



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: “DISEÑO DE MALLAS DE PUESTAS A TIERRA BAJO LA
NORMA IEEE 80-2000, UTILIZANDO HERRAMIENTAS
INFORMÁTICAS EN PLATAFORMAS PARA SISTEMAS
OPERATIVOS MÓVILES”**

AUTOR: EDWIN MARCELO FLORES SANDOVAL

DIRECTOR: ING. HERNÁN ITURRALDE

CODIRECTOR: ING. DAVID RIVAS

LATACUNGA

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICADO

ING. HERNÁN ITURRALDE (DIRECTOR)

ING. DAVID RIVAS (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado **“DISEÑO DE MALLAS DE PUESTAS A TIERRA BAJO LA NORMA IEEE 80-2000, UTILIZANDO HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS EN PLATAFORMAS PARA SISTEMAS OPERATIVOS MÓVILES”**, realizado por el señor EDWIN MARCELO FLORES SANDOVAL, ha sido guiado y revisado periódicamente su proyecto, el cual cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido tanto científico, como práctico que ayudará la aplicación a los conocimientos y al desarrollo profesional, al recomendar la presente publicación.

El trabajo está constituido de un documento escrito y empastado, con un disco compacto en el cual contiene los archivos en formato digital Word y Acrobat. Autorizan a EDWIN MARCELO FLORES SANDOVAL que el presente trabajo lo entregue a la Ing. Katya Torres, en su calidad de Directora de la Carrera de Ingeniería Electromecánica.

Latacunga, Junio 2015.

Ing. Hernán Iturralde

Director

Ing. David Rivas

Codirector

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, EDWIN MARCELO FLORES SANDOVAL

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “**DISEÑO DE MALLAS DE PUESTAS A TIERRA BAJO LA NORMA IEEE 80-2000, UTILIZANDO HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS EN PLATAFORMAS PARA SISTEMAS OPERATIVOS MÓVILES**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva y minuciosa, respetando los derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en tablas y figuras de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo de proyecto de grado es autoría de mi persona.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de este proyecto de grado en cuestión.

Latacunga, Junio 2015.

Edwin Marcelo Flores Sandoval

C.C.: 0503119307

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, EDWIN MARCELO FLORES SANDOVAL

AUTORIZO:

Autorizo a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “**DISEÑO DE MALLAS DE PUESTAS A TIERRA BAJO LA NORMA IEEE 80-2000, UTILIZANDO HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS EN PLATAFORMAS PARA SISTEMAS OPERATIVOS MÓVILES**”, cuyo contenido, ideas, criterios y datos son de mi exclusiva responsabilidad y autoría, con la cual se realizó el presente trabajo.

Latacunga, Junio 2015.

Edwin Marcelo Flores Sandoval

C.C.: 0503119307

DEDICATORIA

Dedico a Dios:

Por darme la oportunidad de culminar una nueva etapa en mi vida profesional y estar conmigo en todos los días tanto buenos como malos, por iluminarme y darme la oportunidad de conocer, compartir con personas en este largo proyecto culminado.

A mis queridos Padres César y Ninón:

Por darme la vida, quererme mucho en cada logro y apoyarme a seguir adelante en los tropiezos que tuve en mi vida. A mi madre que con su amor, comprensión y ternura, me aconsejo tomar las decisiones para poder seguir adelante. A mi padre, el cual me enseñó la honradez, el trabajo en equipo, el valor del dinero y la responsabilidad las cuales me ayudaron a fortalecer mi carácter y personalidad.

A mi Amor:

Estefanía por aparecerte en mi vida y darme tu amor, apoyándome en todo, sacrificando tu tiempo, que pudimos divertirnos juntos.

A mis hermanos César, Jonathan y Andrés:

De manera especial a mi hermano César, que con bromas, peleas y todo siempre estabas pendiente de mí ayudándome con lo poco o mucho que sabías.

A mis amigos:

Hay muchas personas pero pocas que sean amigos y amigas pero no les puedo nombrar ya que pueda omitir o hacer sentir mal a otras pero ustedes saben quiénes son y como influyeron en mi para poder terminar con su ayuda este etapa de mi vida.

EDWJN FLORES.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios, a mis padres por ser los pilares fundamentales para poder seguir adelante, a mis hermanos por el apoyo incondicional que me han brindado en todo momento sea bueno o malo pero siempre apoyándome.

Agradezco a mi novia Estefanía Balarezo por su paciencia y apoyo brindado para seguir adelante y no decaer en los inconvenientes que tenía.

Agradezco a mis directores, Ing. Hernán Iturralde e Ing. David Rivas, quienes me orientaron en el desarrollo del presente proyecto.

Agradezco a la Ing. Katya Torres, por la ayuda incondicional para culminar mi proyecto.

EDWJN FLORES.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
CERTIFICADO.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN	xv
SUMMARY.....	xvi
CAPÍTULO I	1
ANÁLISIS DE LA NORMA IEEE 80-2000.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Objetivos generales y específicos	2
1.4 Sistemas de puestas a tierra.	2
1.4.1 Definición.....	2
1.4.2 Definiciones.....	2
1.4.3 Utilización de puestas a tierra	3
1.4.4 Normativa existente para los sistemas de puestas a tierra.....	4
1.4.5 Norma ieee 80-2000, guide for safety in ac substation grounding.....	4
1.5 Tipos de sobrevoltajes y señales perjudiciales.	5

1.6	Norma ieee 80-2000.....	6
1.6.1	Principales consideraciones del diseño	7
1.6.2	Definiciones según la norma ieee 80-2000.	9
1.6.3	Corriente de falla asimétrica eficaz.	13
1.6.4	Factor de división de corriente.	14
1.6.5	Corriente de red simétrica.	14
1.6.6	Corriente máxima a disipar por la malla.	15
1.6.7	Corriente simétrica de falla a tierra.	15
1.6.8	Corriente simétrica de falla a tierra (IF).	16
1.6.9	Factor de decremento.	16
1.6.10	Factor de crecimiento (CP).....	17
1.6.11	Cálculo de la corriente de cortocircuito.	17
1.6.12	Cálculo del factor de división de corriente (Sf)	17
1.6.13	Duración de la falla (tf) y duración del choque (ts).....	20
1.7	Seguridad en tierra mediante la norma ieee 80-2000	20
1.7.1	Problema básico	20
1.7.2	Condiciones de peligro.....	22
1.8	Rango de corriente tolerable según la norma ieee 80-2000.....	23
1.8.1	Efecto de la frecuencia	24
1.8.2	Efecto de magnitud y duración.....	24
1.8.3	Importancia de despeje de fallas de alta velocidad	25
1.9	Cuerpo tolerable a la corriente límite.....	26
1.9.1	La duración de la fórmula	26
1.9.2	Supuestos alternativos	27
1.9.3	La comparación de las ecuaciones de dalziel y biegeleier de curva	29
1.10	Sistemas operativos móviles.....	30

1.10.1	Componentes de los sistemas operativos en dispositivos móviles.....	30
1.10.2	Mercado.....	31
1.10.3	Características de los tres sistemas operativos móviles más utilizados	33
1.10.4	Xcode.....	38
1.10.5	Desarrolladores para diferentes tipos de dispositivos móviles.....	40

CAPÍTULO II..... 41

DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA 41

2.1	Análisis de los factores de cálculo de la norma ieee 80-2000	41
2.2	Diagrama de flujo para el diseño de mallas mediante la norma ieee 80-2000.	44
2.3	Pasos a ejecutar para el diseño.....	46
2.3.1	Datos de campo	46
2.3.2	Determinación del calibre del conductor.....	47
2.3.3	Criterio de toque y paso, voltaje de paso y toque.....	49
2.3.4	Diseño inicial.....	51
2.3.5	Determinación de la resistencia de malla	51
2.3.6	Corriente máxima de falla I_g	51
2.3.7	Aumento de potencial de tierra	52
2.3.8	Calculo de voltaje de malla	52
2.3.9	Voltaje de malla vs voltaje de toque	54
2.3.10	Voltaje de piso vs voltaje de paso	54
2.3.11	Rediseño	54
2.3.12	Resultado final.....	54
2.4	Casos.....	55
2.4.1	Caso a – malla cuadrada sin varilla	55
2.4.2	Caso b – malla cuadrada con varilla.....	62

2.4.3	Caso c – malla rectangular con varilla.	67
2.4.4	Caso d – malla en l con varilla.	77
CAPÍTULO III		87
DESARROLLO DE LA APLICACIÓN		87
3.1	Especificación del proyecto	87
3.1.1	Requisitos del programa.....	87
3.1.2	Requerimientos funcionales	88
3.1.3	Requerimientos no funcionales	88
3.2	Proposito	¡Error! Marcador no definido.
3.3	Identificación de roles y tareas	88
3.4	Inicialización de la aplicación.....	89
3.4.1	Requerimientos iniciales	89
3.5	Plataforma de programación xcode con object c	89
3.5.1	Simulador para ios.....	91
3.6	Programación a objetos.....	92
3.6.1	Declaracion de variables	92
3.7	Diagrama de flujo del programa	93
3.8	Diseño de la aplicación gráfica en interface builder xcode	93
3.9	Diseño y programación en la plataforma xcode	99
3.10	Prueba y resultados de la palicacion	100
3.10.1	Tablas de resultados	105
CAPÍTULO IV.....		109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		109
4.1	Conclusiones	109

4.2 Recomendaciones 110

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....114

ANEXOS 114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Partes básicas de un sistema de puestas a tierra.....	3
Figura 1.2 Relación entre los valores de la corriente y duración de la falla.....	13
Figura 1.3 Líneas equipotenciales de una rejilla a tierra típica con y sin varilla.....	21
Figura 1.4 Líneas equipotenciales si una rejilla a tierra típica con y sin varilla.....	22
Figura 1.5 Fibrilación corriente en función del peso corporal para varios animales.....	28
Figura 1.6 Corriente del cuerpo en función del tiempo.....	29
Figura 1.7 Capas de un sistema operativo.....	31
Figura 1.8 Equipos utilizados a nivel mundial en los años 2013 y 2014.....	33
Figura 2.1 Diagrama de flujo para el diseño de mallas de puestas a tierra.....	47
Figura 2.2 Cs versus hs.....	52
Figura 2.3 Malla cuadrada sin varilla.....	61
Figura 2.4 Malla cuadrada con varillas.....	65
Figura 2.5 Malla Rectangular con varillas.....	74
Figura 2.6 Malla en L con varillas.....	83
Figura 3.1 Plataforma XCode.....	92
Figura 3.2 Malla en L con varillas	93
Figura 3.3 Estructura de una clase en Object C.....	94
Figura 3.4 Diagrama de flujo de la aplicación realizada.....	95
Figura 3.5 Estructura del inicio de la aplicación.....	96
Figura 3.6 Estructura de los créditos de la aplicación.....	97
Figura 3.7 Estructura del ingreso de datos para la aplicación.....	97
Figura 3.8 Estructura de la selección de los valores del conductor.....	98

Figura 3.9 Estructura de la selección del calibre del conductor.....	98
Figura 3.10 Estructura de la selección del tipo de malla.....	99
Figura 3.11 Estructura del ingreso de datos para la malla seleccionada.....	99
Figura 3.12 Estructura de los resultados comparativos.....	100
Figura 3.13 Estructura de los resultados finales de la aplicación.....	100
Figura 3.14 Archivo de la interfaz .h.....	101
Figura 3.15 Archivo de la interfaz .m.....	102
Figura 3.16 Visualización del funcionamiento de la aplicación con iOS Simulator.....	102
Figura 3.17 Visualización del funcionamiento de la aplicación con el iPad.....	103
Figura 3.18 Visualización 2 del funcionamiento de la aplicación.....	103
Figura 3.19 Visualización 3 del funcionamiento de la aplicación.....	104
Figura 3.20 Visualización 4 del funcionamiento de la aplicación.....	104
Figura 3.21 Visualización 5 del funcionamiento de la aplicación.....	105
Figura 3.22 Visualización 6 del funcionamiento de la aplicación.....	105
Figura 3.23 Visualización 7 del funcionamiento de la aplicación.....	106
Figura 3.24 Visualización 8 del funcionamiento de la aplicación.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Valores de resistencia de puesta a tierra en subestaciones.....	8
Tabla 1.2 Impedancias equivalentes aproximadas de cables de guardas de líneas.....	19
Tabla 1.3 Tabla comparativa de dispositivos móviles más vendidos en el 2013 y 2014....	32
Tabla 1.4 Softwares utilizados para la creación de aplicaciones en dispositivos móviles....	42
Tabla 2.1 Constantes y variables para el diseño mediante la norma IEEE 80-2000.....	43
Tabla 2.2 Valores para datos de campo para el diseño de mallas.....	48
Tabla 2.3 Tipos de materiales de cable.....	49
Tabla 2.4 Tipos de calibre de conductores de cobre.....	49
Tabla 2.5 Valores típicos de Df.....	54
Tabla 3.1 CASO A.....	107
Tabla 3.2 CASO B.....	108
Tabla 3.3 CASO C.....	109
Tabla 3.4 CASO D.....	110

RESUMEN

En el presente proyecto se va a definir conceptos, procedimientos para el diseño de mallas de puestas a tierra mediante sistemas operativos móviles, basado principalmente en la norma internacional para puestas a tierra IEEE 80-2000 y con la ayuda de un programa para la creación de la aplicación para dispositivos móviles. La importancia de la implementación de una aplicación en el campo educativo como profesional es muy alta, para el diseño de sistemas de puestas a tierra, radica en las prestaciones que brindara a todo aquel estudiante o profesional que cuente con un dispositivo móvil. Con la culminación del diseño y la aplicación, este será analizado para ver si cumple con las normas y el correcto funcionamiento. Mediante un análisis de resultados, se realizara de ser necesario correcciones en el diseño, para dar por terminado el presente proyecto.

PALABRAS CLAVE:

- **NORMA IEEE.**
- **APLICACIÓN MÓVIL.**
- **SISTEMAS OPERATIVOS MÓVILES.**
- **PUESTAS A TIERRA.**
- **DISEÑO PARA SUBESTACIONES.**

SUMMARY

In this project is to define concepts, procedures for the design of grounding grids by mobile operating systems, mainly based on the international standard for grounding IEEE 80-2000 and with the help of a program for creating application for mobile devices. The importance of implementing an application in the educational field as a professional is very high, for the design of grounding systems lies in the benefits that would give anyone website that has a mobile device. With the completion of design and implementation, this will be analyzed to see if it meets the standards and proper operation. By analyzing results, we perform necessary corrections in the design, to terminate this Project.

KEYWORDS:

- **IEEE.**
- **MOBILE APPLICATION.**
- **MOBILE OPERATING SYSTEMS.**
- **GROUNDING.**
- **DESIGN FOR SUBSTATIONS.**

CAPÍTULO I

ANÁLISIS DE LA NORMA IEEE 80-2000

1.1 INTRODUCCIÓN.

En el capítulo se va a realizar un análisis simple y sintético de la norma IEEE 80-2000, analizando tanto los problemas que existe en el diseño de sistemas de puesta a tierra, como también la aplicación que se la está dando a la norma en diferentes partes del mundo, para un correcto diseño de puestas a tierra tanto para subestaciones, como para implementarlas en viviendas.

Tomando en cuenta conceptos, referencias para el cálculo del diseño de sistemas de puesta a tierra, mediante la norma internacional IEEE 80-2000.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema radica en que los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica en algunos casos aprendemos a trabajar con un solo tipo de programa, pero en el campo laboral existen dificultades con el manejo de equipos de medición y cálculo, ya que existen diferentes programas y equipos de diferentes marcas, por ello surge la necesidad de desarrollar la capacidad de crear aplicaciones que faciliten el trabajo, basándonos en los conocimientos aprendidos en la Universidad pero principalmente en la destreza propia de un ingeniero para leer y comprender manuales sin importar el tipo de programa o equipo con el que se esté trabajando.

Actualmente el laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga, no cuenta con nuevos equipos y software para los mismos, dicha tecnología es solo para una PC, por lo que el desarrollo de aplicaciones es escaso en el laboratorio.

Además en la Industria y en el campo profesional la mayoría de equipos se las realiza mediante la aplicación de computadoras y fórmulas que se aprendieron hace mucho tiempo y que con el paso del tiempo se pueden olvidar es por eso que debemos actualizar nuestro conocimiento en Redes Eléctricas y no basarnos únicamente en la teoría sino realizarlo de manera práctica utilizando nueva tecnología.

1.3 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

Objetivo General

Diseño de mallas de puestas a tierra utilizando un iPad, para el laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga y para cualquier persona que utiliza un iPad en el campo profesional.

Objetivos Específicos

- Investigar el manejo del nuevo lenguaje de programación a emplearse para la configuración del iPad como: XCode.
- Realizar la configuración y programación de los diferentes parámetros que conforman el diseño de mallas de puesta a tierra.
- Desarrollar manuales de configuración y programación de los diferentes dispositivos de la Apple.

1.4 SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA.

1.4.1 DEFINICIÓN.

Un sistema de puesta a tierra es una conexión, por medio del cual un circuito eléctrico y elementos metálicos que proporcionan un contacto eléctrico conductivo se conectan a tierra o algún cuerpo conductor de dimensiones relativamente grandes, como se muestra en la figura 1.1, que cumplan la función de tierra. Para considerar un sistema de puesta a tierra como tal, el mismo debe cumplir cierta norma como la norma internacional IEEE 80-2000 que es una guía de seguridad para corriente alterna para puestas a tierra de subestaciones.

1.4.2 DEFINICIONES.

- **Toma de tierra**

Es un punto físico donde se conectan los equipos y sirve para evitar el paso de corriente al personal por algún fallo de aislamiento siempre y cuando estén conectados a un conductor de tierra.

- **Conductor de tierra**

Es el aparato mecánico de conexión para partes puestas a tierra de un circuito eléctrico, dicha conexión se da en el punto entre el punto físico a ser conectado y el electrodo de tierra.

- **Malla de tierra**

Es un conjunto de conductores que permiten conectar un sistema a un medio de referencia.

- **Electrodos o Picas**

Partes metálicas enterradas a tierra a una determinada profundidad.

- **Anillo de tierra**

Se emplea para circundar áreas grandes y proveer un plano equipotencial alrededor de edificios y equipos.

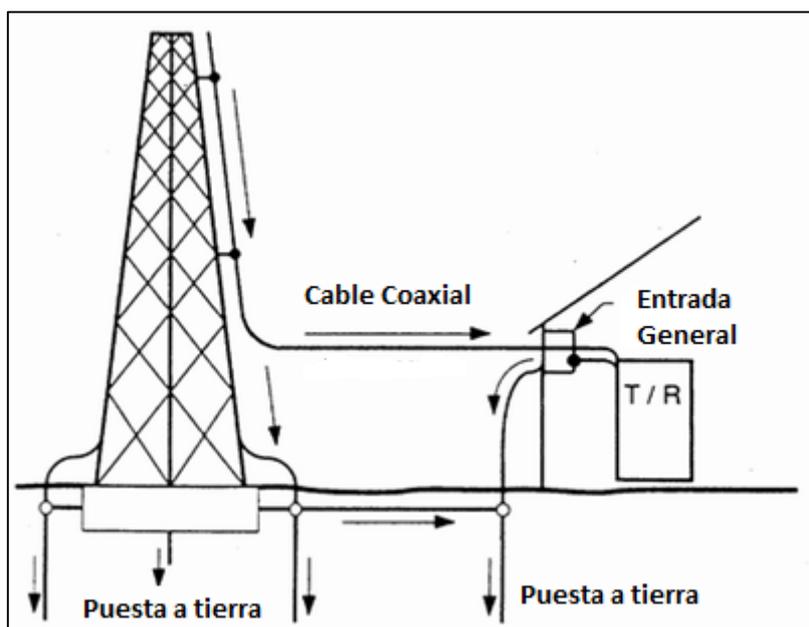


Figura 1.1 Partes básicas de un sistema de puesta a tierra.

1.4.3 UTILIZACIÓN DE PUESTAS A TIERRA

La finalidad principal de una puesta a tierra es limitar la tensión que con respecto a tierra, puedan presentar, en un momento dado, las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados.

El sistema de protección está basado, principalmente, en no permitir la existencia de voltajes entre diferentes masas metálicas o entre éstas y el suelo, superiores a 24 V en viviendas y locales húmedos, o 50 V en locales secos. Estos valores son los máximos que puede soportar el cuerpo humano sin peligro de lesiones graves.

Para conseguir estos valores de tensión, se equipan las instalaciones con una línea paralela a los conductores de enlace del edificio que sea capaz de enviar a tierra cualquier corriente de fuga, derivación, etc., así como las descargas de origen atmosféricos (rayos).

1.4.4 NORMATIVA EXISTENTE PARA LOS SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA

Las normas proporcionan orientación e información pertinente a las prácticas de diseño seguro de puestas a tierra y establecen los límites de diseño que deben satisfacerse para seguridad de la persona y las instalaciones.

Dentro del análisis de los sistemas de puesta a tierra existen diferentes normas a nivel mundial. Para el estudio del presente trabajo, se ha basado principalmente en la norma IEEE 80-2000 “Guide for Safety in AC Substation Grounding”.

1.4.5 NORMA IEEE 80-2000, GUIDE FOR SAFETY IN AC SUBSTATION GROUNDING

La norma internacional IEEE 80-2000, generalmente es una guía detallada sobre los aspectos técnicos más importantes para el sistema de puestas a tierra en Subestaciones y Sistemas Eléctricos, e incluyen formulaciones necesarias para realizar los cálculos en lo referente al sistema de puesta a tierra.

El propósito de esta norma es dar delineamientos e información pertinente para sistemas de tierra seguros en el diseño de subestaciones de A.C. Los principales propósitos específicos de la norma son:

- a. Establecer, como base para el diseño, los límites seguros de las diferencias de potencial que puedan existir en una subestación en condiciones de falla, entre los puntos que pueden entrar en contacto con el ser humano. [1]

- b. Revisar los sistemas de puestas a tierra de subestaciones y sistemas eléctricos con referencia especial a la seguridad y desarrollar criterios para el diseño seguro. [2]
- c. Dar un procedimiento para el diseño de sistemas prácticos de aterrizaje basados en esos criterios. [2]
- d. Desarrollar métodos analíticos como ayuda para el entendimiento y solución de los problemas típicos de gradientes. [2]

1.5 TIPOS DE SOBREVOLTAJES Y SEÑALES PERJUDICIALES PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA.

Los Sobrevoltajes y señales eléctricas ajenas al sistema de distribución deforman su señal eléctrica nominal afectando a la generación y a la carga.

- **Sobrevoltajes**

Todo aumento de voltaje capaz de poner en peligro el material o el buen funcionamiento de una instalación eléctrica, además un sobrevoltaje provoca otros sobrevoltajes.

$$k_s = \frac{V_s}{V} \quad \text{EC. 1}$$

Donde:

k_s Factor de sobrevoltaje

V_s Sobrevoltaje

V Voltaje de servicio (voltaje nominal)

De los sobrevoltajes existen de dos tipos:

- **Sobrevoltajes por agentes internos**

Se producen al variar las condiciones de servicio de la instalación y se producen:

- a. Por maniobra. Provocan fenómenos transitorios que acompañan a cambios bruscos de estado de una red estas pueden ser al momento de conexión o desconexión.
- b. Por servicio. Comprende los estados estacionarios que pueden resultar durante la puesta o salida de servicio de una carga.

- **Sobrevoltajes por agentes externos**

Son ocasionados por descargas atmosféricas.

- **Fallas por corto circuito**

Se denomina cortocircuito al fallo en un aparato o línea eléctrica por el cual la corriente eléctrica pasa directamente del conductor activo o fase al neutro o tierra en sistemas monofásicos de corriente alterna, entre dos fases o igual al caso anterior para sistemas polifásicos, o entre polos opuestos en el caso de corriente continua. Es decir: es un defecto de baja impedancia entre dos puntos de potencial diferente y produce arco eléctrico, esfuerzos electrodinámicos y esfuerzos térmicos.

El cortocircuito se produce normalmente por los fallos en el aislante de los conductores, cuando estos quedan sumergidos en un medio conductor como el agua o por contacto accidental entre conductores aéreos por fuertes vientos o rotura de los apoyos.

1.6 NORMA IEEE 80-2000.

El propósito general de esta norma internacional es brindar información pertinente para sistemas de puesta a tierra seguros para el diseño de subestaciones de a.c. Los principales propósitos de la norma son los siguientes:

- a) Brindar un procedimiento para el diseño de sistemas de puestas a tierra.
- b) Desarrollar métodos analíticos como ayuda para el entendimiento y solución de problemas en el diseño.
- c) Establecer valores de voltaje o tensión, adecuadamente bajas entre las fases y tierra, durante las fallas a tierra en los sistemas eléctricos de potencia.
- d) Evitar gradientes de potencial peligrosos, sobre la superficie del suelo durante fallas o descargas atmosféricas en un área determinada.
- e) Asegurar en los sistemas de bajo voltaje la reducción de los efectos de inducción de voltaje por parte de sistemas de transmisión o instalaciones eléctricas de potencia.
- f) Limitar los ruidos inducidos en circuitos de telecomunicaciones.
- g) Asegurar el empleo de la tierra como trayecto de retorno para sistemas eléctricos o electrónicos con retorno por tierra.

La norma IEEE 80-2000 establece en sus diferentes clausulas las siguientes exigencias generales pertinentes para los sistemas de tierra:

1.6.1 PRINCIPALES CONSIDERACIONES DEL DISEÑO

- **Electrodos de tierra principal y auxiliar**

En general, la mayoría de sistemas de aterrizaje o toma a tierra utilizan dos grupos de electrodos de tierra. El primer grupo de electrodos de tierra es diseñado para propósitos de toma a tierra y el segundo de electrodos de tierra son electrodos que incluyen varias estructuras metálicas subterráneas instaladas para otros propósitos que no sean de toma a tierra.

- **Aspectos básicos del diseño de la malla**

Para cimentar las ideas y conceptos básicos, los casos siguientes pueden servir como manual para iniciar un diseño de la típica malla a tierra:

- a. El conductor correspondiente a la malla de puesta a tierra, debe rodear el perímetro para encerrar mucha más área como sea práctico. Encerrando más área reduce la resistencia de la malla a tierra.
- b. Dentro de la malla, los conductores se extienden comúnmente en líneas paralelas y donde sea practico, a lo largo de las estructuras para proporcionar conexiones cortas a tierra.
- c. Una malla de puesta a tierra para una subestación puede incluir conductores de cobre desnudo #2/0 AWG, enterrados de 0,3 metros a 1 metros debajo del nivel, con un espaciamiento de 3 metros a 15 metros de distancia. En las conexiones de cruce, los conductores deben estar soldados de una forma segura. Las varillas o electrodos pueden estar en las esquinas de la malla y en los puntos de unión a lo largo del perímetro. Las varillas de tierra también se pueden instalar en equipos importantes, especialmente cerca de los pararrayos.
- d. El sistema de malla sería extendido sobre toda la subestación y con frecuencia más allá del límite de la cerca metálica.

