRESMAN Hyler, Desarrollo del Software, México, Segunda Edición, 2002.
- RAMIREZ, José, Sistemas de tierra diseñados con IEEE 80 y evaluados con MEF, Primera Edición, Colombia, 2010.
- **Bibliografía Consultada.**
- AVILÉZ, Fausto. Optimización del cálculo de mallas de puesta a tierra en suelos no homogéneos. Tesis (Ingeniero Eléctrico), Quito, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, Ingeniería Eléctrica, 1978.
- AYORA, Paúl. Apuntes de Alto Voltaje, Primera Edición, 1978.
- ENRIQUEZ, Gilberto: Fundamentos de instalaciones de mediana y alta tensión, Primera Edición, 2005.
- ENRIQUEZ, Gilberto: Manual del Técnico en Subestaciones Eléctricas, tercera Edición, 2008.
- GUTIERREZ, Abraham: Curso de Técnicas de Investigación, Edición Tercera, Editorial serie Didáctica A.G, Quito- Ecuador, 1992, pág. 46.
- HERNÁNDEZ Roberto, FERNÁNDEZ Carlos, BASTIDAS Piedad, Metodología de la Investigación, cuarta Edición, Pp. 45,78.
- MOLINA, Max, Apantallamiento de una subestación, diseño y evaluación mediante métodos digitales, 1979.
- RUIZ OLABUÉNAGA, J.I. (1996). Metodología de la investigación cualitativa. Bilbao: Deusto.

Bibliografía Virtual.

- [ref. de 16 de Agosto 2011]. Disponible en Web: <http://www.biblioteca.epn.edu.ec/catalogo/libre10.php>, 2008>.
- [ref. de 16 de Agosto 2011]. Disponible en Web: <http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe70.html#7.1>, 2008.
- [ref. de 16 de Agosto 2011]. Disponible en Web: <http://www.teletraining.com>, 2011.

- [ref. de 08 de Septiembre 2011]. Disponible en Web:
<http://www.utc.edu.ec/sitio/index.aspx?pagID=L15&Ln=ES&ban=utc&contenid oID=1064>
- [ref. de 20 de Septiembre 2011]. Disponible en Web:
<http://www.utc.edu.ec/sitio/index.aspx?pagID=L15&Ln=ES&ban=utc&>
- [ref. de 4 de Octubre 2011]. Disponible en Web:
<http://www.ForoVisualProg.com/VisualDefinición.html>, 2005
- [ref. de 10 de Octubre 2011]. Microsoft Student con Encarta Premium, 2009.
- [ref. de 09 de Noviembre 2011]. Disponible en Web:
<http://www.rpinstal.cl/archivos/tierra/puesta.htm> 05/06/2011.
- [ref. de 09 de Noviembre 2011]. Disponible en Web:
<http://biblioteca.epn.edu.ec/catalogo/libre10.php?coinc=0&numero2=&numero=0&incr=10&pft=tesis1&item=SISTEMAS+ELECTRICOS+DE+POTENCIA&pbusca=SISTEMAS+ELECTRICOS+DE+POTENCIA&pbusca2=puestas+a+tierra&stype=&base=tesis&coinc=1&cabecera=&epilog=na.pft>10/06/2011
- [ref. de 09 de Noviembre 2011]. Disponible en Web: <http://www.para-rayos.com/datos/ge120061.pdf> 10/06/2011
- [ref. de 09 de Noviembre 2011]. Disponible en Web:
<http://www.monografias.com/trabajos68/sistema-puesta-tierra/sistema-puesta-tierra.shtml> 10/06/2011
- [ref. de 09 de Noviembre 2011]. Disponible en Web:
<http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe70.html#7.1> 10 /06/ 2011
- [ref. de 09 de Noviembre 2011]. Disponible en Web:
<http://translate.google.com.ec/translate?hl=es&langpair=en|es&u=http://www.ivablevisual.com/index.php/AutoCad-VB/create-alligned-dimension.html>
- [ref. de 10 de Enero 2012]. Disponible en Web:
http://www.cadfamily.com/online-help/AutoCAD.VBA_web%5C8879final/LiB0065.html