- **Conexión a la malla**

Conductores con la adecuada capacidad y resistencia mecánica deben usarse para la conexión entre:

- a. Todos los electrodos de tierra, como las redes de conexión a tierra, tuberías metálicas de gas o agua, etc.
- b. Sobre todo las partes metálicas conductoras a tierra que podrían llegar a energizarse accidentalmente, tal como estructuras metálicas, carcasas de máquinas, tanques de transformadores, protectores, etc.
- c. Todas las fuentes de corriente de fallas tales como pararrayos, banco de capacitores, transformadores y donde sea apropiado, neutros de máquinas y circuitos de potencia.

Evaluación de la resistencia de tierra

- **Necesidades usuales**

Un buen sistema de toma a tierra provee una baja resistencia hacia la tierra remota para minimizar el incremento de potencial a tierra. Los valores tolerables o aceptables para un buen diseño recomendable en subestaciones son los indicados en la tabla 1.1

Tabla 1.1

Valores de resistencia de puesta a tierra en subestaciones.

Valores de resistencia de puesta a tierra en subestaciones	
Denominación	Resistencia de tierra
Subestaciones de transmisión y subtransmisión	1 Ω o menos
Subestaciones de distribución pequeñas	Desde 1 Ω hasta 5 Ω

Fuente: [3]

- **Áreas de especial interés**

Los siguientes puntos considerados como áreas de especial interés deben ser de toma a tierra.

- a. Áreas de servicio.
- b. Las estructuras metálicas o carcasas metálicas de los equipos eléctricos, ya sean estos: transformadores de potencia, transformadores de medida, banco de capacitores, motores, entre otros.
- c. Estructuras de los tableros de distribución, alumbrado y cercas de protección.

- d. Soportes metálicos de cuchillas desconectadas, aisladores de soporte, etc.
- e. Cerca metálica de la subestación.
- f. Bajante del hilo de guarda.
- g. Los pararrayos.
- h. Circuitos de comunicación.
- i. Los neutros de los transformadores.
- j. Tuberías metálicas.

1.6.2 DEFINICIONES SEGÚN LA NORMA IEEE 80-2000.

Las definiciones que a continuación se presentan están referidas únicamente para la aplicación de esta guía y están establecidas en la Norma Internacional IEEE 80-2000.

- **Puesta a tierra**

Es un sistema, que va dirigido a tierra con el propósito de establecer un circuito de retorno a tierra y mantener su potencial casi igual al potencial del terreno. [1]

- **Sistemas de puesta a tierra (SPT)**

El propósito del sistema de puesta a tierra es limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de rayos, fenómenos o de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos.

- **Aterrizaje**

Es una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito eléctrico o equipos que se conectan a tierra. [1]

- **Aumento del potencial de tierra (GPR)**

Es el máximo potencial eléctrico que una subestación de malla aterrizada puede alcanzar, relativo a una distancia de un punto aterrizado que se asume como el potencial de tierra remoto. [1]

Nota: Bajo condiciones normales, el equipo eléctrico puesto a tierra opera con potencial de tierra cercano a cero. Esto es, el potencial de un conductor neutro aterrizado es casi idéntico al potencial de tierra de referencia. Durante una falla a tierra, la parte de la corriente de falla que circula por la malla de tierra en la subestación causa el incremento de potencial con respecto a la tierra de referencia.

- **Circuito de retorno a tierra**

Es un circuito en el cual se le ocupa a la tierra y un cuerpo conductor equivalente (cable conductor), se utiliza para completar el circuito y permitir la circulación de corriente desde o hacia la fuente de corriente.

- **Compensación de c.d. (d.c. offset)**

Es la diferencia entre la onda simétrica de corriente y la onda real de corriente durante una condición transitoria del sistema de potencia. Matemáticamente, la corriente de falla real puede ser dividida en dos partes, una componente simétrica alterna y una componente unidireccional (c.d.). [1]

- **Conductor de protección**

Es el conductor usado para conectar las partes conductivas de los equipos, canalizaciones y otras cubiertas, entre si y con el o los electrodos de puesta a tierra.

- **Conductor de puesta a tierra**

Es el conductor usado para interconectar el reticulado de la malla de puesta a tierra.

- **Conductor de servicio**

El conductor de servicio se usa para conectar un equipo a tierra de un sistema de cableado a uno o varios electrodos de puesta a tierra ya sea empalmando o soldando.

- **Contacto directo**

Es el contacto accidental de personas con un conductor activo o con una pieza conductora que habitualmente está en tensión.

- **Contacto indirecto**

Es el contacto de una persona con masas metálicas, accidentalmente puestas bajo tensión siendo esto el resultado de un defecto de aislamiento.

- **Contacto a tierra**

Conexión accidental de un conductor con la masa terrestre (tierra), directamente a través de un elemento extraño.

- **Corriente a tierra**

Es una corriente que fluye dentro y fuera del terreno o su equivalente trabajando como aterrizaje.

- **Electrodo de puesta a tierra**

Es un electrodo introducido en la tierra y se usa para recoger o disipar corriente, desde o hacia el interior del terreno.

- **Factor de decremento (D_f)**

Es un factor de ajuste que se usa conjuntamente con los parámetros de la corriente simétrica de falla a tierra en los cálculos de puesta a tierra. Se determina el equivalente rms de la onda asimétrica de corriente para una duración de falla dada t_f , tomando en cuenta para el efecto la compensación c.d. inicial y su atenuación durante la falla.

- **Malla de tierra**

Es un sistema horizontal de electrodos en la tierra que consiste de un número de interconexiones, conductores desnudos ocultos en la tierra, proporcionando una tierra común para los equipos eléctricos o estructuras metálicas, comúnmente en una instalación específica.

NOTA: Las mallas enterradas horizontalmente cercanas a la superficie de las tierras son también efectivas al controlar los gradientes de potencial en la superficie. Una malla típica comúnmente se completa con un número de varillas a tierra y pueden, además conectarse a los electrodos de tierra auxiliares para reducir su resistencia con respecto a la tierra.

- **Masa o carcasa**

Es la caja metálica exterior que contiene a un aparato eléctrico presentado un punto denominado terminal o borne en el cual se realiza la conexión a tierra.

- **Material superficial**

Es un material instalado sobre el suelo que consta de roca, grava, asfalto o materiales hechos por el hombre, etc. Los materiales superficiales, dependen de la resistividad del material, los cuales pueden impactar significativamente la corriente del cuerpo por los voltajes de contacto y de paso, involucrando los pies de la persona.

- **Resistencia de dispersión**

Es la resistencia que opone la puesta a tierra al paso de la corriente eléctrica. Conviene que sea mínima para brindar protección.

- **Sistema de aterrizaje**

Comprende todas las interconexiones aterrizadas instaladas en un área específica.

- **Tensión de paso**

Es la diferencia de potencial en la superficie terrestre que experimenta una persona a una distancia de un metro con el pie sin tener contacto con cualquier objeto dirigido a tierra.

- **Tensión de Contacto**

Es la diferencia de potencial entre el aumento del potencial de la tierra y el potencial de la superficie en un punto donde una persona se encuentra de pie y al mismo tiempo tenga contacto con la mano una estructura que está conectada o aterrizada a tierra.

- **Tensión de transferencia**

Es un caso especial de tensión de contacto, donde se transfiere un voltaje dentro o fuera de la subestación desde o hacia un punto externo remoto al sitio de la subestación.

- **Tierra**

Una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, por medio de la cual un circuito eléctrico se conecta a la tierra o a algún cuerpo conductor de dimensión relativamente grande que cumple la función de la tierra.

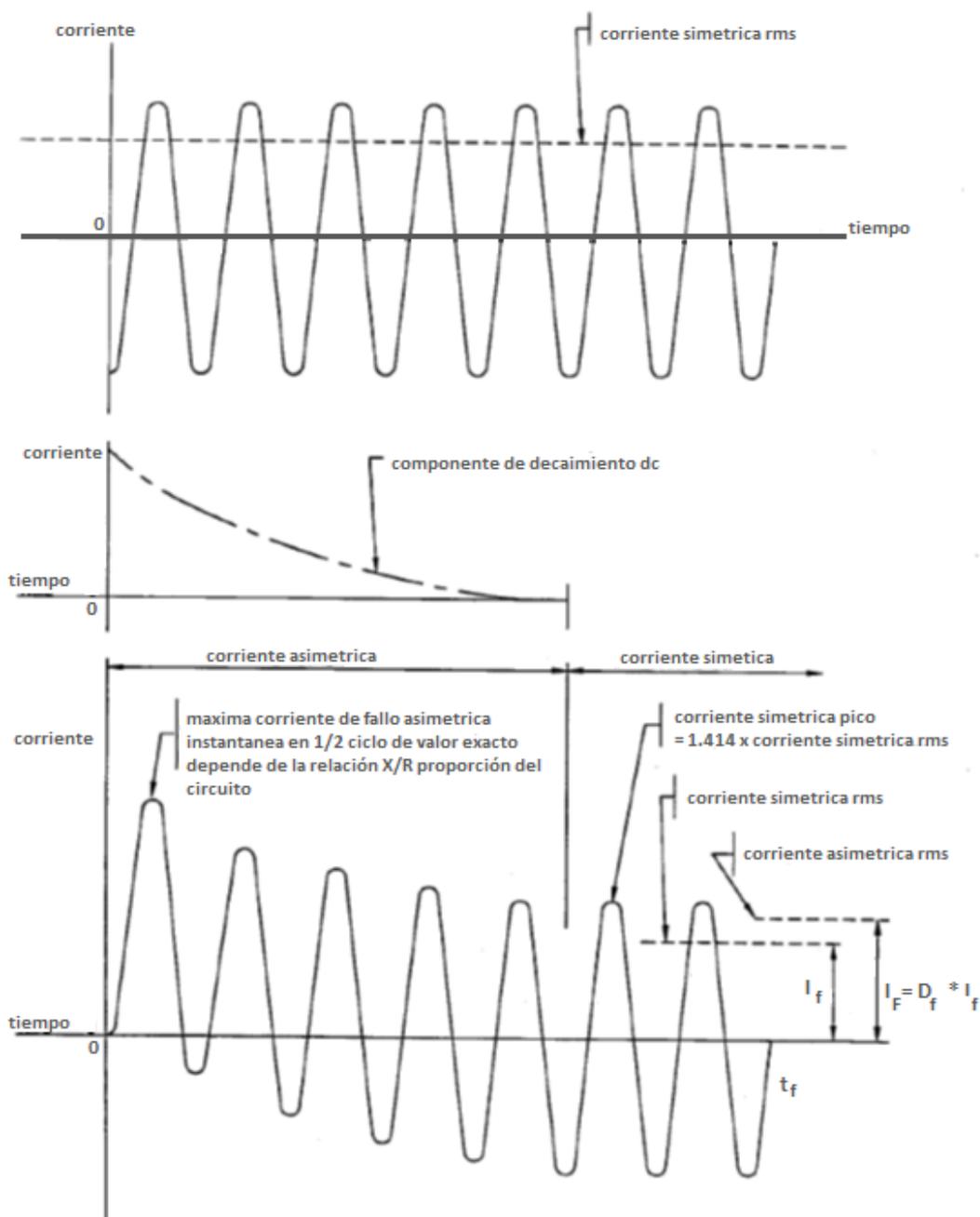


Figura 1.2 Relación entre los valores de la corriente de falla y valores de I_F , I_f y D_f de la duración de la falla t_f .

Fuente: [3]

1.6.3 CORRIENTE DE FALLA ASIMÉTRICA EFICAZ.

El valor eficaz de onda de corriente asimétrica, integrada en el intervalo de duración de la falla (ver Figura 1.2).

$$I_F = D_f \times I_f \quad \text{EC. 2}$$

Donde:

I_F es la corriente de falla asimétrica eficaz en A.

I_f es la corriente rms simétrica de falla a tierra en A.

D_f es el factor de decremento.

1.6.4 FACTOR DE DIVISIÓN DE CORRIENTE.

Un factor que representa la inversa de una relación de la corriente de falla simétrica a la porción de la corriente que fluye entre la rejilla de puesta a tierra y la tierra circundante.

$$S_f = \frac{I_g}{3I_0} = \frac{I_g}{I_f} \quad \text{EC. 3}$$

Donde

S_f es el factor de división de corriente.

I_g es la corriente rms de la red simétrica en A.

I_0 es la corriente de falla de secuencia cero en A.

NOTA. En realidad, el factor de división actual podría cambiar durante la duración de la falla, con base en las tasas de atenuación variables de las contribuciones de falla y la secuencia de interrumpir las operaciones del dispositivo. Sin embargo, para los propósitos de calcular el valor de diseño de la máxima corriente de red actual y simétrica según las definiciones de la corriente de red simétrica y corriente máxima de la rejilla, la relación se supone constante durante toda la duración de un fallo determinado.

1.6.5 CORRIENTE DE RED SIMÉTRICA.

La porción de la corriente de fallo de tierra simétrica que fluye entre la rejilla de puesta a tierra y la tierra circundante. Se puede expresar como:

$$I_g = S_f * I_f \quad \text{EC. 4}$$

Donde:

I_g es la corriente rms simétrica de la red en A.

I_f es la corriente rms simétrica de falla a tierra en A.

S_f es el factor de división de corriente.

1.6.6 CORRIENTE MÁXIMA A DISIPAR POR LA MALLA.

El valor máximo de diseño de la corriente de falla a tierra que fluye a través de la malla hasta la tierra está dada por:

$$I_G = D_f \times I_g \quad \text{EC. 5}$$

Donde:

I_G es la corriente máxima a disipar por la malla.

D_f es el factor de disminución para toda la duración de la falla t_f , dado en s.

I_g es la corriente de red simétrica.

1.6.7 CORRIENTE SIMÉTRICA DE FALLA A TIERRA.

El valor eficaz máximo de la corriente de falla simétrica después de la instantánea de una iniciación de falla a tierra. Como tal, representa el valor eficaz de la componente simétrica en el primer medio ciclo de una onda de corriente que se desarrolla después del instante de fallo en el tiempo cero. Para fallas de fase a tierra

$$I_{f(0+)} = 3I''_0 \quad \text{EC. 6}$$

Donde:

$I_{f(0+)}$ es la corriente simétrica de falla a tierra.

$3I''_0$ es el valor eficaz de corriente de secuencia cero simétrico que se desarrolla inmediatamente después del instante de inicio falla, lo que refleja las reactancias subtransitorias de máquinas rotativas que contribuyen a la falla.

1.6.8 CORRIENTE SIMÉTRICA DE FALLA A TIERRA (I_F).

Para realizar el diseño se recomienda hallar los siguientes tipos de falla.

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

$$(I_F)_{L-L-T} = 3I_0 = \frac{3 * E * Z_2}{Z_1 * (Z_0 + Z_2) + Z_2 * Z_0} \quad \text{EC. 7}$$

- b) Falla línea-tierra, despreciando la resistencia de la falla y la resistencia de puesta a tierra de la subestación.

$$(I_F)_{L-T} = 3I_0 = \frac{3 * E}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad \text{EC. 8}$$

Donde:

I_0 Valor rms de secuencia cero de la corriente simétrica de falla en A.

E Tensión fase – neutro rms en V.

Z_1 Impedancia equivalente de secuencia positiva del sistema en el punto de falla.

Z_2 Impedancia equivalente de secuencia negativa del sistema en el punto de falla.

Z_0 Impedancia equivalente de secuencia cero del sistema en el punto de falla.

En una ubicación dada, una falla simple línea – tierra será la peor si:

$$Z_1 * Z_0 > (Z_2)^2$$

en el punto de la falla y una falla línea – línea – tierra será peor si

$$Z_1 * Z_0 < (Z_2)^2$$

es común que en un sistema dado $Z_1 = Z_2$

1.6.9 FACTOR DE DECREMENTO.

Para el diseño del sistema de puesta a tierra, debemos considerar la corriente asimétrica de falla la cual resulta de la manipulación de la corriente simétrica de falla por el factor de decremento, está dado por:

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} (1 - e^{-\frac{2 * t_f}{T_a}})} \quad \text{EC. 9}$$

Donde:

t_f Duración de l falla en segundos.

T_a Constante de tiempo de la componente DC.

$$T_a = \frac{X}{wR} = \frac{X}{R} * \frac{1}{2\pi f} \quad \text{EC. 10}$$

X, R Componentes de la impedancia subtransitoria de la falla.

1.6.10 FACTOR DE CRECIMIENTO (CP).

Si la malla de puesta a tierra se construye teniendo en cuenta la capacidad total de la subestación, y no se consideran aumentos futuros de carga ni de alimentadores $C_p = 1$, caso contrario $C_p = 1.5$ en el caso que se incrementen un 50%.

1.6.11 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.

Bajo la norma ANSI/IEEE 141-1986 del IEEE

ICC a lado de baja tensión

$$I_{sec} = \frac{KVA * 1000}{\sqrt{3} * E} \quad \text{EC. 11}$$

La corriente de cortocircuito simétrica máxima ICC_{max} será:

$$ICC_{max} = \frac{100\%}{Z\%} * I_{sec} \quad \text{EC. 12}$$

La corriente de cortocircuito asimétrica será:

$$ICC_{asim} = ICC_{max} * D_f \quad \text{EC. 13}$$

Donde D_f es el factor de crecimiento de 0,1 por incremento de la red eléctrica por aumento de carga.

1.6.12 CÁLCULO DEL 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 que fracción de la corriente total de falla fluye entre la malla y la tierra circundante, y que fracción fluye a través de los cables de guarda o neutros, hacia las tierra de los pie de torres que entran y sacan líneas de la subestación. Sf depende de:

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

Existe una serie de desarrolladores matemáticos, curvas y tablas que permiten encontrar el valor de Sf pero resulta mucho más práctico utilizar la tabla 2.

La tabla 1.2 muestra 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 con Y alimentadores de distribución. La primera columna muestra 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 corresponden a $R_{tg}=100\Omega$ y $R_{dg}=200\Omega$. [4]

El factor de división de corriente será entonces:

$$(S_f)_{X/Y} = \left| \frac{(Z_{eq})_{X/Y}}{R_g + (Z_{eq})_{X/Y}} \right| \quad \text{EC. 14}$$

Donde:

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

R_g Resistencia del sistema de puesta a tierra de las subestación.

Tabla 1.2

Impedancias equivalentes aproximadas de cables de guarda de líneas de transmisión y neutros de distribución.

Nº	Número de líneas de transmisión	Número de neutros de distribución	Z_{eq} (ohms)	
			Rtg=15, Rdg=25	Rtg=100, Rdg=200
1	1	1	0,91+j0,485	3,27+j0,652
2	1	2	0,54+j0,33	2,18+j0,412
3	1	4	0,295+j0,20	1,32+j0,244
4	1	8	0,15+j0,11	0,732+j0,133
5	1	12	0,10+j0,076	0,57+j0,091
6	1	16	0,079+j0,057	0,387+j0,069
7	2	1	0,685+j0,302	2,18+j0,442
8	2	2	0,455+j0,241	1,63+j0,324
9	2	4	0,27+j0,165	1,09+j0,208
10	2	8	0,15+j0,10	0,685+j0,122
11	2	12	0,10+j0,07	0,47+j0,087
12	2	16	0,08+j0,055	0,336+j0,067
13	4	1	0,45+j0,16	1,30+j0,273
14	4	2	0,34+j0,15	1,09+j0,22
15	4	8	0,134+j0,083	0,546+j0,103
16	4	12	0,095+j0,061	0,41+j0,077
17	4	16	0,073+j0,05	0,329+j0,06
18	8	1	0,27+j0,08	0,72+j0,152
19	8	2	0,23+j0,08	0,65+j0,134
20	8	4	0,17+j0,076	0,543+j0,11
21	8	8	0,114+j0,061	0,408+j0,079
22	8	12	0,085+j0,049	0,327+j0,064
23	8	16	0,067+j0,041	0,273+j0,052

Fuente: [5]

1.6.13 DURACIÓN DE LA FALLA (t_f) Y DURACIÓN DEL CHOQUE (t_s)

La duración de la falla y la duración del choque normalmente se asumen iguales, a menos que la duración de la falla sea la suma de choques sucesivos, como los producidos por los cierres automáticos de los reclosers. La selección de t_f puede reflejar tiempos de despeje rápidos de la subestación de transmisión y tiempos de despeje lentos para subestaciones de distribución e industriales. La selección de t_f y t_s puede resultar en la combinación más pesimista de factores de decremento de corrientes de falla y corrientes permitidas por el cuerpo humano. Los valores típicos para t_f y t_s están en el rango de 0.25 s a 1 s. [5]

1.7 SEGURIDAD EN TIERRA MEDIANTE LA NORMA IEEE 80-2000

1.7.1 PROBLEMA BÁSICO

En principio, un diseño de conexión a tierra de seguridad tiene los dos objetivos siguientes:

- Proporcionar a los medios o equipos eléctricos llevar corrientes eléctricas a la tierra, en condiciones normales y de fallo sin exceder los límites de funcionamiento y la de los equipos a de la continuidad del servicio.
- Para asegurar que una persona en las proximidades de las instalaciones de puesta a tierra no está expuesto al peligro de descarga eléctrica críticas.

Un enfoque práctico de este modo de conexión a tierra segura preocupaciones y se esfuerza para controlar la interacción de dos sistemas de puesta a tierra, de la siguiente manera:

- La base o suelo intencional, que consta de electrodos de tierra enterrados a cierta profundidad por debajo de la superficie de la tierra.
- La base o suelo accidental, establece temporalmente una persona expuesta a un gradiente de potencial en las proximidades de una instalación de puesta a tierra.

Las personas a menudo asumen que cualquier objeto conectado a tierra puede ser tocado con seguridad. Una baja resistencia a tierra de la subestación no es, en sí misma, una garantía de seguridad. No hay ninguna relación simple entre la resistencia del sistema de tierra y la corriente de choque máxima a la que una persona puede estar expuesta. Por lo tanto, una subestación de la resistencia relativamente bajo tierra puede ser peligroso, mientras que otra subestación con una resistencia muy alta puede ser seguro o puede ser asegurada por un diseño cuidadoso. Por ejemplo, si una subestación se suministra desde una línea aérea sin

escudo o cable neutro, una red de baja resistencia es importante. La mayor parte o la totalidad de la corriente total de fallo de tierra entra en la tierra provocando una subida empinada frecuencia del potencial de tierra local [Figura 1.3 (a)]. Si un cable de guarda, conductor de neutro, o el alimentador de cable subterráneo, etc., se utiliza, una parte de los ingresos corrientes de falla a través de este camino metálico directamente a la fuente. Desde este enlace metálico proporciona un camino paralelo de baja impedancia al circuito de retorno, la elevación del potencial de tierra local es en última instancia, de menor magnitud [Figura 1.3 (b)]. En cualquier caso, se debe analizar adicionalmente el efecto de la porción de corriente de defecto que entra en la tierra dentro de la zona de la subestación. Si la geometría, la ubicación de los electrodos de tierra, las características locales del suelo y otros factores contribuyen a un gradiente de potencial excesiva en la superficie de la tierra, el sistema de puesta a tierra puede ser insuficiente a pesar de su capacidad para llevar la corriente de falla en magnitudes y duraciones permitidos por los relés de protección.

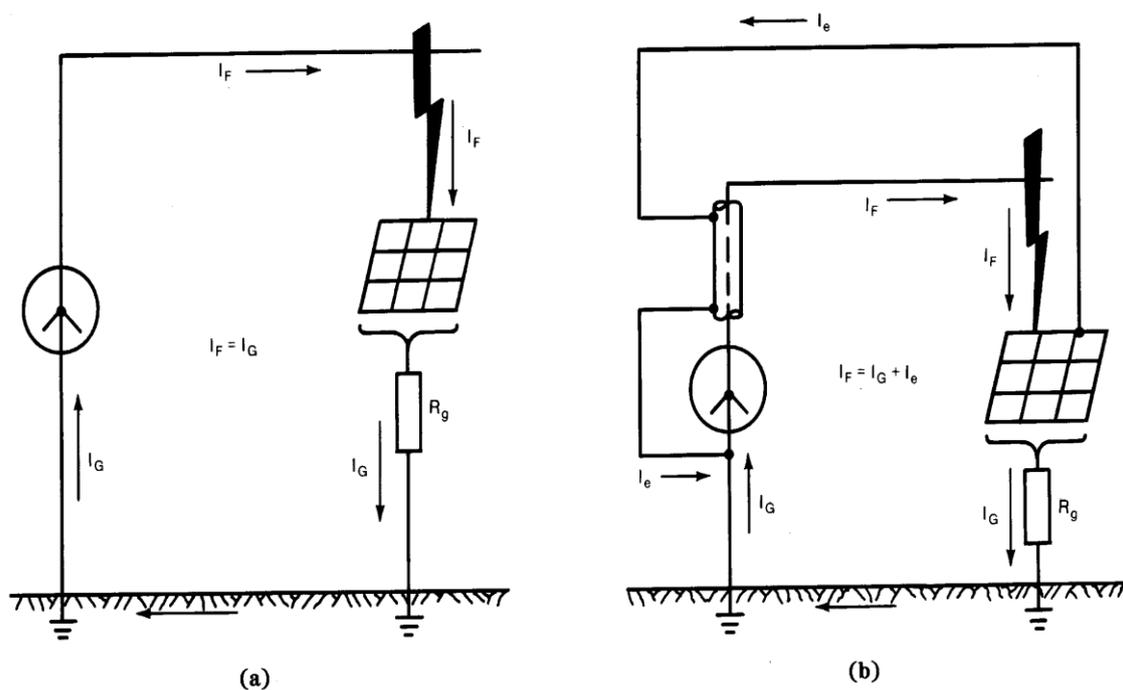


Figura 1.3. Líneas equipotenciales de una rejilla a tierra típica con y sin varillas de tierra.

Fuente: [3]

1.7.2 CONDICIONES DE PELIGRO

Durante las condiciones típicas de fallo de tierra, el flujo de corriente a la tierra producirá gradientes de potencial dentro y alrededor de una subestación. La Figura 1.4 muestra este efecto para una subestación con una rejilla rectangular de puesta a tierra sencilla en el suelo homogéneo.

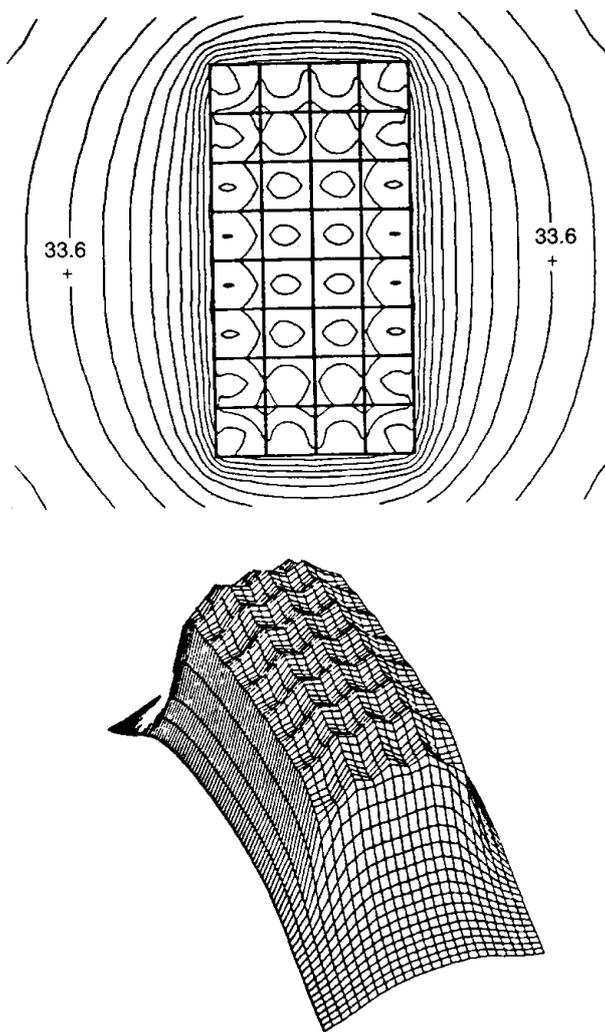


Figura 1.4. Líneas equipotenciales si una rejilla a tierra típica con y sin varillas de tierra.

Fuente: [3]

Si no se toman las precauciones adecuadas en el diseño, las pendientes máximas potenciales a lo largo de la superficie de la tierra pueden ser de magnitud suficiente durante las condiciones de falla a tierra para poner en peligro a una persona en la zona. Por otra parte, los voltajes peligrosos pueden desarrollarse entre las estructuras de tierra o masas de los equipos y de la tierra cercana.

Las circunstancias que hacen que los accidentes por descargas eléctricas posibles son los siguientes:

- a. Relativamente alta corriente de fallo a tierra en relación con el área de sistema de tierra y su resistencia a la tierra remota.
- b. Resistividad del suelo y la distribución de las corrientes de tierra de tal manera que los altos gradientes de potencial pueden ocurrir en los puntos en la superficie de la tierra.
- c. La presencia de un individuo en un punto tal, el tiempo, y la posición que el cuerpo está entre dos puntos de alta diferencia de potencial.
- d. La ausencia de resistencia de contacto suficiente u otra resistencia en serie para limitar la corriente a través del cuerpo a un valor seguro bajo circunstancias a) a c).
- e. Duración del contacto de fallo y el cuerpo, y por lo tanto, del flujo de corriente a través de un cuerpo humano durante un tiempo suficiente para causar daño a la intensidad de corriente dado.

La poca frecuencia relativa de los accidentes se debe principalmente a la baja probabilidad de coincidencia de todas las condiciones desfavorables mencionadas anteriormente.

1.8 RANGO DE CORRIENTE TOLERABLE SEGÚN LA NORMA IEEE 80-2000

Efectos de una corriente eléctrica que pasa a través de las partes vitales de un cuerpo humano dependen de la duración, la magnitud y frecuencia de esta corriente. La consecuencia más peligrosa de tal exposición es una condición cardíaca conocida como fibrilación ventricular, dando como resultado la detención inmediata de la circulación sanguínea.

1.8.1 EFECTO DE LA FRECUENCIA

Los seres humanos son muy vulnerables a los efectos de la corriente eléctrica a frecuencias de 50 Hz o 60 Hz. Corrientes de aproximadamente 0,1 A pueden ser letales. La investigación indica que el cuerpo humano puede tolerar una corriente de 25 Hz ligeramente más alto y aproximadamente cinco veces más altos de corriente continua. A frecuencias de 3000 a 10 000 Hz, las corrientes aún más altas pueden ser toleradas (Dalziel y Mansfield; Dalziel, Ogden, y Abbott). En algunos casos, el cuerpo humano es capaz de tolerar corrientes muy altas debido a rayos, sobrevoltajes.

Comisión proporciona curvas de la corriente del cuerpo tolerable como una función de la frecuencia y para corrientes de fuga capacitivas [IEC 60479-2 (1987-03)]. Otros estudios de los efectos de ambas corrientes de impulso directas y oscilatorias se reportan en Dalziel.

La información relativa a los problemas especiales de CC a tierra está contenida en el informe de 1957 del Comité de Subestaciones AIEE. Los peligros de una descarga eléctrica producida por los efectos electrostáticos de líneas aéreas de transmisión son revisados en la parte 1 del informe de 1972 de la Subcomisión de Sistemas General.

1.8.2 EFECTO DE MAGNITUD Y DURACIÓN

Los efectos fisiológicos más comunes de la corriente eléctrica en el cuerpo, se indica con el fin de aumentar la magnitud de la corriente, son la percepción de umbral, la contracción muscular, pérdida del conocimiento, la fibrilación del corazón, bloqueo del nervio respiratorio, y la quema de órganos internos (Geddes y Baker; IEC 60479 -1 (1994-1909)).

Corriente de 1 mA se reconoce generalmente como el umbral de percepción; es decir, la magnitud de la corriente a la que una persona es capaz de detectar una ligera sensación de hormigueo en sus manos o dedos causados por el paso de la corriente (Dalziel).

En el rango de 9-25 mA, las corrientes pueden ser dolorosas y pueden hacer que sea difícil o imposible de soltar objetos energizados agarrados de la mano. Para corrientes aún mayores contracciones musculares podrían dificultar la respiración.

Estos efectos no son permanentes y desaparecen cuando se interrumpe la corriente, a menos que la contracción es muy severa y la respiración se detiene durante minutos en lugar de segundos. Sin embargo, incluso estos casos a menudo responden a la resucitación (Dalziel).

No es hasta magnitudes de corriente en el rango de 60-100 mA se alcanzan que la fibrilación ventricular, paro del corazón, o la inhibición de la respiración pueden ocurrir y causar lesiones o la muerte. Una persona entrenada en reanimación cardiopulmonar (RCP) debe administrar RCP hasta que la víctima puede ser tratada en un centro médico (Dalziel; Dalziel y Lee).

Como se muestra por Dalziel y otros (Dalziel, Lagen, y Thurston; Dalziel y Massogilia), la corriente sin fibrilación de magnitud I_B en duraciones que van desde 0,03 hasta 3,0 s se relaciona con la energía absorbida por el cuerpo como se describe por la siguiente ecuación:

$$S_B = (I_B)^2 * t_s \quad \text{EC. 5}$$

Donde

S_B Es la magnitud de la corriente rms a través del cuerpo en A.

I_B Es la duración de la exposición a la corriente en s.

t_s Es la constante empírica relacionada con la energía de choque eléctrico tolerado por un cierto porcentaje de una población determinada.

1.8.3 IMPORTANCIA DE DESPEJE DE FALLAS DE ALTA VELOCIDAD

Teniendo en cuenta la importancia de la duración de la falla tanto en términos de la ecuación anterior e implícitamente como un factor de exposición accidental, el desmonte de alta velocidad de las fallas a tierra es ventajoso por dos razones:

- a) La probabilidad de exposición a la descarga eléctrica se reduce en gran medida por el rápido tiempo de despeje de fallas, en contraste con situaciones en las que las corrientes de defecto podrían persistir durante varios minutos o posiblemente horas.
- b) Las pruebas y la experiencia muestran que el riesgo de lesiones graves o la muerte se reduce en gran medida si la duración de un flujo de corriente a través del cuerpo es muy breve.

El valor actual permitido puede, por lo tanto, se basa en el tiempo de compensación de los dispositivos de protección primaria, o el de la protección de copia de seguridad. Un buen caso se podría hacer para usar el tiempo de despeje primario debido a la baja probabilidad

combinada de que las averías del relé coincidirán con todos los demás factores adversos necesarios para un accidente. Es más conservador para elegir el relé de copia de seguridad que despejan épocas en la ecuación anterior, porque aseguran mayor margen de seguridad.

Su investigación proporciona evidencia de que un corazón humano se convierte en cada vez más susceptibles a la fibrilación ventricular, cuando el tiempo de exposición a la corriente se aproxima el período de latido del corazón, pero que el peligro es mucho menor si el tiempo de exposición a la corriente está en la región de 0,06 hasta 0,3 s.

1.9 CUERPO TOLERABLE A LA CORRIENTE LÍMITE

La magnitud y duración de la corriente conducida a través de un cuerpo humano en 50 Hz o 60 Hz deben ser menores que el valor que puede causar fibrilación ventricular del corazón.

1.9.1 LA DURACIÓN DE LA FÓRMULA

El tiempo durante el cual una corriente de 50 Hz o 60 Hz puede ser tolerada por la mayoría de la gente está relacionado con su magnitud, de acuerdo con la ecuación (14). Basándose en los resultados de los estudios de Dalziel (Dalziel; Dalziel y Lee), se supone que el 99,5% de todas las personas puede soportar de manera segura, sin fibrilación ventricular, el paso de una corriente con magnitud y duración determinada por la siguiente fórmula:

$$I_B = \frac{k}{\sqrt{t_s}} \quad \text{EC. 16}$$

Donde, además de los términos definidos anteriormente en la ecuación (15).

$$k = \sqrt{S_B} \quad \text{EC. 17}$$

Dalziel encontró que la energía de choque que pueden sobrevivir 99,5% de las personas con un peso aproximado de 50 kilogramos (110 libras) resulta en un valor de S_B de 0,0135. Por lo tanto, $k_{50kg} = 0.116$ y la fórmula de la corriente del cuerpo permisible se convierte:

$$I_B = \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \quad \text{EC. 18}$$

La ecuación (18) se traduce en valores de 116 mA para $t_s = 1$ s y 367 mA para $t_s = 0,1$ s. Debido a que la ecuación (16) se basa en pruebas limitadas a un rango de entre 0,03 y 3,0 s, es obvio que no es válida para las duraciones muy cortas o largas.

A través de los años, otros investigadores han sugerido otros valores para IB. En 1936 Ferris et al. Sugerido 100 mA como el umbral de fibrilación. El valor de 100 mA se derivó de extensos experimentos en la Universidad de Columbia. En los experimentos, los animales tienen cuerpo y el corazón pesos comparables a los seres humanos, fueron sometidos a duraciones máximas de choque de 3 s. Algunos de los experimentos más recientes sugieren la existencia de dos umbrales diferentes: uno donde la duración de choque es más corta que un período de latido y otro para la duración actual de más de un latido del corazón. Por unos 50 kg (110 lb) de adultos, Biegelmeier propuso los valores umbral a 500 mA a 50 mA, respectivamente. Otros estudios sobre este tema se llevaron a cabo por Lee y Kouwenhoven. La ecuación para la corriente tolerable del cuerpo desarrollado por Dalziel es la base para la derivación de voltajes tolerables utilizados en esta guía.

1.9.2 SUPUESTOS ALTERNATIVOS

Fibrilación actual se supone que es una función del peso corporal individual, como se ilustra en la Figura 1.5. La figura muestra la relación entre el peso actual y el cuerpo crítico para varias especies de animales (terneros, perros, ovejas y cerdos), y un 0,5 % región umbral común para los mamíferos.

En la edición de 1961 de esta guía, las constantes SB y k en la ecuación (15) y la ecuación (16), se les dio como 0,0272 y 0,165, respectivamente, y se había supuesto válido para el 99,5% de todas las personas de alrededor de 70 kg (155 libras). Posteriores estudios de Dalziel, en la que (15) se basa la ecuación, conducen al valor alternativo de $k = 0,157$ y $SB = 0,0246$ que es aplicable a las personas que pesan 70 kg (155 libras). Así

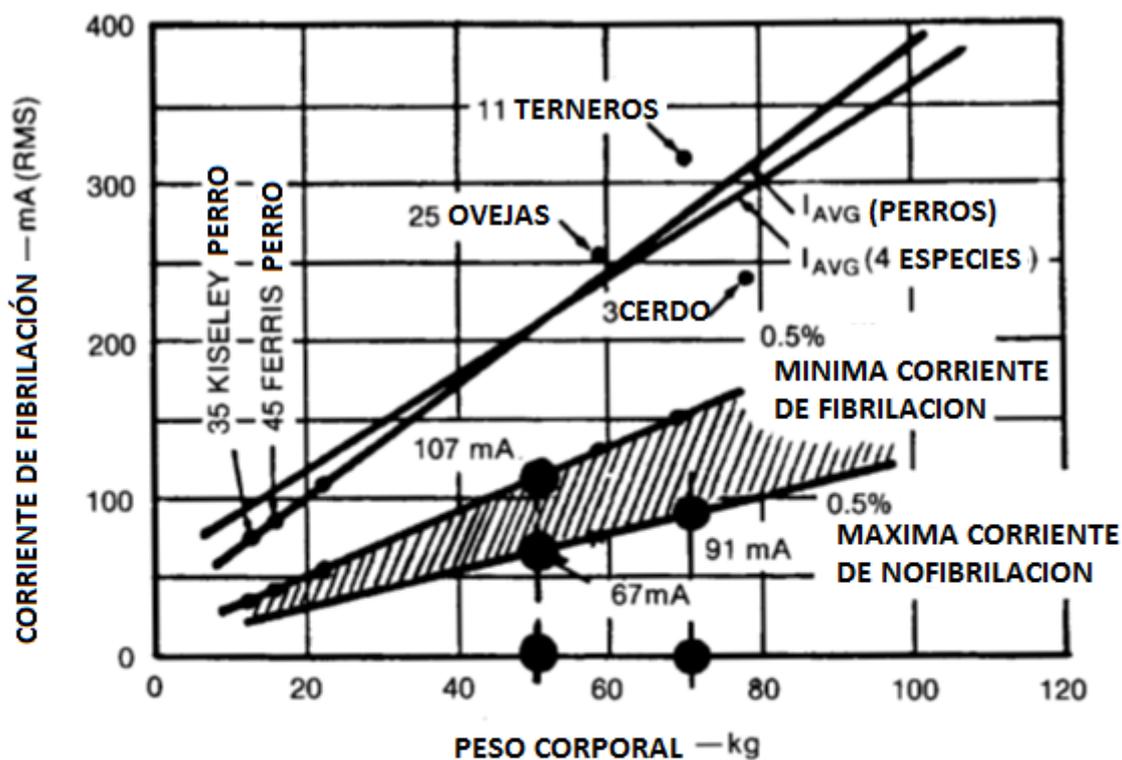


Figura 1.5. Fibrilación corriente en función del peso corporal para varios animales sobre la base de una de tres segundos de duración de la descarga eléctrica.

Fuente: [3]

$$I_B = \frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \text{ para } 70\text{kg de peso corporal} \quad \text{EC. 19}$$

Los usuarios de esta guía pueden seleccionar $k = 0,157$, siempre que el peso promedio de la población se puede esperar a tener por lo menos 70 kg.

La ecuación (15) indica que las corrientes del cuerpo mucho más altas puede admitirse cuando rápido que operan los dispositivos de protección se puede confiar en limitar la

duración de la falla. Se necesita una decisión de juicio en cuanto a si se debe utilizar el tiempo de compensación de los relés de alta velocidad primaria, o el de la protección de copia de seguridad, ya que la base de cálculo.

1.9.3 LA COMPARACIÓN DE LAS ECUACIONES DE DALZIEL Y BIEGELMEIER DE CURVA

La comparación de la ecuación (17), la ecuación (18), y la curva en forma de Z de la corriente en función del tiempo desarrollado por Biegelmeier cuerpo que fue publicado por Biegelmeier y Lee se muestra en la figura 1.6. La curva Z tiene un 500 mA límite para tiempos cortos de hasta 0,2 s, luego disminuye a 50 mA a 2,0 s, y más allá.

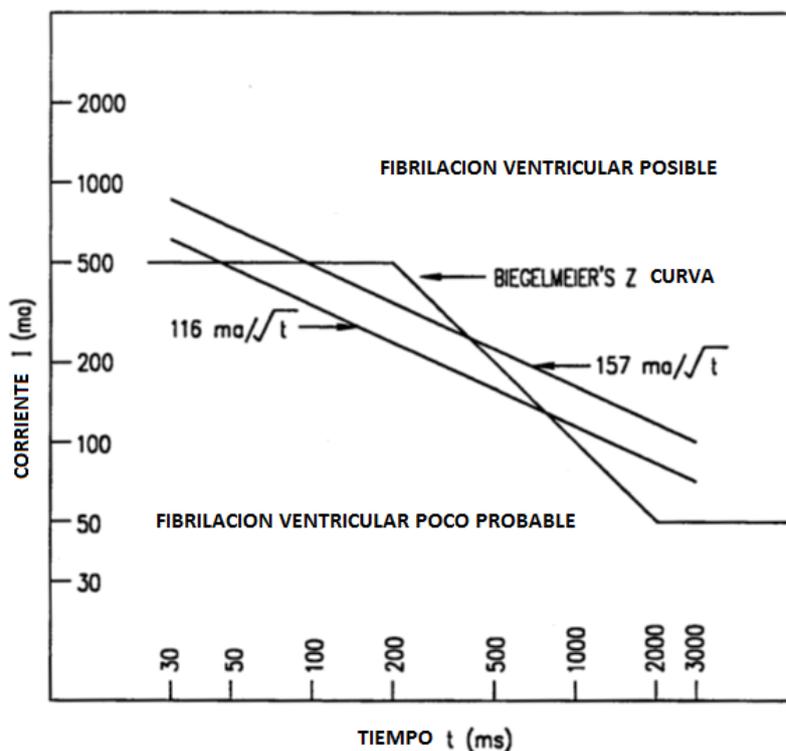


Figura 1.6. Corriente del cuerpo en función del tiempo.

Fuente: [3]

Utilizando la ecuación (17), la corriente cuerpo tolerable será menor que la curva Z de Biegelmeier para tiempos de 0,06 s a 0,7 s.

1.10 SISTEMAS OPERATIVOS MÓVILES

Los Sistemas Operativos Móviles se vuelven día a día más importante ya que la tecnología avanza rápidamente y en materia de comunicaciones aún más, los dispositivos móviles cada vez más se convierten en parte fundamental de las personas, sobretodo estudiantes y profesionales, es importante diseñar aplicaciones y estas deben ser fáciles, accesibles y hasta divertidas.

Por lo cual las grandes compañías móviles han desarrollado una competencia entre ellas en el desarrollo de nuevos sistemas operativos móviles, desde los inicios en los años 90 con las versiones de EPOC32 para PDA's hasta lo más avanzados y sofisticados sistemas operativos móviles como son Android, iOS, BlackBerry, Windows Phone que además de ser eficientes, estables son multiplataforma, lo cual hace que cualquier persona tenga acceso a ellos desde un Smartphone o Tablet. [6]

Un dispositivo móvil al igual que las computadoras más grandes utilizan: Windows, Mac OS. Sin embargo, los sistemas operativos móviles son mucho más simples y están más orientados a la conectividad inalámbrica y móvil esta sea 3G.

1.10.1 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS OPERATIVOS EN DISPOSITIVOS MÓVILES

1.10.1.1 CAPAS

Al igual que los sistemas operativos presentes en los componentes informáticos más grandes, estos pueden ser computadoras de escritorio y laptops, un sistema operativo móvil también se encuentra compuesto por varias capas. [6]

1.10.1.2 KERNEL

Una de las más importantes y esenciales piezas que componen cualquier sistema operativo, sea el de nuestro móvil, o el de la PC, es el denominado núcleo o Kernel, el cual es la capa de software que permite el acceso a los diferentes elementos de hardware que conforman nuestro móvil. También es el encargado de brindar diferentes servicios a las capas superiores como los controladores de hardware, gestión de procesos, sistemas de archivos, además del acceso y administración de la memoria del sistema. [6]

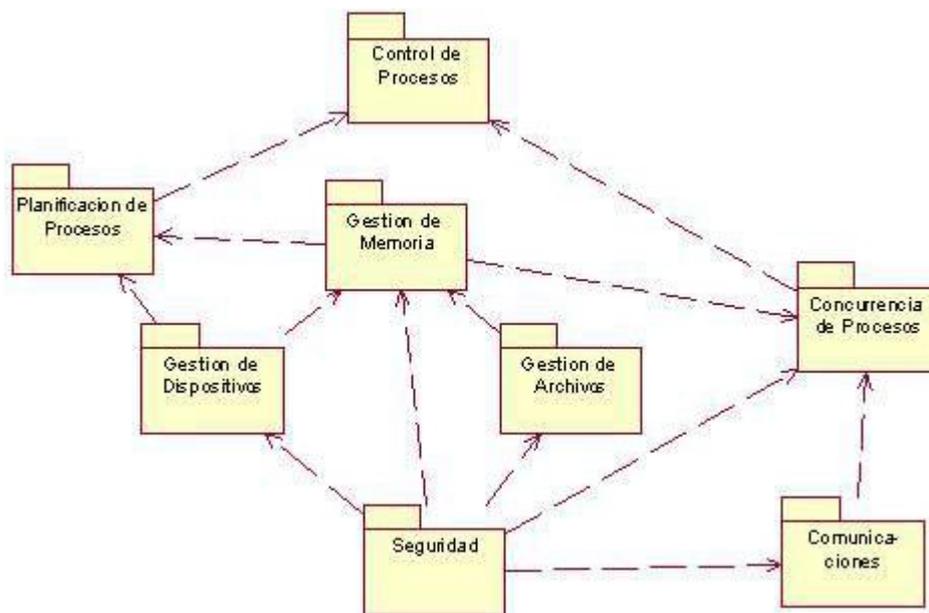


Figura 1.7. Capas de un sistema operativo

1.10.1.3 MIDDLEWARE

Esta capa, es el conjunto de módulos que permite que las aplicaciones diseñadas y escritas para tales plataformas puedan ser ejecutadas. Su funcionamiento es totalmente transparente para el usuario, no debiendo realizar ninguna acción ni configurar alguna para su correcto desenvolvimiento.

El Middleware brinda la posibilidad de ejecutar servicios muy importantes para que otras aplicaciones, en capas superiores de la jerarquía, puedan ejecutarse. Estos servicios, como mencionamos, son vitales para el normal funcionamiento de la estructura del sistema operativo de nuestro móvil.

1.10.2 MERCADO

A medida que los dispositivos móviles crecen, los sistemas operativos con los que funcionan adquieren mayor importancia. La cuota de mercado de dispositivos móviles en el 2013 y 2014 era el siguiente a nivel mundial.

Tabla 1.3.

Tabla comparativa de dispositivos móviles más vendidos en los años 2013 y 2014.

Nº	Vendedor	2Q14 Volumen de envíos	2Q14 Cuota de mercado	2Q13 Volumen de envíos	2Q13 Cuota de Mercado	2Q14/2Q13 Crecimiento
1	Samsung	74.3	25.2%	77.3	32.3%	-3.9%
2	Apple	35.1	11.9%	31.2	13%	12.4%
3	Huawei	20.3	6.9%	10.4	4.3%	95.1%
4	Lenovo	15.8	5.4%	11.4	4.7%	38.7%
5	LG	14.5	4.9%	12.1	5%	19.8%
6	Otros	135.3	45.8%	97.5	40.6%	38.7%
7	Total	259.3	100%	240	100%	23.1%

Fuente: [7]

Android tiene la mayor cuota, desde el 2013 hasta el 2014 con más de la mitad del mercado, experimento un crecimiento desde el año 2009 ha pasado ser el sistema operativo móvil más utilizado en el dispositivo Samsung.

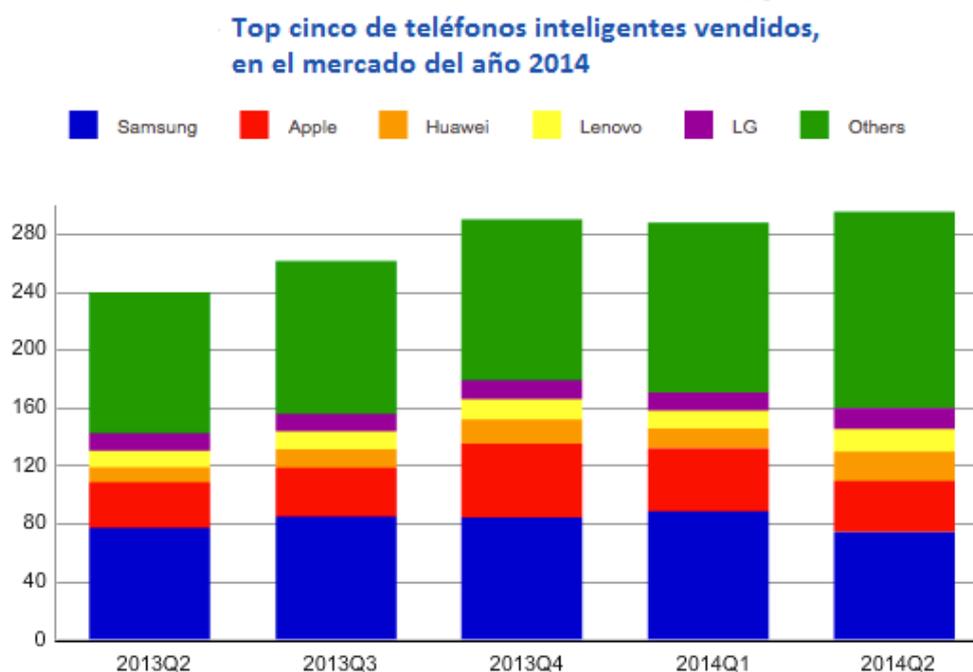


Figura 1.8. Gráfica de la tabla 1.3 de los equipos más utilizados a nivel mundial en los años 2013 y 2014.

1.10.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS TRES SISTEMAS OPERATIVOS MÓVILES MÁS UTILIZADOS

1.10.3.1 ANDROID

Es un sistema operativo móvil basado en Linux, que junto con aplicaciones middleware está enfocado para ser utilizado en dispositivos móviles como teléfonos inteligentes, tabletas y otros dispositivos. Es desarrollado por la Open Handset Alliance, la cual es liderada por Google. Este sistema por lo general maneja aplicaciones como Google Play. [8]

Tiene una gran comunidad de desarrolladores escribiendo aplicaciones para extender la funcionalidad de los dispositivos. A la fecha, se han sobrepasado las 700.000 aplicaciones de las cuales, su gran mayoría son gratuitas disponibles para la tienda de aplicaciones oficial de Android: Google Play, tomando en cuenta aplicaciones de otras tiendas no oficiales para Android, como pueden ser la App Store de Amazon o la tienda de aplicaciones Samsung Apps de Samsung. Google Play es la tienda de aplicaciones en línea administrada por Google, aunque existe la posibilidad de obtener software externamente mediante una PC. Los programas están escritos en el lenguaje de programación Java. [6]

- **Aplicaciones**

Las aplicaciones se desarrollan habitualmente en el lenguaje Java con Android Software Desarrollador Kit, pero están disponibles otras herramientas de desarrollo, incluyendo un Kit de Desarrollo Nativo para aplicaciones o extensiones en C o C++, Google App Inventor, un entorno visual para programadores novatos y varias aplicaciones de la plataforma web móvil marcos. [8]

El desarrollo de aplicaciones para el sistema operativo de Android no requiere el aprender lenguajes muy complejos de programación. Todo lo que se necesita es un conocimiento de Java y obtener un kit de desarrollo de software o «SDK» provisto por Google el cual se puede descargar gratuitamente. [6]

- **Google Play**

Google Play es una tienda en línea de software desarrollado por Google para dispositivos Android. Una aplicación llamada "play store" que se encuentra instalada en la mayoría de los dispositivos Android y permite a los usuarios navegar y descargar aplicaciones

publicadas por los desarrolladores. Google retribuye a los desarrolladores el 70% del precio de las aplicaciones. [8]

Por otra parte, los usuarios pueden instalar aplicaciones desde otras tiendas virtuales (tales como Amazon AppStore o SlideME) o directamente en el dispositivo si se dispone del archivo APK de la aplicación. [6]

- **Privacidad**

Se han descubierto ciertos comportamientos en algunos dispositivos que limitan la privacidad de los usuarios, de modo similar a iPhone, pero ocurre al activar la opción «Usar redes inalámbricas» en el menú «Ubicación y seguridad», avisando que se guardarán estos datos, y borrándose al desactivar esta opción, pues se usan como caché y no como log tal como hace iPhone. [6]

- **Seguridad**

Según un estudio de Symantec de 2011, comparado con el iOS, Android es un sistema más vulnerable, debido principalmente a que el proceso de certificación de aplicaciones es menos riguroso que el de Apple y el esquema de gestión de permisos para éstas, que pone muchas decisiones de seguridad importantes en manos del usuario, lo expone a mayores riesgos y le hace más atractivo a los ataques de ingeniería social. Sin embargo, en base a números absolutos contabilizados de los boletines de seguridad de Microsoft, Adobe, Oracle y Apple, el 85% de los agujeros de seguridad en 2011 sucedieron en sistemas iOS, pese a que éste posee una cuota de mercado inferior a la de Android. [6]

1.8.3.2 iOS

iOS anteriormente denominado iPhone OS, es un sistema operativo móvil de Apple. Originalmente desarrollado para el iPhone, siendo después usado en dispositivos como el iPod Touch, iPad y el Apple TV. Apple, Inc. no permite la instalación de iOS en hardware de terceros. Tenía el 26% de cuota de mercado de sistemas operativos móviles vendidos en el último cuatrimestre de 2010, detrás de Google Android y NokiaSymbian. [9]

La interfaz de usuario de iOS está basada en el concepto de manipulación directa, usando gestos multitáctiles. Los elementos de control consisten de deslizadores, interruptores y

botones. La respuesta a las órdenes del usuario es inmediata y provee de una interfaz fluida. La interacción con el sistema operativo incluye gestos como deslices, toques, pellizcos, los cuales tienen definiciones diferentes dependiendo del contexto de la interfaz. Se utilizan acelerómetros internos para hacer que algunas aplicaciones respondan a sacudir el dispositivo (por ejemplo, para el comando deshacer) o rotarlo en tres dimensiones (un resultado común es cambiar de modo vertical al apaisado u horizontal). [6]

Características

- **Pantalla principal**

La pantalla principal (llamada «SpringBoard») es donde se ubican los iconos de las aplicaciones y el Dock en la parte inferior de la pantalla donde se pueden anclar aplicaciones de uso frecuente, aparece al desbloquear el dispositivo o presionar el botón de inicio. La pantalla tiene una barra de estado en la parte superior para mostrar datos, tales como la hora, el nivel de batería, y la intensidad de la señal. El resto de la pantalla está dedicado a la aplicación actual. Desde iOS 3, se puede acceder a la búsqueda a la izquierda en la pantalla inicial, permitiendo buscar música, videos, aplicaciones, correos electrónicos, contactos y archivos similares. [6]

- **Tecnologías no admitidas**

iOS no permite Adobe Flash ni Java. Steve Jobs escribió una carta abierta donde critica a Flash por ser inseguro, con errores, consumir mucha batería, ser incompatible con interfaces multitouch e interferir con el servicio App Store. En cambio iOS usa HTML5 como una alternativa a Flash. Esta ha sido una característica muy criticada tanto en su momento como la actualidad. Sin embargo por métodos extraoficiales se le puede implementar aunque conllevaría la pérdida de la garantía. [8]

El jailbreak en iOS, es el proceso de remover las limitaciones impuestas por Apple en dispositivos que usen el sistema operativo a través del uso de kernels modificados. Tales dispositivos incluyen el iPhone, iPod Touch, iPad y la Apple TV de segunda generación. El jailbreak permite a los usuarios acceder al sistema de archivos del sistema operativo, permitiéndoles instalar aplicaciones adicionales, extensiones y temas que no están

disponibles en la App Store oficial. Un dispositivo con jailbreak puede seguir usando la App Store, iTunes y las demás funciones normales, como por ejemplo realizar llamadas. [6]

- **Jailbreak**

El jailbreak es necesario si el usuario quiere ejecutar software no autorizado por Apple. El tethered jailbreak requiere que el dispositivo esté conectado a un ordenador cada vez que se inicie el sistema, un jailbreak sin ataduras permite al dispositivo iniciar sin ninguna asistencia adicional.

El Digital Millennium Copyright Act dictamina que hacer jailbreak a dispositivos Apple es legal en los Estados Unidos, pero Apple anunció que tal práctica invalida la garantía.

RIM estuvo en disputa con NTP Inc. la cual le acusaba de violar cinco patentes que pudo haber dejado sin servicio a sus usuarios en Estados Unidos (sobre tres millones). Las compañías llegaron a un acuerdo extrajudicial que soluciono la disputa en marzo de 2006 previo pago de 612 millones de dólares por parte de RIM. [6]

- **Carpetas**

Con iOS 4 se introdujo un sistema simple de carpetas en el sistema. Se puede mover una aplicación sobre otra y se creará una carpeta, y así se pueden agregar más aplicaciones a esta mediante el mismo procedimiento. Pueden entrar hasta 12 y 20 aplicaciones en el iPhone e iPad respectivamente. El título de la carpeta es seleccionado automáticamente por el tipo de aplicaciones dentro de ella, pero puede ser editado por el usuario. [6]

- **Centro de notificaciones**

Con la actualización iOS 5, el sistema de notificaciones se rediseñó por completo. Las notificaciones ahora se colocan en un área por la cual se puede acceder mediante un desliz desde la barra de estado hacia abajo. Al hacer un toque en una notificación el sistema abre la aplicación. La pantalla inicial de iOS contiene varias aplicaciones, algunas de las cuales están ocultas por defecto y pueden ser activadas por el usuario mediante la aplicación "Configuración", por ejemplo, Nike + iPod se debe activar desde tal aplicación. [6]

- **Multitarea**

Antes de iOS 4, la multitarea estaba reservada para aplicaciones por defecto del sistema. A Apple le preocupaba los problemas de batería y rendimiento si se permitiese correr varias

aplicaciones de terceros al mismo tiempo. A partir de iOS 4, dispositivos de tercera generación y posteriores permiten el uso de 7 Apis para multitarea [10], específicamente:

1. Audio en segundo plano
2. Voz IP
3. Localización en segundo plano
4. Notificaciones push
5. Notificaciones locales
6. Completado de tareas
7. Cambio rápido de aplicaciones

1.8.3.3 WINDOWS PHONE

Es la nueva versión de su sistema operativo móvil, para una nueva generación de equipos. Este sistema operativo ha sido anunciado el 20 de Junio del 2012. Windows Phone supone un cambio de rumbo en la filosofía de Microsoft en dispositivos móviles. Todos los dispositivos Windows Phone anteriores utilizaban un sólo núcleo y, por lo tanto, el sistema operativo estaba optimizado para utilizar sólo un Core. Sin embargo, Windows Phone 8 está optimizado para tener soporte de varios núcleos (2 y 4). Además, la llegada de esta nueva plataforma ha incorporado un aire fresco en el desarrollo de aplicaciones móviles gracias a la experiencia de uso completamente renovada que ha presentado Microsoft. A continuación se presentan algunas de las características nuevas que ha traído este sistema operativo:

- NTKernel: Es el cambio más grande que ha tenido el OS. Así, Windows Phone 8 compartirá el mismo sistema de archivos, Kernel drivers, y partes del modelo de seguridad de Windows 8. Esto significa que ahora pasar una aplicación de Windows Phone 8 a Windows 8, o vice-versa, es mucho más sencillo. Por otra parte, ahora tienen acceso directo a librerías nativas de C y C++, además de soporte DirectX y SQLite.
- Múltiples Núcleos y más cambios en hardware: Gracias al salto a la arquitectura NT, ahora Windows trae soporte para múltiples núcleos. Luego los dispositivos podrán incorporar hasta 64 cores, aunque en la actualidad con un intervalo de [2-4] cores

bastaría. Por otra parte, el dispositivo tendrá soporte para tres tipos de resolución. Las resoluciones serán del tipo WVGA (800×480), la que utilizaban los teléfonos Windows Phone anteriores), WXGA (1280×768) y 720p (1280×720). Además, tendremos soporte para tarjetas microSD para el almacenamiento de fotos, música, video, e incluso la instalación de aplicaciones. [8]

- Nueva interfaz: La interfaz que trae Windows Phone 8 se asemeja ahora más la versión de escritorio. La pantalla de inicio tiene ahora tres tamaño de “tiles” o cuadrículas, incluyendo una más pequeña que se asemeja más a un ícono, lo que permitirá concentrar más información en la pantalla de inicio.
- Nokia Maps: Como hemos comentado anteriormente, la alianza entre Microsoft y Nokia ha producido que Windows Phone 8 incorpore Nokia Maps como aplicación por defecto en el sistema operativo para la gestión de mapas. Nokia Maps supondrá un cambio radical con respecto a su antiguo predecesor Bing Maps. Además de poseer una cobertura de nivel mundial, supondrá una experiencia superior en todo y dispondremos de mapas offline.
- Los primeros fabricantes en disponer de teléfonos con Windows Phone 8 serán Nokia, Huawei, Samsung y HTC. Desde nuestro punto de vista, parece ser que Windows Phone 8 será una de las plataformas móviles más competitivas pero siempre irá por detrás tanto de Apple como de Android. [6]

1.10.4 XCODE

Es una serie de herramientas de desarrollo en Mac OS X. Este es desarrollado por Apple e incluye las herramientas necesarias para programar en el ambiente de Mac OS o iOS (iPhone, iPod, iPad). Algunos lenguajes de programación disponibles en XCode son C, C++, Objective-C, Objective-C++, Java, Apple Script, Python y Ruby. [8]

XCode nació dentro de la desaparecida compañía de tecnología, NEXT que fundó Jobs, luego de que Apple decidiera despedirlo como CEO en los 80. Muchas de las tecnologías desarrolladas en NEXT terminaron nuevamente en Apple cuando Steve Jobs retomó la posición de CEO en los 90.

XCode es el poderoso IDE o entorno de desarrollo integrado de la empresa Apple Inc.; para el desarrollo de aplicaciones tanto para computadoras Mac como para dispositivos iOS.

XCode incluye la herramienta de análisis de aplicaciones Instruments, el simulador iOS y los SDK tanto de iOS como de Mac OS X. Se puede ejecutar XCode en los sistemas operativos OS X Mountain Lion y OS X Lion.

La interface de XCode integra: edición de código, pruebas, depuraciones y la siguiente herramienta que se presentara para diseño de interfaces: Interface Builder, en una sola ventana. El compilador LLVM (Low Level Virtual Machine) que integra, subraya los errores de código, tanto de sintaxis como de lógica, a medida que se escribe; e incluso, es capaz de arreglar algunos problemas automáticamente. Este compilador soporta C, Objective-C, C++, entre otros lenguajes. Es una gran ventaja debido a que integra características de coloreado de sintaxis y auto completado de código. [6]

Otra de las ventajas que presenta XCode es el asistente que permite visualizar documentos relacionados en una sola ventana. Por lo tanto, se puede visualizar la cabecera correspondiente al archivo de implementación que se encuentre editando; así como se puede visualizar la clase controladora de la interface de usuario que se encuentre diseñando, facilitando el proceso de construcción de interfaces.

En Resumen, el XCode presenta muchas Características que facilitan el trabajo del desarrollador. Entre ellas se destacan las siguientes:

- XCode es el IDE que nos ofrece Apple para desarrollar aplicaciones de iOS.
- El SDK (Software Desarrollador Kit) incorpora herramientas para el desarrollo (entre ellas, el simulador de iPhone/iPad).
- El lenguaje de programación es Objective-C.
- Simulador de iOS, permite simular tanto iPhone como iPad en nuestro Mac.
- Interface Builder, editor visual para diseñar interfaces de usuario para nuestras aplicaciones.
- Instruments, herramienta de análisis que nos ayuda a optimizar y monitorizar la aplicación.

1.10.5 DESARROLLADORES PARA DIFERENTES TIPOS DE DISPOSITIVOS MÓVILES.

En la actualidad hay una extensa variedad al momento de crear aplicaciones para dispositivos móviles y todo depende de la calidad la resolución de los gráficos y el manejo del software al desarrollar la aplicación deseada. Muchas veces como desarrolladores se comienza a trabajar basándose en una sola plataforma, ya sea móvil o no. Una vez ahí si se podría especializar y lograr grandes cosas. [6]

Si se desarrolla una aplicación o un juego y se desea obtener ganancias vender la aplicación para un solo equipo o sistema operativo limitara mucho determinado software. Si lo que se desea es distribuir la aplicación en varios entornos y sin complicarse demasiado sin duda hay una serie de software para la creación en diferentes sistemas operativos como lo demuestra la tabla.

Tabla 1.4.

Tabla comparativa de softwares utilizados para la creación de aplicaciones en diferentes dispositivos móviles.

Nº	XMT	Android	BlackBerry	iOS	Symbian	WP7
1	Flash constructor	O	X	O	O	O
2	Creador de software de iluminación	O	X	O	X	X
3	Código vivo	O	X	O	X	X
4	Marmalade	O	O	O	O	X
5	MoSync	O	O	O	O	X
6	OpenPlug Studio	O	O	O	O	O
7	PhoneGap	O	O	O	O	O
8	RhoStudio	O	O	O	O	O
9	Titanium	O	X	O	X	X

Fuente: [11]

Los software presentes en la tabla nos permite crear aplicaciones y juegos para iOS, Android, BlackBerry, Symbian entre otras y además portarlo de una a otra sin problemas. El acceso al procesador y a la tarjeta gráfica permite obtener una aplicación que aproveche al máximo el rendimiento del equipo.

CAPÍTULO II

DISEÑO DE SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA

2.1 ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE CÁLCULO DE LA NORMA IEEE 80-2000

En la tabla 2.1 los parámetros t_f , S_f , D_F , h , V_{AV} , K_F , L_V , K_{ii} y K_i son las únicas constantes para el diseño de todas las mallas del proyecto, el resto de parámetros deben ser calculados de acuerdo a los datos que se va a presentar más adelante.

Tabla 2.1.

Constantes y variables para el diseño mediante la norma IEEE 80-2000.

DATOS DE CAMPO				
Nº	SÍMBOLO	DEFINICIÓN	VALOR	UNIDAD
1	t_f	Tiempo de duración de la falla.	Dato	Segundos
2	S_f	Factor de división de corriente de defecto, representa el % de corriente que disipara la malla a tierra, el resto retornará al sistema hasta lograr despejar la falla.	Dato	
3	h_S	Espesor de la capa superficial.	Dato	Metros
4	h	Profundidad a la que se enterrará la malla.	Dato	Metros
5	A	Área de la malla \leq espacio disponible.	Calcular	m^2
6	ρ	Resistividad del suelo	Dato	Ωm
7	ρ_S	Resistividad del material de la capa superficial si esta existiera.	Dato	Ωm
8	Z_T	Impedancia porcentual del transformador.	Dato	Ω
9	Z	Impedancia del sistema.	Dato	Ω
10	V_{AV}	Voltaje en el primario del transformador.	Dato	V

11	V_{BV}	Voltaje en el secundario del transformador.	Dato	V
12	$I_{C.C.S.3\phi}$	Corriente de corto circuito trifásica simétrica (en el secundario donde se analiza la falla).	Calcular	A
13	$I_{C.C.AS.3\phi}$	Corriente de corto circuito trifásica asimétrica (máxima en el secundario)	Calcular	A
14	I_{ϕ}	Corriente monofásica a tierra (en el primario, es igual a la corriente de falla simétrica en el primario)	Calcular	A
15	K_F	Constante para diferentes materiales a diferentes temperaturas de fusión (T_M) a una temperatura ambiente de 40°C	7,06	
16	A_{KCM}	Área del conductor calculada.	Calcular	KCM
17	A_{mm^2}	Área del conductor calculada.	Calcular	mm^2
18	A_C	Área del conductor seleccionada.	Seleccionar	mm^2
19	d	Diámetro del conductor.	Calcular	metros
20	C_S	Coefficiente en función del terreno y la capa superficial.	Calcular	
21	V_{P70}	Voltaje de paso para una persona de 70 Kg.	Calcular	V
22	V_{T70}	Voltaje de toque para una persona de 70 Kg.	Calcular	V
23	L_C	Longitud total de todos los conductores horizontales de la malla.	Calcular	metros
24	L_T	Longitud total de todos los conductores que conforman la malla.	Calcular	metros
25	n_{cy}	Número de conductores verticales a lo ancho de la malla.	Calcular	metros
26	n_{cx}	Números de conductores horizontales a lo largo de la malla.	Calcular	metros
27	L_x	Longitud máxima horizontal a lo largo de la malla.	Calcular	metros

28	L_y	Longitud máxima vertical a lo ancho de la malla.	Calcular	metros
29	D	Espaciamiento entre los conductores horizontales de la malla (entre 3 y 7 m.).	Proponer	metros
30	N_V	Número de electrodos tipo varilla vertical.	Obtener	metros
31	L_V	Longitud de una sola varilla vertical.	Seleccionar	metros
32	R_g	Resistencia calculada de la malla.	CONTINÚA →	
33	I_G	Corriente máxima de malla.	Obtener	A
34	GPR	Aumento de potencial de tierra.	Obtener	V
35	K_h	Factor de corrección por la profundidad de enterramiento de la malla.	Obtener	
36	n	Factor geométrico de malla.	Obtener	
37	n_a	Factor geométrico de malla.	Obtener	
38	n_b	Factor geométrico de malla.	Obtener	
39	n_c	Factor geométrico de malla.	Obtener	
40	L_r	Longitud de la varilla	Seleccionar	metros
41	K_{ii}	Factor de corrección por efectos en las esquinas de la malla (por ubicación de los electrodos).	Obtener	
42	K_i	Factor de corrección por geometría de malla.	Obtener	
43	K_m	Factor de espaciamento para voltaje de malla.	Obtener	
44	V_m	Voltaje de malla.	Obtener	V
45	K_S	Factor de espaciamento para voltaje de paso.	Obtener	
46	L_S	Longitud efectiva de $L_C + L_R$ por voltaje de paso.	Obtener	metros
47	L_P	Longitud del perímetro de la malla.	Obtener	metros
48	h_0	Profundidad de referencia (se asume un valor de 1 m).	Proponer	metros

49	V_S	Voltaje piso o voltaje de paso en caso de falla.	Obtener	V
50	D_F	Factor de asimetría.	Obtener	

2.2 DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL DISEÑO DE MALLAS MEDIANTE LA NORMA IEEE 80-2000.

En la figura 2.1 se presenta el diagrama de flujo, para diseño de mallas de puestas a tierra mediante la norma internacional IEEE 80-2000, mediante una serie de pasos para un correcto diseño, tomando en cuenta tablas, gráficos y ecuaciones que se va a presentar más adelante en los pasos a ejecutar para el diseño de mallas de puesta a tierra.

El diagrama de flujo cuenta con un inicio y un final, además cuenta con parámetros de decisiones las cuales vamos a describir. Primero, el diagrama inicia con la presentación del proyecto o diseño a realizar, lo cual puede ser una introducción o la presentación del diseño a realizar.

El diagrama de flujo cuenta con un parámetro de ingreso de datos de campo el cual son datos ingresados por la persona que va a utilizar el diseño, continuamente con los primeros resultados obtenidos por los cálculos del diseño la persona tiene que determinar el calibre del conductor a ser empleado en el cálculo para los siguientes resultados que se va a obtener.

En el paso siguiente, el diseño inicial la persona deberá seleccionar el tipo de malla, si va a utilizar varillas para puesta a tierra o no, también debe seleccionar el diámetro de la malla dependiendo del uso o en donde se la vaya a implementar si fuera el caso o si es para fines didácticos. Ya seleccionado los parámetros si los resultados hasta este paso son los adecuados podemos dar por finalizado el diseño, caso contrario con los siguientes resultados con la utilización de varillas o la utilización de otro tipo de conductor, se comprueba si las condiciones cumplen o no, caso contrario se modificaría los parámetros de la selección del tipo de malla con el cual se aumentaría varillas o el diámetro de la malla debería ser aumentada.

Obtenidos los resultados y cumpliendo las condiciones se da por finalizado el diseño y los resultados obtenidos se los puede emplear tanto para la construcción de un sistema de puestas a tierra para una subestación, además los resultados obtenidos se los puede utilizar para fines didácticos y se puede seguir modificando el diseño hasta obtener mejores

resultados o implementando el número de varillas para reducir costos en la construcción pero tomando en cuenta que los resultados pueden variar si no son los ideales o los correctos ya que no en todos los terrenos tienen las mismas condiciones o propiedades de resistividad.

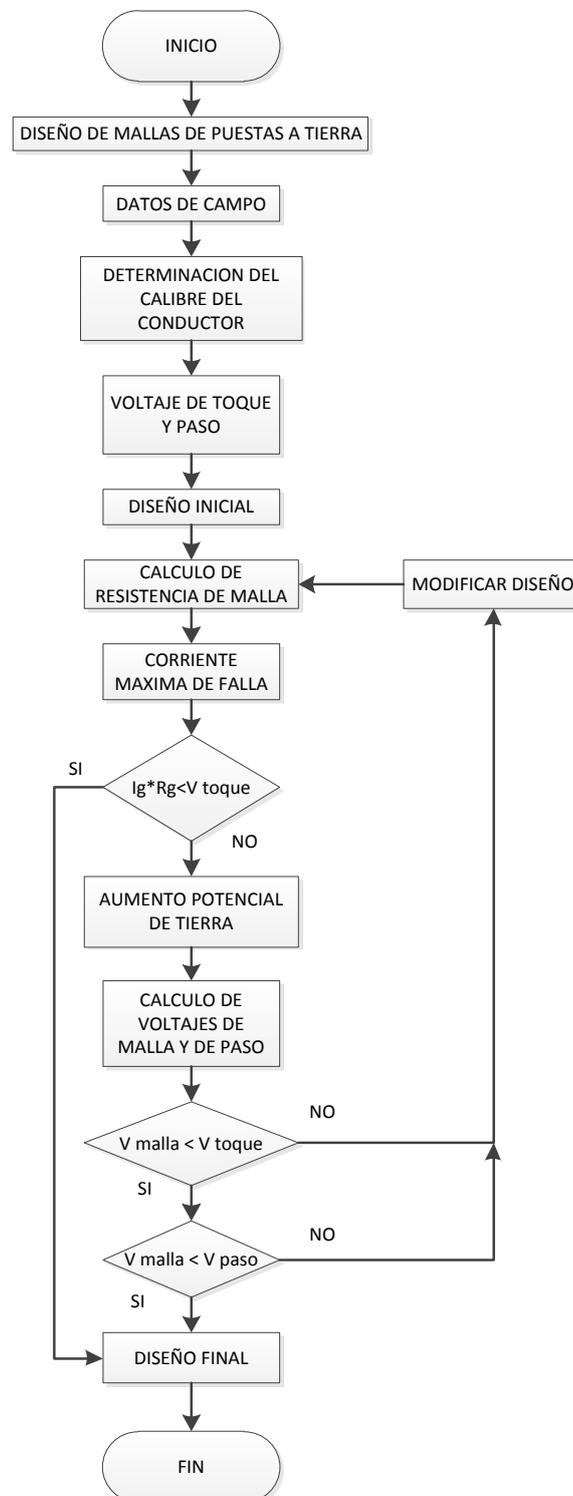


Figura 2.1. Diagrama de flujo para el diseño de mallas de puestas a tierra.

2.3 PASOS A EJECUTAR PARA EL DISEÑO

2.3.1 DATOS DE CAMPO

Para la realización del diseño debemos tener datos iniciales, los cuales son indispensables ya que estos pueden ser datos de placa del transformador en los cuales nos da la impedancia; datos de la profundidad que se va a enterrar la varilla, el área que se va a disponer, la resistividad de la tierra ya que son valores que son calculados por diferentes métodos para la resistividad del suelo.

Ejemplo:

Tabla 2.2.

Valores para datos de campo para el diseño de mallas

Nº	DATO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
1	Duración de la falla	t_f	0.5	segundos
2	Impedancia del sistema en el lado de alto voltaje	Z_1	$4 + j10$	Ω
3	Impedancia del sistema en el lado de alto voltaje	Z_0	$10 + j40$	Ω
4	Factor de división de corriente	S_f	0.6	_____
5	Voltaje en el primario del transformador	V_{AV}	115	KV
6	Voltaje en el secundario del transformador	V_{BV}	13	KV
7	Resistividad del suelo	ρ	400	$\Omega \cdot m$
8	Resistividad del material de la capa superficial	ρ_s	2500	$\Omega \cdot m$
9	Espesor de la capa superficial	h_s	0.102	metros
10	Profundidad enterrada la malla	h	0.5	metros

11	Impedancia porcentual del transformador	Z_T	$0.034 + j1.014$	Ω
----	---	-------	------------------	----------

2.3.2 DETERMINACIÓN DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR

Determinar el tamaño del conductor para la malla. 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 t_c debe reflejar el tiempo de despeje máximo posible (incluyendo el respaldo). AMCM, t_c , d , $3I_0$. [4]

2.3.2.1 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO ASIMÉTRICA TRIFÁSICA

La corriente de corto circuito asimétrica trifásica es la mayor corriente de cortocircuito a disipar, su valor sirve para dimensiona el calibre del conductor mediante la ecuación:

$$3I_0 = \frac{(3 \cdot V_{AV})}{Z_{eq}} \quad [\text{A}] \quad \text{EC. 20}$$

$$Z_1 = \left(\frac{V_{BV}}{V_{AV}} \right)^2 \cdot Z_1 + Z_T [\Omega] \quad \text{EC. 21}$$

$$3I_0 = \frac{(3 \cdot V_{BV})}{Z_{eqBV}} \quad [\text{A}] \quad \text{EC. 22}$$

2.3.2.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE CONDUCTOR

Mediante el cálculo del área para el calibre del conductor seleccionamos el diámetro del conductor mediante la tabla 2.3 y la tabla 2.4 para el diámetro del conductor.

$$A_{kcmil} = I \cdot K_f \cdot \sqrt{t_f} \quad \text{EC. 23}$$

$$A_C = \frac{\pi \cdot d^2}{4} [\text{mm}^2] \quad \text{EC. 24}$$

Tabla 2.3.

Tipos de materiales de cable.

N°	Material	Conductividad (%)	T_m^a (°C)	K_f
1	Cobre, blando	100	1083	7.00
2	Cobre duro cuando se utiliza soldadura exotérmica	97	1084	7.06
3	Cobre duro cuando se utiliza conexiones mecánicas a presión	97	250	11.78
4	Alambre de acero recubierto de cobre	40	1084	10.45
5	Alambre de acero recubierto de cobre	30	1084	12.06
6	Varilla de acero recubierta de cobre	20	1084	14.64
7	Aluminio calidad EC	61	657	12.12
8	Aleación de aluminio 5005	53.5	652	12.41
9	Aleación de aluminio 6201	52.5	654	12.47
10	Alambre de aluminio revestido en acero	20.3	657	17.20
11	Acero 1020	10.8	1510	15.95
12	Varilla de acero galvanizado	9.8	1400	14.72
13	Varilla de acero con baño de zinc	8.6	419	28.96
14	Acero inoxidable 304	2.4	1400	30.05

Fuente: [3]

Tabla 2.4.

Tipos de calibre de conductor de cobre desnudo.

N°	CALIBRE AWG ó MCM	SECCIÓ N mm ²	DIÁMETRO EXTERIOR MM.	PESO TOTAL Kg/Km	SEMIDURO Tensión de Ruptura Kg.	CAPACIDA D DE CORRIENTE AMP.
1	10	5,26	2,94	47,76	175,00	68
2	8	8,37	3,69	75,90	276,00	95
3	6	13,30	4,65	121,00	432,00	129

4	4	21,15	5,88	192,00	682,00	170
5	2	33,62	7,41	305,00	1069,00	230
6	1	42,36	8,34	385,00	1330,00	275
7	1/0	53,49	9,36	485,00	1681,00	310
8	2/0	67,43	10,50	611,00	2103,00	360
9	1/0	53,49	9,45	481,00	1722,00	319
10	2/0	67,43	10,60	610,00	2149,00	371
11	3/0	85,01	11,95	711,00	2715,00	427
12	4/0	107,20	13,40	972,00	3395,00	500
13	250	127,00	14,63	1150,00	4067,00	540
14	300	152,00	16,03	1380,00	4883,00	605
15	350	177,00	17,29	1610,00	5648,00	670
16	400	203,00	18,48	1840,00	6416,00	730
17	500	253,00	20,65	2300,00	7944,00	840

Fuente: [12]

Nota: La norma internacional IEEE 80-2000 sugiere que como mínimo el calibre del conductor para puestas a tierra sea 2/0 AWG para subestaciones.

2.3.3 CRITERIO DE TOQUE Y PASO, VOLTAJE DE PASO Y TOQUE

Determinar los voltajes tolerables de toque y de paso para personas con un peso corporal de 70 Kg. La selección de tiempo t_s está basada principalmente en el criterio del ingeniero diseñador, tomando en cuentas varios parámetros y mediante las siguientes ecuaciones y gráficos. [5]

$$K = \frac{\rho - \rho_S}{\rho + \rho_S} \quad \text{EC. 25}$$

Mediante la figura 2.2 se puede calcular aproximadamente C_S o mediante la siguiente ecuación para mayor exactitud.

$$C_S = 1 - \frac{0.09 \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_S}\right)}{(2 \cdot h_S) + 0.09} \quad \text{EC. 26}$$

Voltaje de paso y de contacto para una persona de 70 Kg con capa superficial.

$$V_{P70} = \frac{(1000 + 6 \cdot C_S \cdot \rho_S) \cdot 0.157}{\sqrt{t_f}} [V] \quad \text{EC. 27}$$

$$V_{T70} = \frac{(1000 + 1.5 \cdot C_S \cdot \rho_S) \cdot 0.157}{\sqrt{t_f}} [V] \quad \text{EC. 28}$$

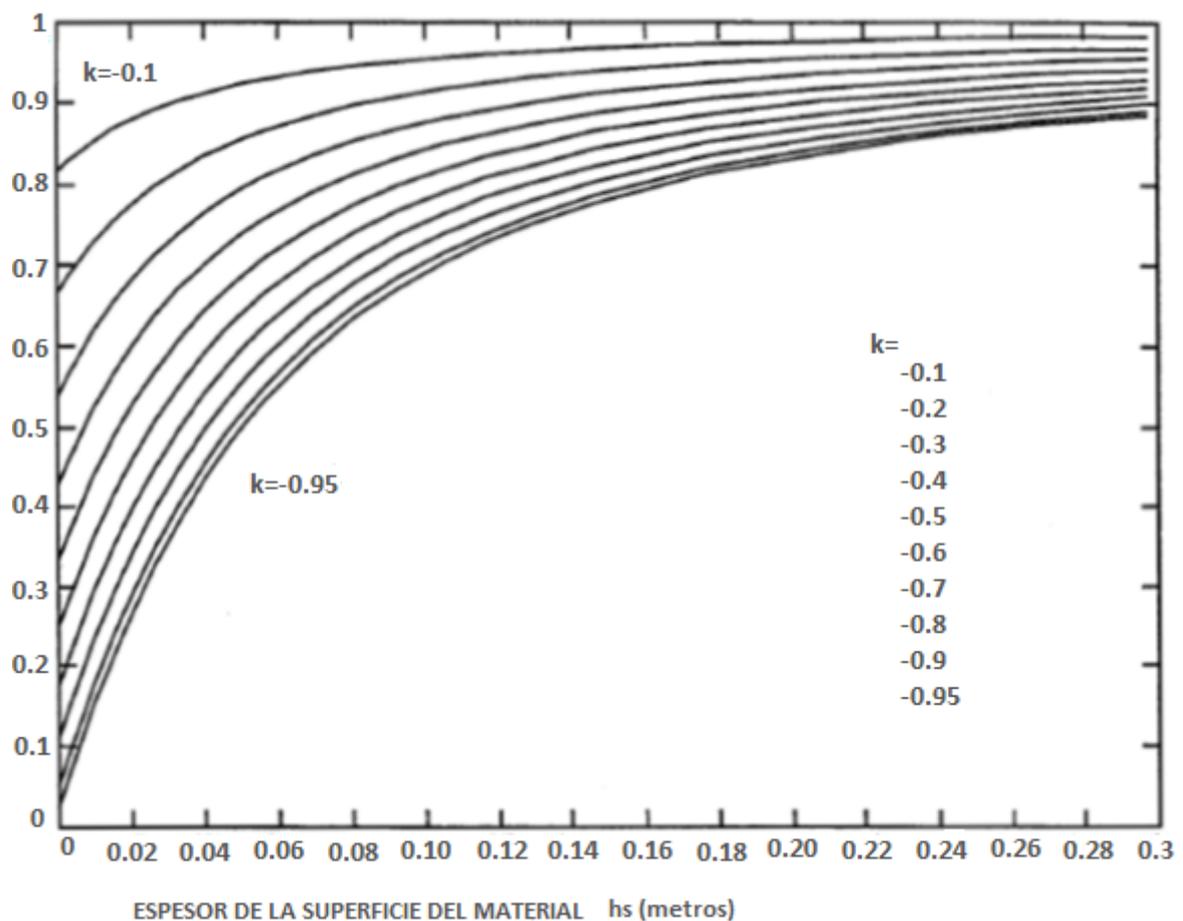


Figura 2.2. C_S Versus h_S .

Fuente: [3]

2.3.4 DISEÑO INICIAL

El diseño inicial o preliminar, debe principalmente 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 estimados iniciales de espaciamiento entre conductores y la localización de las varillas deben estar basados en la corriente I_g y el área que está siendo llevada a tierra. [4]

$$\text{Calcular el área: } A = (L * L)[m^2] \quad \text{EC. 29}$$

$$L_C = (n_{Cx} \cdot L_x) + (n_{Cy} \cdot L_y) [m] \quad \text{EC. 30}$$

$$L_R = \#varillas \cdot altura \text{ de la varilla} \quad \text{EC. 31}$$

$$L_T = L_C + L_R [m] \quad \text{EC. 32}$$

2.3.5 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE MALLA

Se calcula la resistencia de la malla en suelo uniforme, para el diseño final deben realizar cálculos más exactos, considerando las varillas de tierra, la humedad y el área donde se va a utilizar ya que en algunos casos deben modificar el área por tierra con irregularidades, ya que la resistencia que va a calcular es la esperada para una área uniforme, para el cálculo se va a tomar la siguiente ecuación.

$$R_g = \rho \cdot \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1+h \cdot \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] [\Omega] \quad \text{EC. 33}$$

2.3.6 CORRIENTE MÁXIMA DE FALLA I_G

Se determina la I_g a disipar por la malla, para evitar un sobredimensionamiento de la malla, considerando solo esa porción de la corriente total de falla $3I_0$ que fluye a través de la malla hacia una tierra remota. La corriente I_g debe reflejar el peor tipo de falla y localización, el factor de decremento y cualquier expansión futura de la subestación y vivienda si fuera este el caso. [13]

$$I_G = D_f \cdot S_f \cdot 3 \cdot I_0 \quad [A] \quad \text{EC. 34}$$

Tabla 2.5.

Valores típicos de D_F .

N°	Duración de la falla, t_f		Factor de decremento, D_F			
	Segundos	Ciclos a 60 Hz	X/R=10	X/R=20	X/R=30	X/R=40
1	0.00833	0,5	1.576	1.648	1.675	1.688
2	0.05	3	1.232	1.378	1.462	1.515
3	0.10	6	1.125	1.232	1.316	1.378
4	0.20	12	1.064	1.125	1.181	1.232
5	0.30	18	1.043	1.085	1.125	1.163
6	0.40	24	1.033	1.064	1.095	1.125
7	0.50	30	1.026	1.052	1.077	1.101
8	0.75	45	1.018	1.035	1.052	1.068
9	1.00	60	1.013	1.026	1.039	1.052

Fuente: [3]

2.3.7 AUMENTO DE POTENCIAL DE TIERRA

Si el GPR (elevación del gradiente de potencial de tierra) del diseño inicial es menor que el voltaje tolerable de toque, no es necesario realizar más cálculos. Solo se requerirá un conductor adicional para proporcionar acceso a las bajantes de los equipos.

$$GPR = I_G \cdot R_g [V] \quad \text{EC. 35}$$

2.3.8 CALCULO DE VOLTAJE DE MALLA

Si no se cumple la condición anterior, se calcula el voltaje de malla y el voltaje de paso para la malla con suelo uniforme.

En las siguientes ecuaciones para determinar n es para el tipo de malla cuadrada (37), rectangular (38), en L (39) y para una malla diferente de las anteriores (40).

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d \quad \text{EC. 36}$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_C}{L_P} \quad \text{EC. 37}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_P}{4 \cdot \sqrt{A}}} \quad \text{EC. 38}$$

$$n_c = \left[\frac{L_x \cdot L_y}{A} \right]^{\frac{0.7 \cdot A}{L_x \cdot L_y}} \quad \text{EC. 39}$$

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \quad \text{EC. 40}$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot n)^{\bar{n}}} \quad \text{EC. 41}$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad \text{EC. 42}$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n \quad \text{EC. 43}$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \cdot \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2+h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi((2 \cdot n) - 1)} \right] \right] \quad \text{EC. 44}$$

Ecuación sin varillas.

$$V_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_C + L_R} [V] \quad \text{EC. 45}$$

Ecuación con varillas.

$$V_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_C + \left[1.55 + 1.22 \cdot \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] \cdot L_R} [V] \quad \text{EC. 46}$$

$$K_S = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] [V] \quad \text{EC. 47}$$

$$L_S = 0.75 \cdot L_C + 0.85 \cdot L_R [m] \quad \text{EC. 48}$$

$$V_S = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_S \cdot K_i}{L_S} [m] \quad \text{EC. 49}$$

2.3.9 VOLTAJE DE MALLA VS VOLTAJE DE TOQUE

Si el voltaje de malla es menor que el voltaje de toque el paso 9 está bien hecho pasaremos al siguiente paso de lo contrario tendremos que realizar un rediseño para corregir algún parámetro como tipo de conductor o el número de varillas a utilizar.

$$V_m < V_{Toque} \quad \text{EC. 50}$$

2.3.10 VOLTAJE DE PISO VS VOLTAJE DE PASO

Si el voltaje de piso es menor que el voltaje de paso el diseño, pero debe cumplir también el paso de voltaje de malla vs el voltaje de paso para que el diseño este bien hecho.

$$V_S < V_P \quad \text{EC.51}$$

2.3.11 REDISEÑO

Si los valores obtenidos tanto de los voltajes tolerables de toque y de paso, no cumplen para el diseño, es necesario hacer un rediseño ya que este podría ser tanto de varillas, el tipo de conductor, el espaciamiento de las varillas y las mallas, etc.

2.3.12 RESULTADO FINAL

Después de obtener los resultados requeridos de voltajes de paso y de toque, se pueden requerir varillas y mallas adicionales depende del diseño o la ubicación en donde se vaya a implementar. Los conductores adicionales de malla se requieren si su diseño no incluye conductores cerca de los equipos. El diseño final también será revisado para eliminar peligros transferidos tanto por error humano como por descargas atmosféricas.

El diagrama general de diseño de un sistema de puesta a tierra presentado por la norma internacional IEEE 80-2000, considera para todos los cálculos un modelo de suelo uniforme aunque, también se indica que las variaciones de la resistividad del suelo tienen una considerable influencia en el desempeño de la mayoría de los sistemas de puesta a tierra, afectando a los valores de resistencia del sistema de puesta a tierra y el GPR, los voltajes de paso y de toque; igualmente, el espesor de la capa de un modelo de suelo de dos capas afecta el desempeño de los electrodos de tierra. [5]

2.4 CASOS

2.4.1 CASO A – MALLA CUADRADA SIN VARILLA

PASO 1.

Aunque la red de puesta a tierra de la subestación se ubicará dentro de un rectángulo de $63 \text{ m} \times 84 \text{ m}$ (5.292 m^2), para la evaluación inicial del diseño, puede ser conveniente suponer una cuadrícula de $70 \times 70 \text{ m}$ cuadrados sin varillas de tierra. En consecuencia, el área ocupada por una rejilla de este tipo es $A = 4.900 \text{ m}^2$. Se supone una resistividad media del suelo de $400 \Omega \cdot \text{m}$, sobre la base de mediciones de resistividad del suelo.

Datos:

Nº	DATO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
1	Duración de la falla	t_f	0.5	segundos
2	Impedancia del sistema en el lado de alto voltaje	Z_1	$4 + j10$	Ω
3	Impedancia del sistema en el lado de alto voltaje	Z_0	$10 + j40$	Ω
4	Factor de división de corriente	S_f	0.6	_____
5	Voltaje en el primario del transformador	V_{AV}	115	KV
6	Voltaje en el secundario del transformador	V_{BV}	13	KV
7	Resistividad del suelo	ρ	400	$\Omega \cdot \text{m}$
8	Resistividad del material de la capa superficial	ρ_S	2500	$\Omega \cdot \text{m}$
9	Espesor de la capa superficial	h_S	0.102	metros
10	Profundidad enterrada la malla	h	0.5	metros
11	Impedancia porcentual del transformador	Z_T	$0.034 + j1.014$	Ω

PASO 2.

Para el voltaje de 115KV.se va a utilizar la ecuación 20.

$$3I_0 = \frac{(3 \cdot V_{AV})}{Z_{eq}}$$

$$3I_0 = \frac{3 \cdot \left(\frac{115000}{\sqrt{3}}\right)}{(4 + 4 + 10) + (10 + 10 + 40)j}$$

$$3I_0 = 3180 \text{ A}; \quad X/R = 60/18 = 3.33$$

Para el Voltaje de 13KV.se va a utilizar la ecuación 21 para obtener la impedancia del sistema con el transformador y la ecuación 22 para la corriente de cortocircuito.

$$Z_1 = \left(\frac{V_{BV}}{V_{AV}}\right)^2 \cdot Z_1 + Z_T$$

$$Z_1 = \left(\frac{13000}{115000}\right)^2 \cdot (4 + 10j) + (0.034 + j1.014)$$

$$Z_1 = 0.085 + j1.142$$

$$3I_0 = \frac{(3 \cdot V_{BV})}{Z_{eq}}$$

$$3I_0 = \frac{3 \cdot \left(\frac{13000}{\sqrt{3}}\right)}{(0.085 + 0.085 + 0.034) + (1.014 + 1.142 + 1.142)j}$$

$$3I_0 = 6814 \text{ A}; \quad X/R = 3.298/0.204 = 16.2$$

Usando la tabla 2.4 para los valores de $t_s = 0.5s$, el factor de decremento es $D_f = 1.052$, la corriente asimétrica rms de falla es $3I_0 = 6814 \text{ A}$.

Asumiendo el uso del cable de cobre de la tabla 2.4, usando a una temperatura ambiente del 40° con una conductividad del 97% el valor de $K_f = 7.06$.

Para la selección del tipo de conductor vamos a utilizar la ecuación 23 para obtener los valores del área del conductor.

$$A_{kcmil} = I \cdot K_f \cdot \sqrt{t_f}$$

$$A_{kcmil} = 6814 \cdot 7.06 \cdot \sqrt{0.5}$$

$$A_{kcmil} = 34.02kcmil$$

$$1 \text{ kmil} = 0.507mm^2$$

$$A_C = 34.02 * 0.507$$

$$A_C = 17.25 \text{ mm}^2$$

Con el área del conductor se calcula el diámetro del conductor mediante la ecuación 24.

$$A_C = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A_C}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 17.25}{\pi}}$$

$$d = 4.69 \text{ mm}$$

Con el valor del diámetro del conductor seleccionamos el calibre del conductor mediante la tabla 8, con lo cual nos da que el calibre del conductor a utilizar es el número 4, la norma IEEE 80-2000 sugiere que para instalación de mallas para subestaciones sea el 2/0 AWG como mínimo.

PASO 3.

Mediante la figura 2.2 se puede calcular aproximadamente C_S , calculando K con la siguiente ecuación 25 o mediante la siguiente ecuación 26 para mayor exactitud de C_S .

$$K = \frac{\rho - \rho_S}{\rho + \rho_S}$$

$$K = \frac{400 - 2500}{400 + 2500}$$

$$K = -0.72$$

$$C_S = 1 - \frac{0.09 \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_S}\right)}{(2 \cdot h_S) + 0.09}$$

$$C_S = 1 - \frac{0.09 \cdot \left(1 - \frac{400}{2500}\right)}{2 \cdot (0.102) + 0.09}$$

$$C_S = 0.74$$

Voltaje de paso y de contacto para una persona de 70 Kg con capa superficial utilizando las ecuaciones 27 y 28.

$$V_{P70} = \frac{(1000 + 6 \cdot C_S \cdot \rho_S) \cdot 0.157}{\sqrt{t_f}}$$

$$V_{P70} = \frac{(1000 + 6 \cdot 0.74 \cdot 2500) \cdot 0.157}{\sqrt{0.5}}$$

$$V_{P70} = 2686.58V$$

$$V_{T70} = \frac{(1000 + 1.5 \cdot C_S \cdot \rho_S) \cdot 0.157}{\sqrt{t_f}}$$

$$V_{T70} = \frac{(1000 + 1.5 \cdot 0.74 \cdot 2500) \cdot 0.157}{\sqrt{0.5}}$$

$$V_{T70} = 838.2V$$

PASO 4.

Asumiendo el área de la malla de 70 m x 70 m como se muestra en la siguiente figura 2.3 con un espacio D=7.

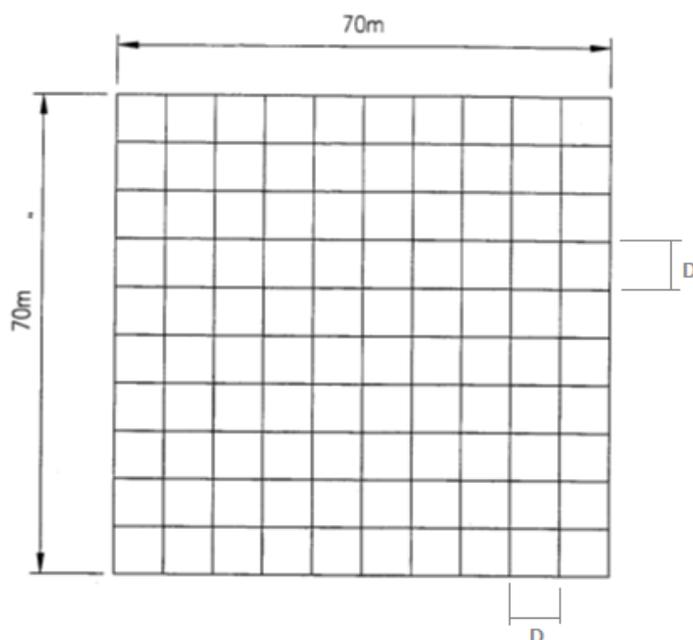


Figura 2.3. Malla cuadrada sin varillas para el caso A.

Para el cálculo del área ocupamos la ecuación 29 y la ecuación 30 para el cálculo de la longitud del conductor.

$$A = 70m \cdot 70m$$

$$A = 4900m^2$$

$$L_C = (n_{Cx} \cdot L_x) + (n_{Cy} \cdot L_y)$$

$$L_C = (11 \cdot 70) + (11 \cdot 70)$$

$$L_C = 1540 m$$

$$L_T = L_C$$

PASO 5.

Para la determinación de la resistencia de malla utilizamos la ecuación 33.

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

$$R_g = 400 \cdot \left[\frac{1}{1540} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 4900}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + 0.5 \cdot \sqrt{\frac{20}{4900}}} \right) \right]$$

$$R_g = 2.78 \Omega$$

PASO 6.

Para el cálculo de la corriente de malla utilizamos la ecuación 34.

$$I_G = D_f \cdot S_f \cdot 3 \cdot I_0$$

$$I_G = (1.052) \cdot (0.6) \cdot (3180)$$

$$I_G = 2007.2 A$$

PASO 7.

Para el aumento de potencial utilizamos la ecuación 35.

$$GPR = I_G \cdot R_g$$

$$GPR = 2007.2 \cdot 2.78$$

$$GPR = 5580 V$$

PASO 8.

Para el cálculo de voltaje de malla utilizamos la ecuación 36, 37, 41, 42

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_C}{L_P}$$

$$n_a = \frac{2 \cdot 1540}{(70 + 70 + 70 + 70)}$$

$$n_a = 11$$

$$n = 11 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1$$

$$n = 11$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot n)^{\frac{2}{n}}}$$

$$K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot 11)^{\frac{2}{11}}}$$

$$K_{ii} = 0.57$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{0.5}{1}}$$

$$K_h = 1.225$$

Diámetro del conductor de 2/0

$$d = 10.50 \text{ mm}$$

$$d = 0.0105 \text{ m}$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \cdot \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D + 2 + h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi((2 \cdot n) - 1)} \right] \right]$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \cdot \left[\frac{7^2}{16 \cdot 0.5 \cdot 0.0105} + \frac{(7 + 2 + 0.5)^2}{8 \cdot 7 \cdot 0.0105} - \frac{0.5}{4 \cdot 0.0105} \right] + \frac{0.57}{1.225} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi((2 \cdot 11) - 1)} \right] \right]$$

$$K_m = 0.89$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot 11$$

$$K_i = 2.272$$

$$V_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_C + L_R}$$

$$V_m = \frac{400 \cdot 2007.2 \cdot 0.89 \cdot 2.272}{1540}$$

$$V_m = 1054.21 V$$

PASO 9.

Mediante la ecuación 50 verificamos si cumple la condición del diseño.

$$V_m < V_{Toque}$$

$$1054.21 V < 838.2 V$$

Tomando en cuenta el resultado del paso 9, que no cumple con la condición, no se realiza los pasos siguientes y el diseño no cumple con lo cual hay que rediseñar o culminar el diseño si fuera el caso.

2.4.2 CASO B – MALLA CUADRADA CON VARILLA

En el caso anterior, A, Paso 10 del procedimiento de diseño no se ha alcanzado debido al fallo para satisfacer el criterio de Paso 9. En general, hay dos enfoques para la modificación del diseño de la rejilla para cumplir con los requisitos de tensión de contacto tolerable:

- a) Reducir el GPR a un valor por debajo de la tensión de contacto tolerable o en un valor lo suficientemente bajo como para dar lugar a un valor de V_m por debajo de la tensión de contacto tolerable.
- b) Reducir la corriente de falla a tierra disponible.

Por lo general, la reducción de la corriente de fallo de tierra disponible es difícil o poco práctico para lograr, por lo que la rejilla se modifica mediante el cambio de cualquiera o todos de los siguientes: espaciado de la rejilla conductor, la longitud total del conductor, la profundidad de la rejilla, la adición de varillas de tierra, etc. En este ejemplo, el diseño preliminar se modifica para incluir 20 varillas de tierra, cada una de 7,5 m (24,6 pies) de largo, alrededor del perímetro de la red, como se muestra en la Figura 2.4.

PASO 4.

Asumiendo el área de la malla de 70 m x 70 m como se muestra en la siguiente figura 2.4 con un espacio $D=7$.

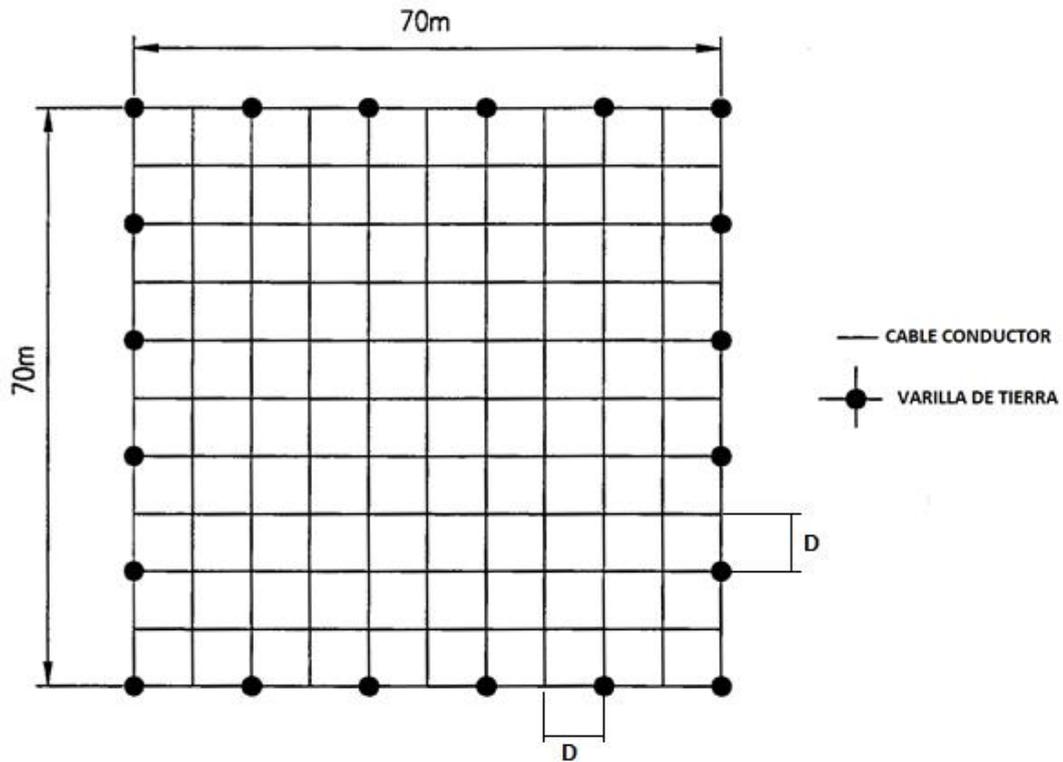


Figura 2.4. Malla cuadrada con varilla para el caso B.

$$A = 70m * 70m$$

$$A = 4900m^2$$

$$L_C = (n_{Cx} \cdot L_x) + (n_{Cy} \cdot L_y)$$

$$L_C = (11 \cdot 70) + (11 \cdot 70)$$

$$L_C = 1540m$$

$$L_T = L_C + L_R$$

$$L_T = 1540 + (20 \cdot 7.5)$$

$$L_T = 1690 m$$

PASO 5.

Para la determinación de la resistencia de malla utilizamos la ecuación 33.

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

$$R_g = 400 \cdot \left[\frac{1}{1690} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 4900}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + 0.5 \cdot \sqrt{\frac{20}{4900}}} \right) \right]$$

$$R_g = 2.75 \Omega$$

PASO 6.

Para el cálculo de la corriente de malla utilizamos la ecuación 34.

$$I_G = D_f \cdot S_f \cdot 3 \cdot I_0$$

$$I_G = (1.052) \cdot (0.6) \cdot (3180)$$

$$I_G = 2007.2 A$$

PASO 7.

Para el aumento de potencial utilizamos la ecuación 35.

$$GPR = I_G \cdot R_g$$

$$GPR = 2007.2 \cdot 2.75$$

$$GPR = 5519.8 V$$

PASO 8.

Para el cálculo de voltaje de malla utilizamos la ecuación 36, 37, 41, 42

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_C}{L_P}$$

$$n_a = \frac{2 \cdot 1540}{(70 + 70 + 70 + 70)}$$

$$n_a = 11$$

$$n = 11 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1$$

$$n = 11$$

El valor de K_{ii} por el uso de varillas es igual a 1.

$$K_{ii} = 1$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{0.5}{1}}$$

$$K_h = 1.225$$

Diámetro del conductor de 2/0

$$d = 10.50 \text{ mm}$$

$$d = 0.0105 \text{ m}$$

Para el cálculo de K_m utilizamos la ecuación, 44.

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \cdot \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D + 2 + h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi((2 \cdot n) - 1)} \right] \right]$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \cdot \left[\frac{7^2}{16 \cdot 0.5 \cdot 0.0105} + \frac{(7 + 2 + 0.5)^2}{8 \cdot 7 \cdot 0.0105} - \frac{0.5}{4 \cdot 0.0105} \right] + \frac{1}{1.225} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi((2 \cdot 11) - 1)} \right] \right]$$

$$K_m = 0.77$$

Para el cálculo de K_i utilizamos la ecuación, 43.

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot 11$$

$$K_i = 2.272$$

El Valor de L_R es el número de varillas multiplicadas por la altura de la varilla para puesta a tierra.

$$L_R = \#varillas \cdot altura \ de \ la \ varilla$$

$$L_R = 20 \cdot 7.5$$

$$L_R = 150 \ m$$

Para el cálculo de V_m utilizamos la ecuación, 46.

$$V_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_C + \left[1.55 + 1.22 \cdot \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] \cdot L_R}$$

$$V_m = \frac{400 \cdot 2007.2 \cdot 0.77 \cdot 2.272}{1540 + \left[1.55 + 1.22 \cdot \left(\frac{7.5}{\sqrt{70^2 + 70^2}} \right) \right] \cdot 150}$$

$$V_m = 786.28 \ V$$

Para el cálculo de K_S utilizamos la ecuación, 47.

$$K_S = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

$$K_S = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot 0.5} + \frac{1}{7 + 0.5} + \frac{1}{7} (1 - 0.5^{11-2}) \right]$$

$$K_S = 0.406$$

Para el cálculo de L_S utilizamos la ecuación, 48.

$$L_S = 0.75 \cdot L_C + 0.85 \cdot L_R$$

$$L_S = 0.75 \cdot 1540 + 0.85 \cdot 150$$

$$L_S = 1282.5$$

Para el cálculo de V_S utilizamos la ecuación, 49.

$$V_S = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_S \cdot K_i}{L_S}$$

$$V_S = \frac{400 \cdot 2007.2 \cdot 0.406 \cdot 2.272}{1282.5}$$

$$V_S = 577.46 \text{ V}$$

PASO 9.

Para la condición se utiliza la ecuación, 50.

$$V_m < V_{Toque}$$

$$786.28 \text{ V} < 838.2 \text{ V}$$

PASO 10.

Para la condición se utiliza la ecuación, 51.

$$V_S < V_P$$

$$577.46 \text{ V} < 2686.52 \text{ V}$$

Con el paso 9 y el paso 10 cumpliendo con las condiciones de diseño se finaliza, con lo cual el Paso 11: Modificar el diseño. No se tomaría en cuenta, en este ejemplo.

Y el último Paso 12: El diseño detallado, es un diseño seguro que se ha obtenido. En este punto, todos los equipos, varillas de tierra adicionales para pararrayos, etc., deben ser añadidos para completar los detalles de diseño de cuadrícula.

2.4.3 CASO C – MALLA RECTANGULAR CON VARILLA.

En este caso, el diseño preliminar es una cuadrícula se tomó en cuenta la forma real de la zona de conexión a tierra como un diseño alternativo. Al darse cuenta de que la zona de conexión a tierra completo es sólo alrededor de 8% mayor que la utilizada en los cálculos anteriores, la mayoría de las conclusiones del caso B se puede utilizar para llegar a una solución de diseño final adecuado.

La elección, una vez más, espaciando $D = 7 \text{ m}$, para una rectangular de $63 \text{ m} \times 84 \text{ m}$ de rejilla, el patrón de malla de cuadrícula es de 10×13 , y el conductor de rejilla longitud

combinada es de $13 \times 63 \text{ m} + 10 \times 84 \text{ m} = 1659 \text{ m}$. Suponga que el uso de 38 varillas de tierra, cada uno de 10 m de largo, como se muestra en la Figura 2.5.

PASO 1.

La red de puesta a tierra de la subestación se ubicará dentro de un rectángulo de $63 \text{ m} \times 84 \text{ m}$. $A = 5.292 \text{ m}^2$. Se supone una resistividad media del suelo de $400 \Omega \cdot \text{m}$, sobre la base de mediciones de resistividad del suelo.

Datos:

Nº	DATO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
1	Duración de la falla	t_f	0.5	segundos
2	Impedancia del sistema en el lado de alto voltaje	Z_1	$4 + j10$	Ω
3	Impedancia del sistema en el lado de alto voltaje	Z_0	$10 + j40$	Ω
4	Factor de división de corriente	S_f	0.6	_____
5	Voltaje en el primario del transformador	V_{AV}	115	KV
6	Voltaje en el secundario del transformador	V_{BV}	13	KV
7	Resistividad del suelo	ρ	400	$\Omega \cdot \text{m}$
8	Resistividad del material de la capa superficial	ρ_S	2500	$\Omega \cdot \text{m}$
9	Espesor de la capa superficial	h_S	0.102	metros
10	Profundidad enterrada la malla	h	0.5	metros
11	Impedancia porcentual del transformador	Z_T	$0.034 + j1.014$	Ω

PASO 2.

Para el voltaje de 115KV.se va a utilizar la ecuación 20.

$$3I_0 = \frac{(3 \cdot V_{AV})}{Z_{eq}}$$

$$3I_0 = \frac{3 \cdot \left(\frac{115000}{\sqrt{3}}\right)}{(4 + 4 + 10) + (10 + 10 + 40)j}$$

$$3I_0 = 3180 \text{ A}; \quad X/R = 60/18 = 3.33$$

Para el Voltaje de 13KV.se va a utilizar la ecuación 21 para obtener la impedancia del sistema con el transformador y la ecuación 22 para la corriente de cortocircuito.

$$Z_1 = \left(\frac{V_{BV}}{V_{AV}}\right)^2 \cdot Z_1 + Z_T$$

$$Z_1 = \left(\frac{13000}{115000}\right)^2 \cdot (4 + 10j) + (0.034 + j1.014)$$

$$Z_1 = 0.085 + j1.142$$

$$3I_0 = \frac{(3 \cdot V_{BV})}{Z_{eq}}$$

$$3I_0 = \frac{3 \cdot \left(\frac{13000}{\sqrt{3}}\right)}{(0.085 + 0.085 + 0.034) + (1.014 + 1.142 + 1.142)j}$$

$$3I_0 = 6814 \text{ A}; \quad X/R = 3.298/0.204 = 16.2$$

Usando la tabla 2.4 para los valores de $t_s = 0.5s$, el factor de decremento es $D_f = 1.052$, la corriente asimétrica rms de falla es $3I_0 = 6814 \text{ A}$.

Asumiendo el uso del cable de cobre de la tabla 2.2, usando a una temperatura ambiente del 40° con una conductividad del 97% el valor de $K_f = 7.06$.

Para la selección del tipo de conductor vamos a utilizar la ecuación 23 para obtener los valores del área del conductor.

$$A_{kcmil} = I \cdot K_f \cdot \sqrt{t_f}$$

$$A_{kcmil} = 6814 \cdot 7.06 \cdot \sqrt{0.5}$$

$$A_{kcmil} = 34.02 kcmil$$

$$1 kmil = 0.507 mm^2$$

$$A_C = 34.02 * 0.507$$

$$A_C = 17.25 mm^2$$

Con el área del conductor se calcula el diámetro del conductor mediante la ecuación 24.

$$A_C = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A_C}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 17.25}{\pi}}$$

$$d = 4.69 mm$$

Con el valor del diámetro del conductor seleccionamos el calibre del conductor mediante la tabla 8, con lo cual nos da que el calibre del conductor a utilizar es el número 4, la norma IEEE 80-2000 sugiere que para instalación de mallas para subestaciones sea el 2/0 AWG como mínimo.

PASO 3.

Mediante la figura 2.2 se puede calcular aproximadamente C_S , calculando K con la siguiente ecuación 25 o mediante la siguiente ecuación 26 para mayor exactitud de C_S .

$$K = \frac{\rho - \rho_S}{\rho + \rho_S}$$

$$K = \frac{400 - 2500}{400 + 2500}$$

$$K = -0.72$$

$$C_S = 1 - \frac{0.09 \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_S}\right)}{(2 \cdot h_S) + 0.09}$$

$$C_S = 1 - \frac{0.09 \cdot \left(1 - \frac{400}{2500}\right)}{2 \cdot (0.102) + 0.09}$$

$$C_S = 0.74$$

Voltaje de paso y de contacto para una persona de 70 Kg con capa superficial utilizando las ecuaciones 27 y 28.

$$V_{P70} = \frac{(1000 + 6 \cdot C_S \cdot \rho_S) \cdot 0.157}{\sqrt{t_f}}$$

$$V_{P70} = \frac{(1000 + 6 \cdot 0.74 \cdot 2500) \cdot 0.157}{\sqrt{0.5}}$$

$$V_{P70} = 2686.58V$$

$$V_{T70} = \frac{(1000 + 1.5 \cdot C_S \cdot \rho_S) \cdot 0.157}{\sqrt{t_f}}$$

$$V_{T70} = \frac{(1000 + 1.5 \cdot 0.74 \cdot 2500) \cdot 0.157}{\sqrt{0.5}}$$

$$V_{T70} = 838.2V$$

PASO 4.

Espaciando $D = 7$ m, para una rectangular de $63 \text{ m} \times 84 \text{ m}$ de rejilla, el patrón de malla de cuadrícula es de 10×13 , y el conductor de rejilla longitud combinada es de $13 \times 63 \text{ m} + 10 \times 84 \text{ m} = 1659 \text{ m}$. Suponga que el uso de 38 varillas de tierra, cada uno de 10 m de largo, como se muestra en la Figura 2.5.

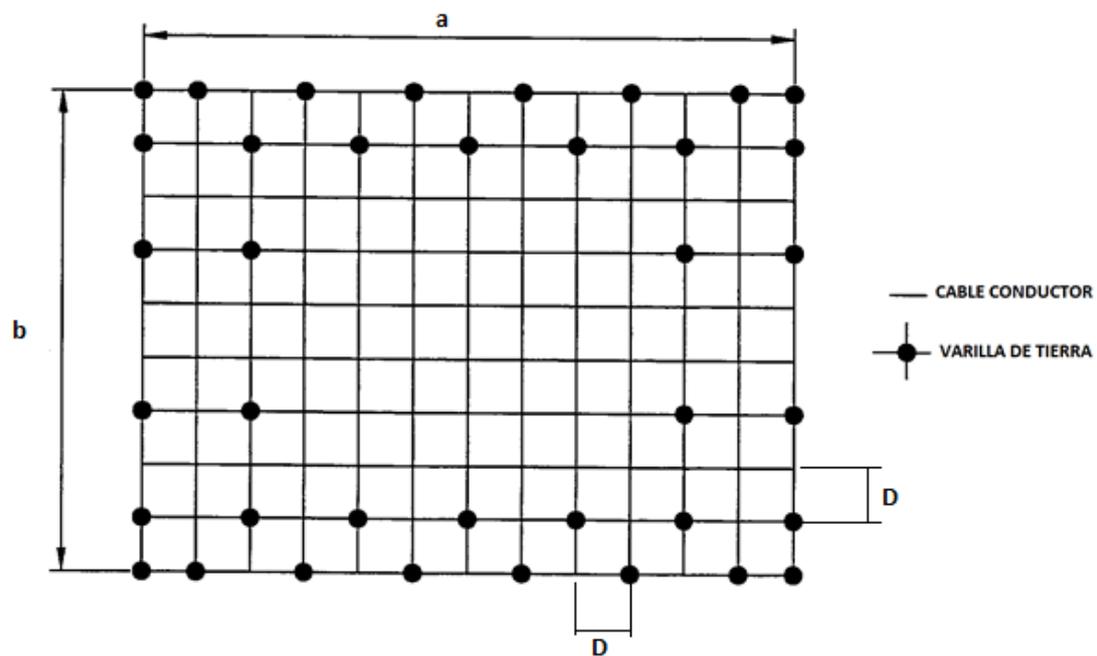


Figura 2.5. Malla rectangular con varillas

$$A = 63m \cdot 84m$$

$$A = 5292 m^2$$

$$L_C = (n_{Cx} \cdot L_x) + (n_{Cy} \cdot L_y)$$

$$L_C = (13 \cdot 63) + (10 \cdot 84)$$

$$L_C = 1659 m$$

$$L_T = L_C + L_R$$

$$L_T = 1659 + (38 \cdot 10)$$

$$L_T = 2039 m$$

PASO 5.

Para la determinación de la resistencia de malla utilizamos la ecuación 33.

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

$$R_g = 400 \cdot \left[\frac{1}{2039} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 5292}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + 0.5 \cdot \sqrt{\frac{20}{5292}}} \right) \right]$$

$$R_g = 2.62 \Omega$$

PASO 6.

Para el cálculo de la corriente de malla utilizamos la ecuación 34.

$$I_G = D_f \cdot S_f \cdot 3 \cdot I_0$$

$$I_G = (1.052) \cdot (0.6) \cdot (3180)$$

$$I_G = 2007.2 A$$

PASO 7.

Para el aumento de potencial utilizamos la ecuación 35.

$$GPR = I_G \cdot R_g$$

$$GPR = 2007.2 \cdot 2.62$$

$$GPR = 5258.8 V$$

PASO 8.

Para el cálculo de voltaje de malla utilizamos la ecuación 36, 37, 38, 41, 42

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_C}{L_P}$$

$$n_a = \frac{2 \cdot 1659}{(63 + 84 + 63 + 84)}$$

$$n_a = 11.29$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_P}{4 \cdot \sqrt{A}}}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{294}{4 \cdot \sqrt{5292}}}$$

$$n_b = 1.005$$

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

$$n = 11.29 \cdot 1.005 \cdot 1 \cdot 1$$

$$n = 11.35$$

El valor de K_{ii} por el uso de varillas es igual a 1.

$$K_{ii} = 1$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{0.5}{1}}$$

$$K_h = 1.225$$

Diámetro del conductor de 2/0

$$d = 10.50 \text{ mm}$$

$$d = 0.0105 \text{ m}$$

Para el cálculo de K_m utilizamos la ecuación, 44.

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \cdot \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D + 2 + h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi((2 \cdot n) - 1)} \right] \right]$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \cdot \left[\frac{7^2}{16 \cdot 0.5 \cdot 0.0105} + \frac{(7 + 2 + 0.5)^2}{8 \cdot 7 \cdot 0.0105} - \frac{0.5}{4 \cdot 0.0105} \right] + \frac{1}{1.225} \right. \\ \left. \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi((2 \cdot 11.35) - 1)} \right] \right]$$

$$K_m = 0.77$$

Para el cálculo de K_i utilizamos la ecuación, 43.

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot 11.35$$

$$K_i = 2.324$$

Para el cálculo de V_m utilizamos la ecuación, 46.

$$V_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_C + \left[1.55 + 1.22 \cdot \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] \cdot L_R}$$

$$V_m = \frac{400 \cdot 2007.2 \cdot 0.77 \cdot 2.324}{1659 + \left[1.55 + 1.22 \cdot \left(\frac{10}{\sqrt{84^2 + 63^2}} \right) \right] \cdot 380}$$

$$V_m = 626.8 \text{ V}$$

Para el cálculo de K_S utilizamos la ecuación, 47.

$$K_S = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

$$K_S = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot 0.5} + \frac{1}{7 + 0.5} + \frac{1}{7} (1 - 0.5^{11.35-2}) \right]$$

$$K_S = 0.41$$

Para el cálculo de L_S utilizamos la ecuación, 48.

$$L_S = 0.75 \cdot L_C + 0.85 \cdot L_R$$

$$L_S = 0.75 \cdot 1659 + 0.85 \cdot 380$$

$$L_S = 1567.25$$

Para el cálculo de V_S utilizamos la ecuación, 49.

$$V_S = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_S \cdot K_i}{L_S}$$

$$V_S = \frac{400 \cdot 2007.2 \cdot 0.41 \cdot 2.324}{1567.25}$$

$$V_S = 488.13 V$$

PASO 9.

Para la condición se utiliza la ecuación, 50.

$$V_m < V_{Toque}$$

$$626.8 V < 838.2 V$$

PASO 10.

Para la condición se utiliza la ecuación, 51.

$$V_S < V_P$$

$$488.13 V < 2686.52 V$$

Con el paso 9 y el paso 10 cumpliendo con las condiciones de diseño se finaliza, con lo cual el Paso 11: Modificar el diseño. No se tomaría en cuenta, en este ejemplo.

Y el último Paso 12: El diseño detallado, es un diseño seguro que se ha obtenido. En este punto, todos los equipos, varillas de tierra adicionales para pararrayos, etc., deben ser añadidos para completar los detalles de diseño de cuadrícula.

Este voltaje de malla calculada es muy por debajo del límite del voltaje de toque de 838,2, pero utiliza 119 m de conductor adicional y 230 m de varillas de tierra adicionales, en comparación con el ejemplo anterior. Por lo tanto, el espaciado de malla se podría reducir, el número y / o la longitud de varillas de tierra podrían reducirse, o ambos para lograr el mismo margen de seguridad que en el Ejemplo B.

2.4.4 CASO D – MALLA EN L CON VARILLA.

En este ejemplo, el diseño del caso B se modifica para ilustrar el uso de las ecuaciones para una rejilla en forma de L con varillas de tierra. El área total y el espaciamiento de malla son las mismas que en el caso B, y las varillas de tierra están situados sólo alrededor del perímetro de la red, como se muestra en la Figura 10. Todos los demás parámetros son los mismos que en el caso B, excepto el número de varillas (24). Por lo tanto, los pasos 1-4 son los mismos que en el caso B, y este ejemplo comienza con el Paso 5.

PASO 1.

La red de puesta a tierra de la subestación se ubicará dentro de un rectángulo de $63 \text{ m} \times 84 \text{ m}$. $A = 5.292 \text{ m}^2$. Se supone una resistividad media del suelo de $400 \Omega \cdot \text{m}$, sobre la base de mediciones de resistividad del suelo.

Datos:

Nº	DATO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
1	Duración de la falla	t_f	0.5	segundos
2	Impedancia del sistema en el lado de alto voltaje	Z_1	$4 + j10$	Ω
3	Impedancia del sistema en el lado de alto voltaje	Z_0	$10 + j40$	Ω
4	Factor de división de corriente	S_f	0.6	—
5	Voltaje en el primario del transformador	V_{AV}	115	KV
6	Voltaje en el secundario del transformador	V_{BV}	13	KV
7	Resistividad del suelo	ρ	400	$\Omega \cdot \text{m}$
8	Resistividad del material de la capa superficial	ρ_s	2500	$\Omega \cdot \text{m}$
9	Espesor de la capa superficial	h_s	0.102	metros

CONTINÚA →

10	Profundidad enterrada la malla	h	0.5	metros
11	Impedancia porcentual del transformador	Z_T	$0.034 + j1.014$	Ω

PASO 2.

Para el voltaje de 115KV.se va a utilizar la ecuación 20.

$$3I_0 = \frac{(3 \cdot V_{AV})}{Z_{eq}}$$

$$3I_0 = \frac{3 \cdot \left(\frac{115000}{\sqrt{3}}\right)}{(4 + 4 + 10) + (10 + 10 + 40)j}$$

$$3I_0 = 3180 \text{ A}; \quad X/R = 60/18 = 3.33$$

Para el Voltaje de 13KV.se va a utilizar la ecuación 21 para obtener la impedancia del sistema con el transformador y la ecuación 22 para la corriente de cortocircuito.

$$Z_1 = \left(\frac{V_{BV}}{V_{AV}}\right)^2 \cdot Z_1 + Z_T$$

$$Z_1 = \left(\frac{13000}{115000}\right)^2 \cdot (4 + 10j) + (0.034 + j1.014)$$

$$Z_1 = 0.085 + j1.142$$

$$3I_0 = \frac{(3 \cdot V_{BV})}{Z_{eq}}$$

$$3I_0 = \frac{3 \cdot \left(\frac{13000}{\sqrt{3}}\right)}{(0.085 + 0.085 + 0.034) + (1.014 + 1.142 + 1.142)j}$$

$$3I_0 = 6814 \text{ A}; \quad X/R = 3.298/0.204 = 16.2$$

Usando la tabla 2.4 para los valores de $t_g = 0.5s$, el factor de decremento es $D_f = 1.052$, la corriente asimétrica rms de falla es $3I_0 = 6814 A$.

Asumiendo el uso del cable de cobre de la tabla 2.2, usando a una temperatura ambiente del 40° con una conductividad del 97% el valor de $K_f = 7.06$.

Para la selección del tipo de conductor vamos a utilizar la ecuación 23 para obtener los valores del área del conductor.

$$A_{kcmil} = I \cdot K_f \cdot \sqrt{t_f}$$

$$A_{kcmil} = 6814 \cdot 7.06 \cdot \sqrt{0.5}$$

$$A_{kcmil} = 34.02kcmil$$

$$1 kmil = 0.507mm^2$$

$$A_C = 34.02 * 0.507$$

$$A_C = 17.25 mm^2$$

Con el área del conductor se calcula el diámetro del conductor mediante la ecuación 24.

$$A_C = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A_C}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 17.25}{\pi}}$$

$$d = 4.69 mm$$

Con el valor del diámetro del conductor seleccionamos el calibre del conductor mediante la tabla 8, con lo cual nos da que el calibre del conductor a utilizar es el número 4, la norma IEEE 80-2000 sugiere que para instalación de mallas para subestaciones sea el 2/0 AWG como mínimo.

PASO 3.

Mediante la figura 2.2 se puede calcular aproximadamente C_S , calculando K con la siguiente ecuación 25 o mediante la siguiente ecuación 26 para mayor exactitud de C_S .

$$K = \frac{\rho - \rho_S}{\rho + \rho_S}$$

$$K = \frac{400 - 2500}{400 + 2500}$$

$$K = -0.72$$

$$C_S = 1 - \frac{0.09 \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_S}\right)}{(2 \cdot h_S) + 0.09}$$

$$C_S = 1 - \frac{0.09 \cdot \left(1 - \frac{400}{2500}\right)}{2 \cdot (0.102) + 0.09}$$

$$C_S = 0.74$$

Voltaje de paso y de contacto para una persona de 70 Kg con capa superficial utilizando las ecuaciones 27 y 28.

$$V_{P70} = \frac{(1000 + 6 \cdot C_S \cdot \rho_S) \cdot 0.157}{\sqrt{t_f}}$$

$$V_{P70} = \frac{(1000 + 6 \cdot 0.74 \cdot 2500) \cdot 0.157}{\sqrt{0.5}}$$

$$V_{P70} = 2686.58V$$

$$V_{T70} = \frac{(1000 + 1.5 \cdot C_S \cdot \rho_S) \cdot 0.157}{\sqrt{t_f}}$$

$$V_{T70} = \frac{(1000 + 1.5 \cdot 0.74 \cdot 2500) \cdot 0.157}{\sqrt{0.5}}$$

$$V_{T70} = 838.2V$$

PASO 4.

Espaciando $D = 7$ m, para una rectangular de $105 \text{ m} \times 70 \text{ m}$ de rejilla, el patrón de malla de cuadrícula es de $(11 \times 16) - (10 \times 5)$, y el conductor de rejilla longitud combinada es de $(11 \times 70) \text{ m} + (16 \times 105) \text{ m} - (5 \times 35) \text{ m} - (10 \times 70) \text{ m} = 1575 \text{ m}$. Suponga que el uso de 24 varillas de tierra, cada uno de 7.5 m de largo, como se muestra en la Figura 2.6.

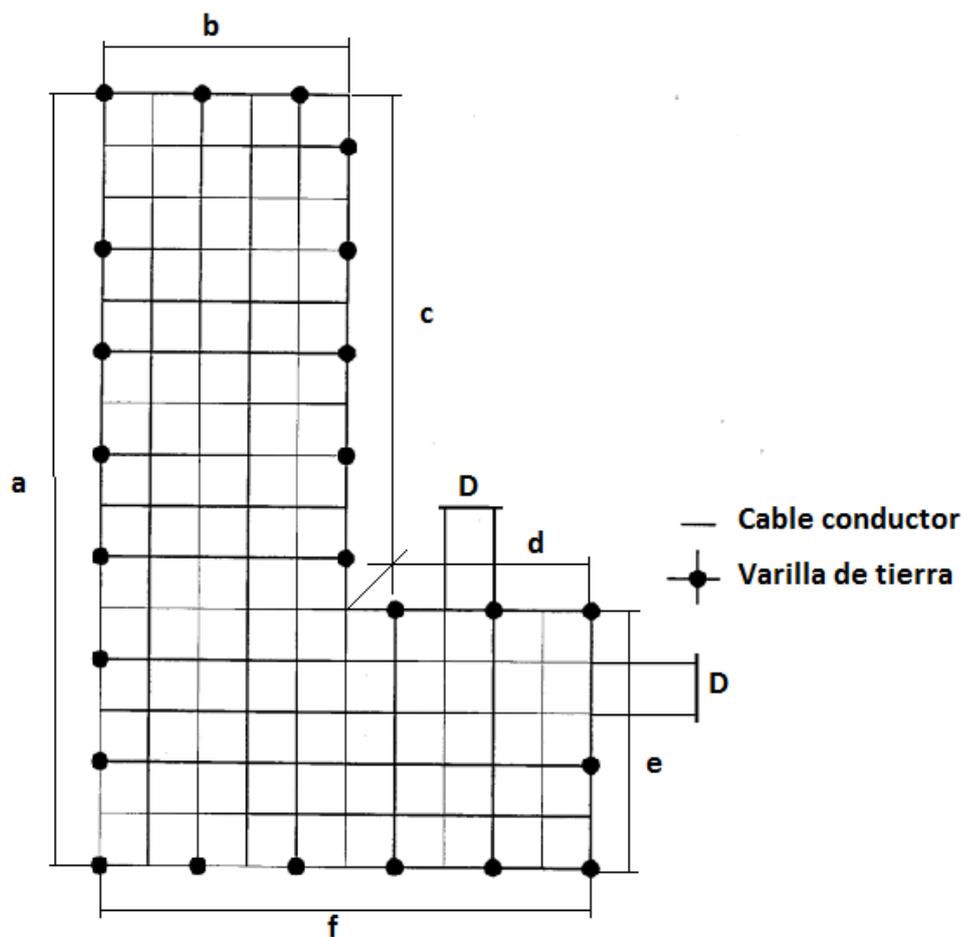


Figura 2.6. Malla en L con varillas.

$$A = (105 * 70)m - (70 * 35)m$$

$$A = 4900 \text{ m}^2$$

$$L_C = (n_{Cx} \cdot L_x) + (n_{Cy} \cdot L_y)$$

$$L_C = (11 \cdot 70) + (16 \cdot 105) - (10 \cdot 70) - (5 \cdot 35)$$

$$L_C = 1575 \text{ m}$$

$$L_T = L_C + L_R$$

$$L_T = 1575 + (24 \cdot 7.5)$$

$$L_T = 1755 \text{ m}$$

PASO 5.

Para la determinación de la resistencia de malla utilizamos la ecuación 33.

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

$$R_g = 400 \cdot \left[\frac{1}{1755} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 4900}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + 0.5 \cdot \sqrt{\frac{20}{4900}}} \right) \right]$$

$$R_g = 2.74 \Omega$$

PASO 6.

Para el cálculo de la corriente de malla utilizamos la ecuación 34.

$$I_G = D_f \cdot S_f \cdot 3 \cdot I_0$$

$$I_G = (1.052) \cdot (0.6) \cdot (3180)$$

$$I_G = 2007.2 \text{ A}$$

PASO 7.

Para el aumento de potencial utilizamos la ecuación 35.

$$GPR = I_G \cdot R_g$$

$$GPR = 2007.2 \cdot 2.74$$

$$GPR = 5499.73 \text{ V}$$

PASO 8.

Para el cálculo de voltaje de malla utilizamos la ecuación 36, 37, 38, 39, 41, 42

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_C}{L_P}$$

$$n_a = \frac{2 \cdot 1575}{(105 + 70 + 70 + 35 + 35 + 35)}$$

$$n_a = 9$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_P}{4 \cdot \sqrt{A}}}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{350}{4 \cdot \sqrt{4900}}}$$

$$n_b = 1.12$$

$$n_c = \left[\frac{L_x \cdot L_y}{A} \right]^{\frac{0.7 \cdot A}{L_x \cdot L_y}}$$

$$n_c = \left[\frac{70 \cdot 105}{4900} \right]^{\frac{0.7 \cdot 4900}{70 \cdot 105}}$$

$$n_c = 1.21$$

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d$$

$$n = 9 \cdot 1.12 \cdot 1.21 \cdot 1$$

$$n = 12.2$$

El valor de K_{ii} por el uso de varillas es igual a 1.

$$K_{ii} = 1$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{0.5}{1}}$$

$$K_h = 1.225$$

Diámetro del conductor de 2/0

$$d = 10.50 \text{ mm}$$

$$d = 0.0105 \text{ m}$$

Para el cálculo de K_m utilizamos la ecuación, 44.

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \cdot \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D + 2 + h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi((2 \cdot n) - 1)} \right] \right]$$

$$K_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\ln \cdot \left[\frac{7^2}{16 \cdot 0.5 \cdot 0.0105} + \frac{(7 + 2 + 0.5)^2}{8 \cdot 7 \cdot 0.0105} - \frac{0.5}{4 \cdot 0.0105} \right] + \frac{1}{1.225} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi((2 \cdot 12.2) - 1)} \right] \right]$$

$$K_m = 0.76$$

Para el cálculo de K_i utilizamos la ecuación, 43.

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n$$

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot 12.2$$

$$K_i = 2.45$$

Para el cálculo de V_m utilizamos la ecuación, 46.

$$V_m = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_m \cdot K_i}{L_C + \left[1.55 + 1.22 \cdot \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] \cdot L_R}$$

$$V_m = \frac{400 \cdot 2007.2 \cdot 0.76 \cdot 2.45}{1575 + \left[1.55 + 1.22 \cdot \left(\frac{7.5}{\sqrt{70^2 + 105^2}} \right) \right] \cdot 180}$$

$$V_m = 800.7 \text{ V}$$

Para el cálculo de K_S utilizamos la ecuación, 47.

$$K_S = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

$$K_S = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot 0.5} + \frac{1}{7 + 0.5} + \frac{1}{7} (1 - 0.5^{12.2-2}) \right]$$

$$K_S = 0.41$$

Para el cálculo de L_S utilizamos la ecuación, 48.

$$L_S = 0.75 \cdot L_C + 0.85 \cdot L_R$$

$$L_S = 0.75 \cdot 1575 + 0.85 \cdot 180$$

$$L_S = 1334.25$$

Para el cálculo de V_S utilizamos la ecuación, 49.

$$V_S = \frac{\rho \cdot I_G \cdot K_S \cdot K_i}{L_S}$$

$$V_S = \frac{400 \cdot 2007.2 \cdot 0.41 \cdot 2.45}{1334.25}$$

$$V_S = 604.45 \text{ V}$$

PASO 9.

Para la condición se utiliza la ecuación, 50.

$$V_m < V_{Toque}$$

$$800.7 \text{ V} < 838.2 \text{ V}$$

PASO 10.

Para la condición se utiliza la ecuación, 51.

$$V_S < V_P$$

$$604.45 \text{ V} < 2686.52 \text{ V}$$

Con el Paso 9, Tenga en cuenta que esto es cerca de los resultados del caso B, y es inferior a la tolerable Límite toque E de 838,2 V.

En el Paso 10, es muy inferior a la tensión de paso tolerable determinado en el paso 3 del ejemplo 1. Es decir, 574,6 V es mucho menos de 2.686,6 V.

Paso 11.

No se requiere para este ejemplo.

Paso 12.

Un diseño seguro se ha obtenido y detalles finales ahora se puede añadir al diseño.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

3.1 ESPECIFICACIÓN DEL PROYECTO

El escenario que se va a realizar es tomando toda la información necesaria del diseño de mallas de puesta a tierra, mediante la norma internacional IEEE 80-2000 en un único dispositivo móvil electrónico. Para una mayor comodidad y transportación, en vez de escoger una PC ya que la cual se demora mucho en cargar los programas al iniciar la utilización de dicha PC, vamos a utilizar un dispositivo móvil electrónico, que su utilización es muy alta, tanto en costos, como aumenta la movilidad y flexibilidad en el momento que realicemos un diseño de mallas de puesta a tierra, tanto para estudio como para el diseño en un trabajo profesional.

Para comenzar a desarrollar la aplicación, necesitamos un dispositivo móvil que en este caso vamos a utilizar un iPad, una PC con un programa para comunicar el dispositivo iOS. La forma que nos vamos a comunicar es por un puerto USB.

Una vez realizada la comunicación entre la PC y el iPad, se realizara la interfaz gráfica correspondiente al diseño que vamos a realizar para el diseño de mallas de puestas a tierra.

3.1.1 REQUISITOS DEL PROGRAMA

Los requisitos para el diseño de la aplicación van hacer los siguientes, los cuales se deben cumplir para obtener un buen uso de la aplicación a realizar:

- Se debe contar con una PC MacBook Pro que se encuentre instalada la versión OS X Yosemite.
- La Pc debe tener instalada el programa XCode versión 6.2.
- Se debe contar con un iPad con la versión iOS 8.1.
- La aplicación deberá ser de fácil utilización, para cualquier tipo de usuario que tenga conocimientos de sistemas de puestas a tierra y de electricidad.
- Se minimizara errores que puedan surgir a lo largo del diseño y aumentara la capacidad de datos para el diseño en próximas versiones si fuera el caso.

3.1.2 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

- La aplicación permitirá realizar cálculos del diseño de mallas de puestas a tierra.
- La aplicación mostrara los resultados del diseño que se escoja de las tres mallas a utilizar.
- Para el diseño se necesita datos de campo que se obtenga o se proponga para el cálculo del diseño de mallas de puesta a tierra.
- Se debe ingresar los parámetros que creamos necesario para el diseño, ya que la aplicación no está diseñada a dar un solo resultado.

3.1.3 REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES

- La aplicación funcionara bajo el sistema operativo iOS (Apple).
- El software de la aplicación no requiere de conexión a internet.
- La aplicación solo va admitir valores numéricos.

3.2 PROPÓSITO

El propósito de la aplicación a diseñar es dar los resultados de valores ingresados para el diseño de mallas con puesta a tierra y seleccionar la malla deseada o elegir la más adecuada para el diseño que se realice.

3.3 IDENTIFICACIÓN DE ROLES Y TAREAS

- Roles
 - Usuario
Es la persona que va a manipular la aplicación para el diseño de la malla de puesta a tierra.
 - iPad
El dispositivo móvil electrónico en el cual está instalada la aplicación que va a realizar el respectivo diseño mediante cálculos.
- Tareas
 - Usuario
 - Ingresar los datos para el diseño.
 - Tomar la decisión de que malla va a utilizar.
 - Seleccionar el tipo de conductor que se va a utilizar para el diseño.
 - iPad
 - Reconoce los datos ingresados

- Mostrar el resultado de las decisiones tomadas por el usuario.

3.4 INICIALIZACIÓN DE LA APLICACIÓN

En la fase preliminar para la aplicación es la de permitir el éxito al diseñar la aplicación, mediante la elaboración y verificación de los pasos del diseño de mallas de puestas a tierra mediante ventanas que se va a realizar para verificar si se tiene algún error, mientras se va ejecutando la aplicación.

3.4.1 REQUERIMIENTOS INICIALES

Los requerimientos iniciales que vamos a utilizar son los siguientes:

- Listado de parámetros del diseño.
- Información de ingreso de datos
- Información de valores Kf.
- Información de valores Df.
- Información de calibre del conductor.
- Selección del tipo de malla, para el respectivo diseño.
- Selección e ingreso de datos para el cálculo de la malla seleccionad.
- Resultados preliminares del diseño.
- Resultados finales de los cálculos realizados en el diseño.
- Conexión con el dispositivo móvil.

3.5 PLATAFORMA DE PROGRAMACIÓN XCODE CON OBJECT C

La versión 6.3.1 de este conjunto de herramientas, agrupa tanto la parte de programación en C orientada a objetos, junto con Interface Builder que es un esquema de vistas de la pantalla del dispositivo a simular y de igual forma al simulador del dispositivo iOS que es ya una simulación completa virtual de la aplicación dentro de un iPhone y un iPad. Para la creación de las aplicaciones la interfaz muestra una presentación para un nuevo proyecto, el cual puede estar orientado a los dispositivos móviles iOS o para el sistema operativo del MAC OS X. En la siguiente figura 3.1 se muestra la vista del programa de aplicaciones:

x



Figura 3.1. Plataforma XCode

En la figura se puede observar existen los mecanismos para realizar la programación de las aplicaciones para iPhone, iPad y el sistema operativo para MAC OS X, cada una consta con una descripción corta pero informativa de lo que genera. Cada una de estas con un conjunto de elementos de control sobre un atributo del dispositivo, es decir se puede definir un conjunto de controladores sobre una vista del dispositivo.

Al elegir el prototipo para el diseño, la plataforma genera los archivos y paquetes necesarios para la compilación, en adición coloca los archivos en diferentes carpetas que señalan a que aspecto del código pertenecen.

Para la creación del aplicativo, se pueden modificar varios parámetros de visualización, se pueden cambiar los tipos de orientación permitida para el dispositivo, la versión del software mínima que soportara, cuenta además con una división de áreas donde se pueden

apreciar el área de carpetas del proyecto, librerías, archivos de cabecera y configuración, donde se pueden declarar los objetos al momento de iniciar la programación.

3.5.1 SIMULADOR PARA iOS

Este es el simulador oficial del dispositivo en el cual enlaza los métodos y objetos generados por XCode e Interface Builder en una aplicación implementada en el dispositivo virtual. En la figura 3.2 se aprecia un ejemplo de dicha simulación:



Figura 3.2. Malla en L con varillas

Cabe recalcar que la simulación ejecutada funciona de acuerdo a las configuraciones realizadas en XCode y son simuladas para los requerimientos como lo son:

- Versión de sistema operativo iOS.
- Dispositivos iPhone, iPad, iPod.

Es necesario realizar las pruebas en el simulador antes de poder instalarlas en el dispositivo móvil, ya que en la simulación es posible que este funcione, sin embargo la prueba final se la realizara en el dispositivo.

3.6 PROGRAMACIÓN A OBJETOS

Un objeto es una estructura formada por la instancia de variables y el grupo de procedimientos o métodos que estén contenidos es una unidad de programación. Los objetos manejados son utilizados por la plataforma XCode, como característica de estructura cada variable instancia estará dentro del objeto y para obtener un cambio en el estado del objeto únicamente se tiene acceso a través de los métodos.

3.6.1 DECLARACIÓN DE VARIABLES

La declaración de variables en XCode, se declaran similar al lenguaje C con ciertas propiedades que los diferencian. Las clases están definidas de la siguiente manera como se muestra en la figura 3.3:

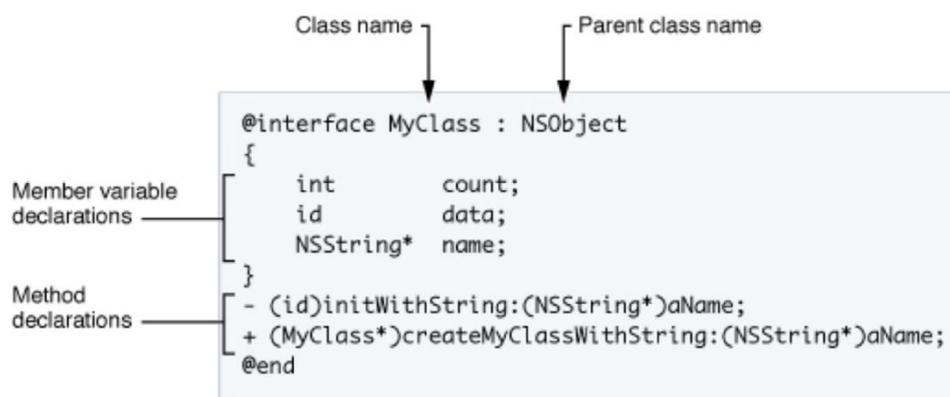


Figura 3.3. Estructura de una clase en Object C

Cada una de las variables utilizadas, corroboran un papel fundamental al momento de declarar los métodos, pues estas son parte de cada característica del objeto. Sus formatos y usos van de acuerdo a necesidad de un resultado deseado. Para definir las existen:

- Caracteres: se utilizan la etiqueta char que las define como un conjunto de caracteres
- Enteros: se utiliza las etiquetas short, int, long.
- Números en coma decimal: float, double, long double.
- Booleanos: bool.
- Sin entorno: void.

3.7 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA

La figura 3.4 muestra el diagrama de flujo de cómo está configurada la aplicación desde su inicio hasta sus tres finales depende del diseño que se va a utilizar.

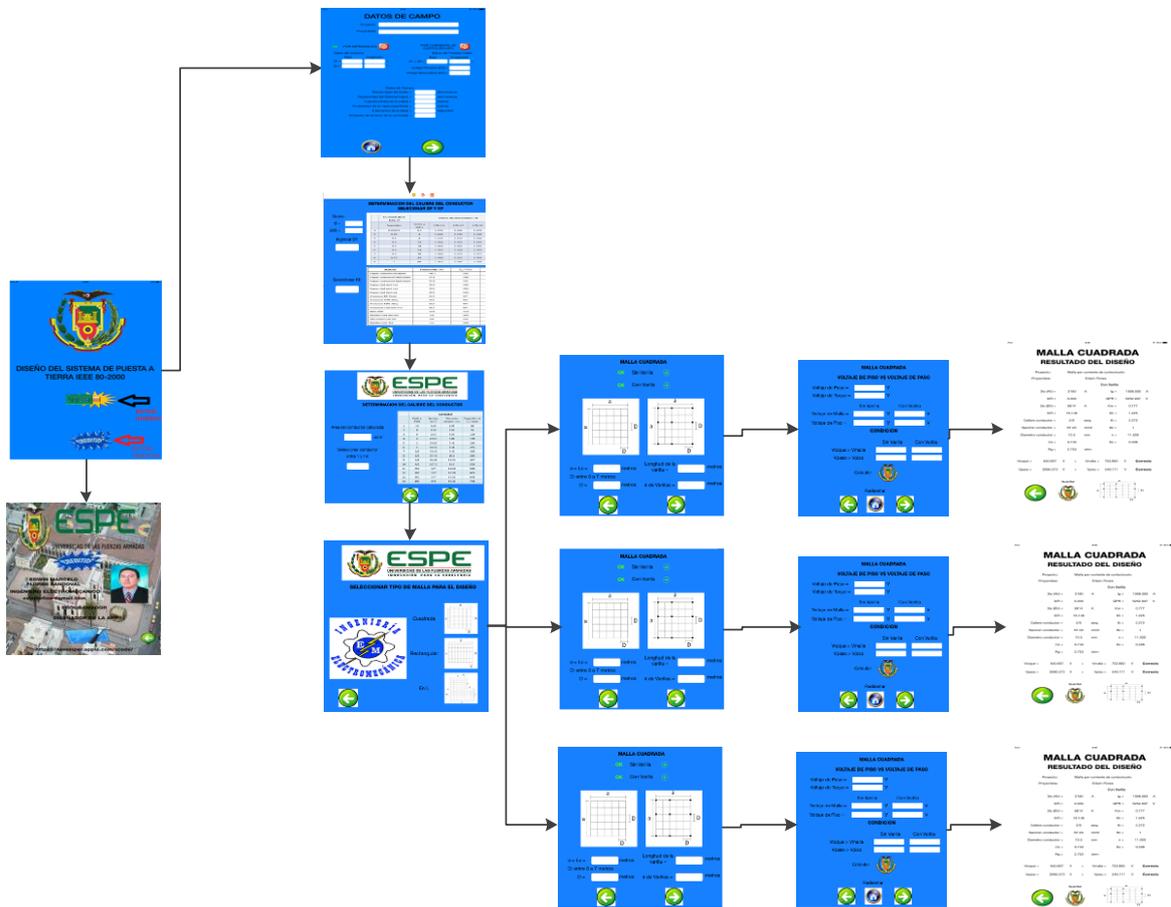


Figura 3.4. Diagrama de flujo de la aplicación realizada.

3.8 DISEÑO DE LA APLICACIÓN GRÁFICA EN INTERFACE BUILDER XCODE

Se va a presentar una serie de figuras de cómo está realizado la aplicación para el diseño de mallas de puestas a tierra describiendo que se realizó paso a paso.

En las siguientes figuras desde la figura 3.5 hasta la figura 21 se muestran las ventanas para el inicio de la aplicación hasta culminar con los resultados finales de la aplicación, los componentes utilizados para el desarrollo de los mismos para determinar la acción que se va a realizar, está constituido por UIButton, UILabel, UIImageView, UITextField

En la figura 3.5 está constituido por dos botones el uno que va a ingresar los datos de campo para la aplicación y el otro botón que va a ingresar a los créditos del creador de la aplicación, si fuera el caso de aumentar iconos o botones se los puede realizar tomando en cuenta la descripción de para que se va a utilizar para no confundirse al seleccionar el botón y su respectivo funcionamiento.



Figura 3.5. Estructura del inicio de la aplicación.

En la figura 3.6. Se muestra como se configuro la ventana para los créditos de la aplicación un botón de regreso a la ventana principal de la app y de una imagen de quien es el autor un poco de información del mismo, como correo nombre y apellido, email, y en que programa se realizó para la creación de la app.



Figura 3.6. Estructura de los créditos de la aplicación.

En La figura 3.7 se muestra la estructura del ingreso de datos para el diseño como datos de campo, datos del transformador y botones para la utilización de corrientes por cortocircuito.

Figura 3.7. Estructura del ingreso de datos para la aplicación.

En la figura 3.8 se encuentran dos tablas las que se inserta el valor de Df y Kf depende del valor que se elija en el caso para Kf ya que el Df se selecciona tomando en cuenta el valor de tf y el X/R de baja tensión.

DETERMINACION DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR MEDIANTE LA SELECCION DE LOS PARAMETROS

Datos:
 tf =
 X/R =
 Ingresar Df:

	Duracion de la falla, tf	Ciclos a 60Hz	Factor de Decremento, Df			
			X/R=10	X/R=20	X/R=30	X/R=40
1	0.00833	0.5	1.576	1.648	1.675	1.688
2	0.05	3	1.232	1.378	1.462	1.515
3	0.1	6	1.125	1.232	1.316	1.378
4	0.2	12	1.064	1.125	1.181	1.232
5	0.3	18	1.043	1.085	1.125	1.163
6	0.4	24	1.033	1.064	1.095	1.125
7	0.5	30	1.026	1.052	1.077	1.101
8	0.75	45	1.018	1.035	1.052	1.068
9	1	60	1.013	1.026	1.039	1.052

Seleccionar Kf:

Material	Conductivity (%)	T _m (°C)	K _f
Copper, annealed soft-drawn	100.0	1083	7.00
Copper, commercial hard-drawn	97.0	1084	7.06
Copper, commercial hard-drawn	97.0	250	11.78
Copper-clad steel wire	40.0	1084	10.45
Copper-clad steel wire	30.0	1084	12.06
Copper-clad steel rod	20.0	1084	14.64
Aluminum EC Grade	61.0	657	12.12
Aluminum 5005 Alloy	53.5	652	12.41
Aluminum 6201 Alloy	52.5	654	12.47
Aluminum-clad steel wire	20.3	657	17.20
Steel 1020	10.8	1510	15.95
Stainless clad steel rod	9.8	1400	14.72
Zinc-coated steel rod	8.6	419	28.96
Stainless steel 304	2.4	1400	30.05

Figura 3.8. Estructura de la selección de los valores del conductor.

En la figura 3.9 existe una imagen en la cual observamos el calibre de conductores que podemos utilizar para el diseño de mallas.

ESPE
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
 INNOVACION PARA LA EXCELENCIA

DETERMINACION DEL CALIBRE DEL CONDUCTOR

Area del conductor calculada:
 mm²

Seleccionar conductor entre 1 y 14:

	Conductor			
	Calibre AWG	Seccion mm ²	Diametro exterior mm	Capacidad de corriente
1	10	5.26	2.94	68
2	8	8.37	3.69	95
3	6	13.3	4.65	129
4	4	21.15	5.88	170
5	2	33.62	7.41	230
6	1	42.36	8.34	275
7	1/0	53.49	9.36	310
8	2/0	67.43	10.5	360
9	3/0	85.01	11.95	427
10	4/0	107.2	13.4	500
11	250	127	14.63	540
12	300	152	16.03	605
13	350	177	17.29	670
14	400	203	18.48	730

Figura 3.9. Estructura de la selección del calibre del conductor.

En la figura 3.10 observamos tres botones los cuales son los tres tipos de mallas que podemos realizar y en cada una existen diferentes formas de resolver el diseño que deseamos realizar.

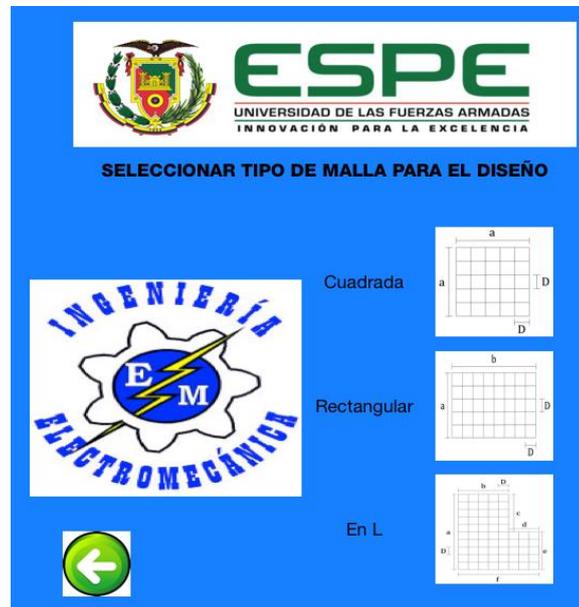


Figura 3.10. Estructura de la selección del tipo de malla.

En la figura 3.11 observamos el diseño de la malla para realizarla cuadrada y en la cual podemos elegir si deseamos con o sin varilla y este caso se repite para el rectangular y en L.

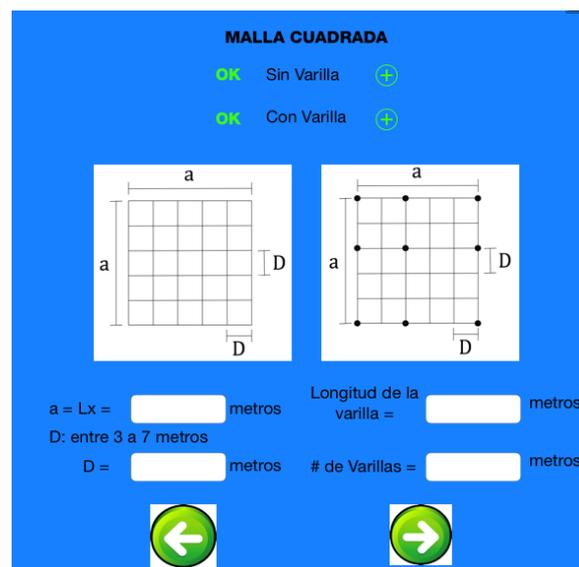


Figura 3.11. Estructura del ingreso de datos para la malla seleccionada.

En la figura 3.12 obtenemos los primeros resultados de la aplicación realizada y si cumple las condiciones de diseño para un correcto funcionamiento.



Figura 3.12. Estructura de los resultados comparativos.

En la figura 3.13 se muestran todos los resultados si deseamos para ocuparlos en alguna otro diseño o aplicación si fuera el caso y así se finaliza la app de este diseño de mallas de puesta a tierra.

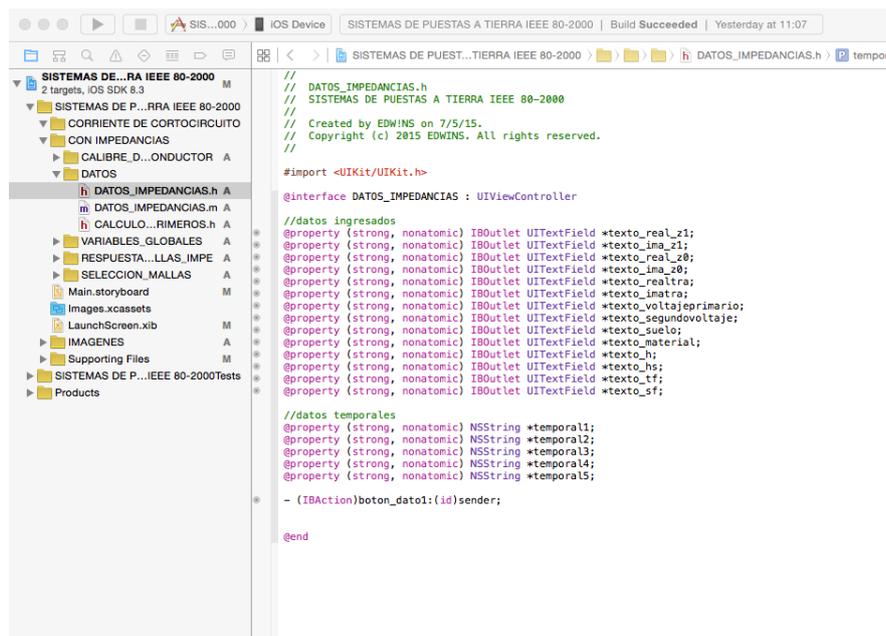


Figura 3.13. Estructura de los resultados finales de la aplicación.

3.9 DISEÑO Y PROGRAMACIÓN EN LA PLATAFORMA XCODE

Como se ha observado anteriormente todos los objetos han sido colocados para lo cual es necesario empezar a instalarlos con sus respectivas etiquetas y sus métodos de ejecución para obtener el resultado esperado. Para esto se definen los archivos de cabecera .h y el archivo de implementación .m que hará referencia a los objetos instanciados y llamara los métodos para su ejecución en las figuras 3.14 y 3.15 se muestran cuáles son y como están constituidos, la programación de la aplicación va a estar en el ANEXO A.

La interfaz contiene los parámetros de configuración de la presentación del aplicativo de tal manera que para esto utiliza diferentes archivos de configuración, uno para declarar elementos y objetos, y métodos a crear, y otro para poder inicializarlos junto con sus variables e inicializarlas en los métodos para que estos se vean reflejados en un resultado esperado al momento de ejecutarlos.



```

//
//  DATOS_IMPEDANCIAS.h
//  SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA IEEE 80-2000
//
//  Created by EDWINS on 7/5/15.
//  Copyright (c) 2015 EDWINS. All rights reserved.
//

#import <UIKit/UIKit.h>

@interface DATOS_IMPEDANCIAS : UIViewController

//datos ingresados
@property (strong, nonatomic) IBOutlet UITextField *texto_real_z1;
@property (strong, nonatomic) IBOutlet UITextField *texto_ima_z1;
@property (strong, nonatomic) IBOutlet UITextField *texto_real_z0;
@property (strong, nonatomic) IBOutlet UITextField *texto_ima_z0;
@property (strong, nonatomic) IBOutlet UITextField *texto_realtira;
@property (strong, nonatomic) IBOutlet UITextField *texto_imatira;
@property (strong, nonatomic) IBOutlet UITextField *texto_voltajeprimario;
@property (strong, nonatomic) IBOutlet UITextField *texto_segundovoltaje;
@property (strong, nonatomic) IBOutlet UITextField *texto_suelo;
@property (strong, nonatomic) IBOutlet UITextField *texto_material;
@property (strong, nonatomic) IBOutlet UITextField *texto_hs;
@property (strong, nonatomic) IBOutlet UITextField *texto_tf;
@property (strong, nonatomic) IBOutlet UITextField *texto_sf;

//datos temporales
@property (strong, nonatomic) NSString *temporal1;
@property (strong, nonatomic) NSString *temporal2;
@property (strong, nonatomic) NSString *temporal3;
@property (strong, nonatomic) NSString *temporal4;
@property (strong, nonatomic) NSString *temporal5;

- (IBAction)boton_datos1:(id)sender;

@end

```

Figura 3.14. Archivo de la interfaz .h.

En esta segunda instancia se observa la interface con la declaración de atributos y una vez ingresada se procede a declarar los métodos que se implementan, así como también sus propiedades. Vista esta segunda instancia la podemos verificar en la figura 3.15.

```

// DATOS_IMPEDANCIAS.m
// SISTEMAS DE PUESTAS A TIERRA IEEE 80-2000
// Created by EDW:INS on 7/5/15.
// Copyright (c) 2015 EDW:INS. All rights reserved.

#import "DATOS_IMPEDANCIAS.h"
#import "VARIABLES_IMPEDANCIAS.h"
#import "CALCULOS_PRIMEROS.h"

@interface DATOS_IMPEDANCIAS ()
@end

@implementation DATOS_IMPEDANCIAS

@synthesize texto_real_z1, texto_ima_z1, texto_real_z0, texto_ima_z0;
@synthesize texto_realtra, texto_imaatra;
@synthesize texto_voltajeprimario, texto_segundovoltaje;
@synthesize texto_suelo, texto_material, texto_h, texto_hs, texto_tf, texto_sf;
@synthesize temporal1, temporal2, temporal3, temporal4, temporal5;

- (void)viewDidLoad {
    [super viewDidLoad];
    // Do any additional setup after loading the view.
    texto_real_z1.text = var_real_z1;
    texto_ima_z1.text = var_ima_z1;
    texto_real_z0.text = var_real_z0;
    texto_ima_z0.text = var_ima_z0;
    texto_realtra.text = var_realtra;
    texto_imaatra.text = var_imaatra;
    texto_voltajeprimario.text = var_voltajeprimario;
    texto_segundovoltaje.text = var_segundovoltaje;
    texto_suelo.text = var_suelo;
    texto_material.text = var_material;
    texto_h.text = var_h;
    texto_hs.text = var_hs;
    texto_tf.text = var_tf;
    texto_sf.text = var_sf;
}

```

Figura 3.15. Archivo de la interfaz .m.

3.10 PRUEBA Y RESULTADOS DE LA APLICACIÓN

A continuación se realizara pruebas del uso del sistema para observar que la aplicación funcione correctamente. Para lo cual se procederá a validar el funcionamiento de ambas opciones de funcionamiento tanto con el iOS Simulator y el iPad.



Figura 3.16. Visualización del funcionamiento de la aplicación con iOS Simulator.

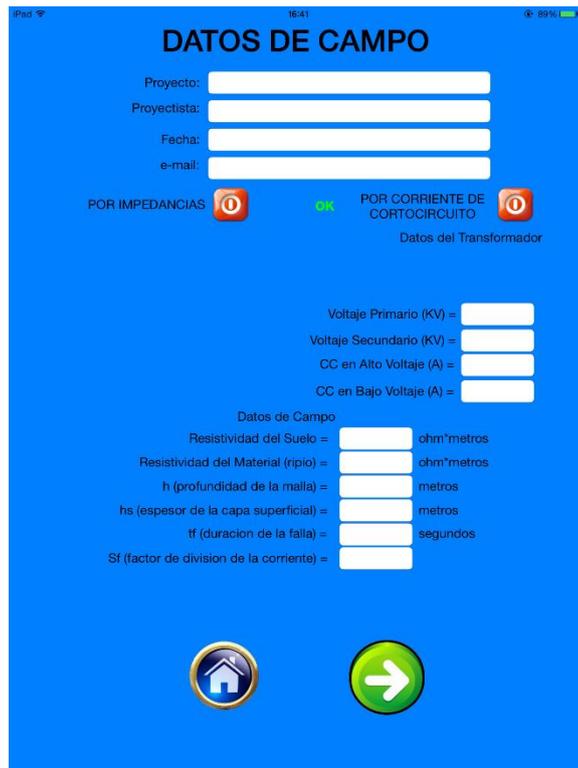


Figura 3.17. Visualización del funcionamiento de la aplicación con el iPad.

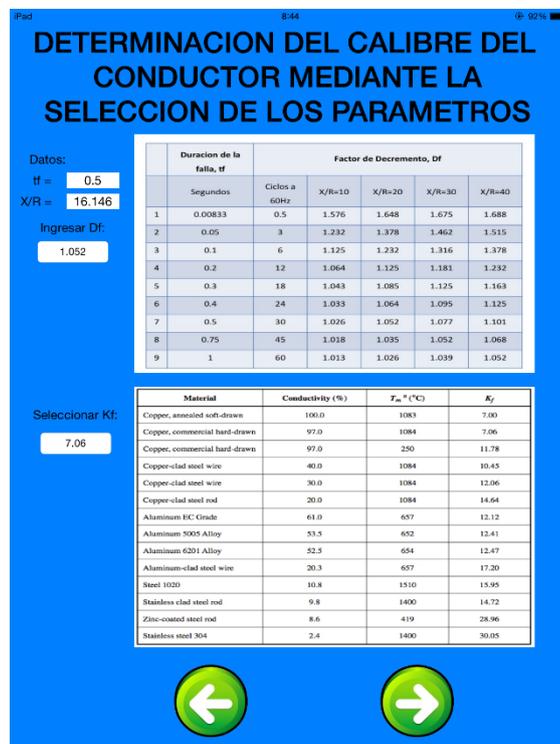


Figura 3.18. Visualización 2 del funcionamiento de la aplicación.



Figura 3.19. Visualización 3 del funcionamiento de la aplicación.



Figura 3.20. Visualización 4 del funcionamiento de la aplicación.

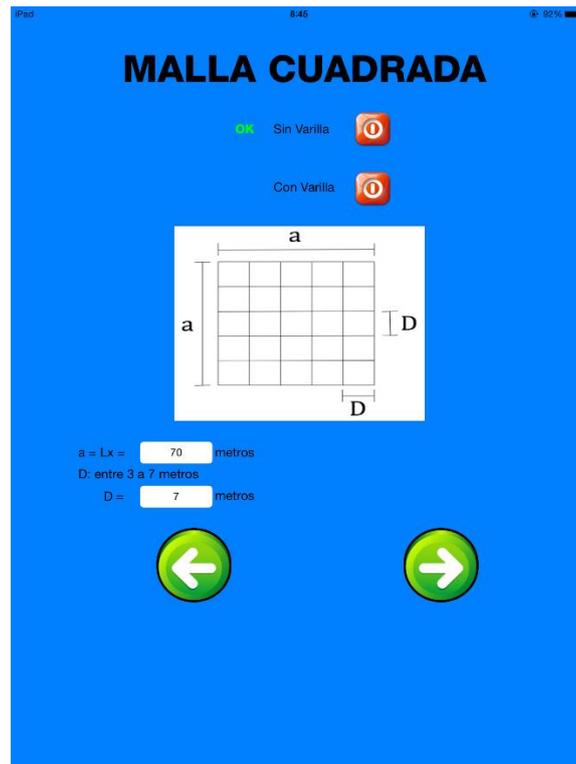


Figura 3.21. Visualización 5 del funcionamiento de la aplicación.



Figura 3.22. Visualización 6 del funcionamiento de la aplicación.

iPad 8:45 92%

MALLA CUADRADA RESULTADO DEL DISEÑO

Proyecto: Malla para el caso A
 Projectista: Edwin Flores

Sin Varilla

3lo (AV) =	3179.757	A	lg =	2007.063	A
X/R =	3.333		GPR =	5570.992	V
3lo (BV) =	6815.186	A	Km =	0.895	
X/R =	16.146		Kh =	1.225	
Calibre conductor =	2/0	awg	Ki =	2.272	
Seccion conductor =	67.43	mm2	Kii =	0.570	
Diametro conductor =	10.5	mm	n =	11.000	
Cs =	0.743		Ks =	0.406	
Rg =	2.776	ohm			

Vtoque =	840.667	V	>	Vmalla =	1059.476	V	Incorrecto
Vpaso =	2696.573	V	>	Vpiso =	641.384	V	Correcto



Guardar



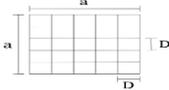


Figura 3.23. Visualización 7 del funcionamiento de la aplicación.

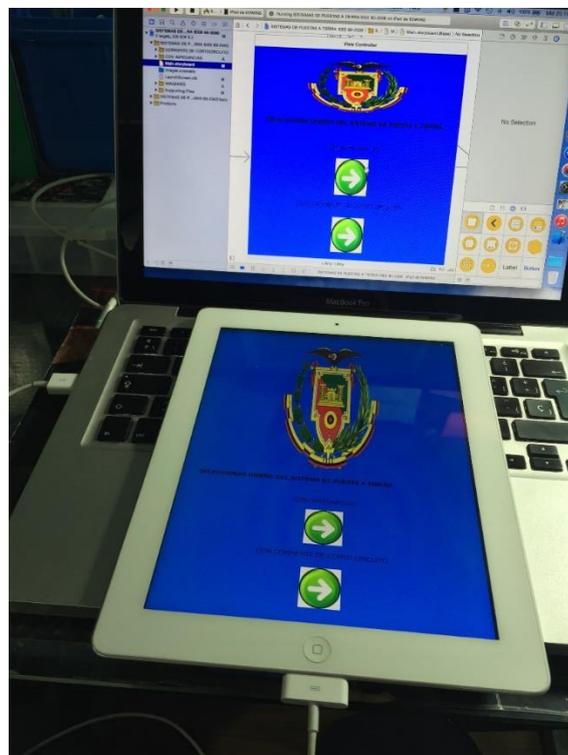


Figura 3.24. Visualización 8 del funcionamiento de la aplicación.

3.10.1 TABLAS DE RESULTADOS

En las siguientes tablas se va a realizar una comparación entre casos realizados por la aplicación y los propuestos en este proyecto tomando en cuenta, el número de decimales que se va a emplear para el cálculo y tomando en cuenta solo el cortocircuito directamente para el diseño y la influencia para el cálculo para obtener los resultados si hay variaciones o no.

En el primer Caso A no se cumple las condiciones con lo cual se muestra los resultados y de tal manera se puede realizar una rectificación para que cumplan las condiciones de diseño.

Tabla 3.1. CASO A.

Nº	PARÁMETROS	IMPEDANCIAS	APP CC	APP
1	3Io AV	3180	3180	3179.757
2	X/R AV	3.33		3.333
3	3Io BV	6814	6814	6815.186
4	X/R BV	16.2		16.146
5	Calibre Conductor	2/0	2/0	2/0
6	Cs	0.74	0.743	0.743
7	Vpaso	2686.58	2696.573	2696.573
8	Vtoque	838.2	840.667	840.667
9	Rg	2.78	2.776	2.776
10	Ig	2007.2	1908	2007.063
11	GPR	5580	5296.023	5570.992
12	Km	0.89	0.895	0.895
13	Kh	1.225	1.225	1.225
14	Ki	2.272	2.272	2.272
15	Kii	0.57	0.57	0.57
16	n	11	11	11
17	Vmalla	1054.21	1007.183	1059.476
18	Ks		0.406	0.406
19	Vpiso		609.727	641.384

En el caso B con referencia al caso A, se realizó cambios incluyendo varillas para que cumpla las condiciones de diseño con lo cual se obtiene los resultados deseados y si se desea realizar una modificación para reducir costos si fuera el caso.

Los valores son modificados bien al inicio de la aplicación o en el tipo de malla que se desee realizar para el diseño de la malla de puesta a tierra.

Tabla 3.2. CASO B.

Nº	PARÁMETROS	IMPEDANCIAS	APP CC	APP
1	3Io AV	3180	3180	3179.757
2	X/R AV	3.33		3.333
3	3Io BV	6814	6814	6815.186
4	X/R BV	16.2		16.146
5	Calibre Conductor	2/0	2/0	2/0
6	Cs	0.74	0.743	0.743
7	Vpaso	2686.58	2696.573	2696.573
8	Vtoque	838.2	840.667	840.667
9	Rg	2.75	2.753	2.753
10	Ig	2007.2	1908	2007.063
11	GPR	5519.8	5252.037	5524.721
12	Km	0.89	0.777	0.777
13	Kh	1.225	1.225	1.225
14	Ki	2.272	2.272	2.272
15	Kii	1	1	1
16	n	11	11	11
17	Vmalla	786.28	753.860	793
18	Ks	0.406	0.406	0.406
19	Vpiso	577.46	549.111	577.621

En el caso C con datos del caso A, se realizó el cambio de malla de cuadrada a rectangular con varillas con lo cual se obtiene los resultados deseados y si se desea realizar una modificación para reducir costos si fuera el caso.

Los valores son modificados bien al inicio de la aplicación o en el tipo de malla que se desee realizar para el diseño de la malla de puesta a tierra.

Tabla 3.3. CASO C.

Nº	PARÁMETROS	IMPEDANCIAS	APP CC	APP
1	3Io AV	3180	3180	3179.757
2	X/R AV	3.33		3.333
3	3Io BV	6814	6814	6815.186
4	X/R BV	16.2		16.146
5	Calibre Conductor	2/0	2/0	2/0
6	Cs	0.74	0.743	0.743
7	Vpaso	2686.58	2696.573	2696.573
8	Vtoque	838.2	840.667	840.667
9	Rg	2.62	2.619	2.619
10	Ig	2007.2	1908	2007.063
11	GPR	5258.8	4996.186	5255.586
12	Km	0.77	0.772	0.772
13	Kh	1.225	1.225	1.225
14	Ki	2.272	2.323	2.323
15	Kii	1	1	1
16	n	11.35	11.344	11.344
17	Vmalla	626.8	597.435	628.453
18	Ks	0.41	0.406	0.406
19	Vpiso	488.13	459.436	483.290

En el caso D con datos del caso A, se realizó el cambio de malla de cuadrada a una en tipo L con varillas con lo cual se obtiene los resultados deseados y si se desea realizar una modificación para reducir costos si fuera el caso.

Los valores son modificados bien al inicio de la aplicación o en el tipo de malla que se desee realizar para el diseño de la malla de puesta a tierra.

Tabla 3.4. CASO D.

Nº	PARÁMETROS	IMPEDANCIAS	APP CC	APP
1	3Io AV	3180	3180	3179.757
2	X/R AV	3.33		3.333
3	3Io BV	6814	6814	6815.186
4	X/R BV	16.2		16.146
5	Calibre Conductor	2/0	2/0	2/0
6	Cs	0.74	0.743	0.743
7	Vpaso	2686.58	2696.573	2696.573
8	Vtoque	838.2	840.667	840.667
9	Rg	2.74	2.744	2.744
10	Ig	2007.2	1908	2007.063
11	GPR	5499.73	5235.311	5507.127
12	Km	0.76	0.763	0.763
13	Kh	1.225	1.225	1.225
14	Ki	2.45	2.443	2.443
15	Kii	1	1	1
16	n	11	12.158	12.158
17	Vmalla	800.7	762.116	801.685
18	Ks	0.41	0.406	0.406
19	Vpiso	604.45	567.707	597.182

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Una aplicación realizada en el software nativo del dispositivo móvil, siempre resulta ser más eficiente que al realizar en un aplicativo web o de un desarrollador desconocido, pues la navegación a través del mismo es transparente para el usuario, y es a su vez más fácil si se desea realizar cambios a futuro de la aplicación.
- Con el desarrollo de la presente aplicación se ha conseguido realizar un diseño de sistemas de puestas a tierra eficiente tanto para el estudiante, como para el profesional en el ámbito laboral, ya que es una manera muy fácil de diseñar y obtener resultados rápidos.
- Al programar en Objective C, se toma en cuenta los conocimientos adquiridos en C ya que no cambia mucho la forma de programar y declarar objetos, pero se debe tomar en cuenta los cambios para que la programación resulte mucho más fácil y tener mucho cuidado al declarar las variables ya que depende del programa se pueden ocupar muchas como pocas variables.
- El uso de dispositivos móviles en la actualidad aumenta la creación de aplicaciones, ya que el usuario no necesita de un gran equipo computacional, para poder realizar un diseño y cálculos de un determinado sistema a realizar.
- Para poder realizar la compilación de la aplicación con el dispositivo móvil se requiere del programa nativo para no tener fallas, como en este caso utilizamos XCode mediante un cable de datos y utilizamos la entrada USB de la computadora.
- La aplicación puede tener varias versiones depende que se quiera aumentar o mejorar a futuro para obtener más resultados y esta pueda ser ocupada para más usuarios que estén enseñando o diseñando sistemas de puesta a tierra.
- Los cálculos realizados por la aplicación pueden variar ya que se tomó hasta tres decimales para obtener los resultados para el diseño, se puede modificar si fuera el caso para obtener resultados enteros si no se desea trabajar con decimales.
- En algunos pasos se tomó en cuenta las ecuaciones y no las figuras ya que las ecuaciones son más exactas a comparación de las figuras mencionadas en el diseño.
- En el diseño de mallas de puesta a tierra se pueden realizar muchos cambios tanto para cumplir las condiciones de diseño como la reducción del tipo de calibre, la

profundidad que se va a enterrar la malla, además de que tipo de cobre desnudo se pueda utilizar.

- En el cálculo para determinar el diseño de mallas de puesta a tierra el factor de decremento para el cálculo del área del conductor se asume el valor de 1 en el caso si se elige por corriente de cortocircuito.

4.2 RECOMENDACIONES

- Este trabajo de diseño e investigación constituye una base de conocimientos y preparación para futuros proyectos que considero los nuevos estudiantes puedan ocuparlo para mejorar y conseguir acciones que puedan facilitar el estudio y mejorar la calidad de vida para otras personas, así como se realizó este proyecto.
- Cabe recalcar que este proyecto no es necesario la utilización de internet para el funcionamiento de la aplicación y se puede obtener mejoras para enviar los resultados a otras aplicaciones o a una página web si fuera el caso.
- Al desarrollar una aplicación móvil es muy importante tener en cuenta siempre utilizar una programación óptima, ya que los dispositivos móviles cuentan con limitado hardware lo que puede afectar el desempeño de la aplicación.
- Para un futuro proyecto utilizando esta tecnología, se puede realizar una aplicación para el diseño de redes subterráneas como para instalaciones eléctricas domiciliarias.
- Si desea obtener resultados más exactos es recomendable trabajar con tres decimales o más si fuese el caso, pero tomando en cuenta para donde se va aplicar el diseño.
- Si en algún caso no se cuente con los datos para la utilización de ecuaciones sino de figuras es recomendable tener unas figuras nítidas y en mayor escala para tomar datos más fiables para el diseño.
- El factor de decremento se lo puede uno asumir dependiendo de las condiciones para el diseño este puede ser 1 o ver uno que cumpla con el tiempo de falla y seleccionar uno aproximado.
- Por lo general la norma IEEE 80-2000 toma como valor mínimo de construcción el valor del calibre del conductor 2/0 AWG para subestaciones.

- Tomar en cuenta la reducción de material para la construcción de la malla de puesta a tierra s se puede reducir varillas o cable en la construcción para obtener las condiciones correctas de diseño.
- En algunos casos donde se encontraron varillas de puesta a tierra separadas para transformador y pararrayos se recomienda la unión de las mismas, para además de disminuir la resistencia de puesta a tierra evitar que se produzcan diferencias de potencial que dañen al transformador, consiguiendo así un mismo nivel de referencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. N. M. ORIHUELA, «<http://cybertesis.uni.edu.pe>,» [En línea]. Available: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/913/1/moreno_od.pdf. [Último acceso: 15 Marzo 2015].
- [2] R. H. C. M. C. R. M. A. Christian José Barahona Abrego, «<http://www.uae.edu.sv>,» [En línea]. Available: <http://www.uae.edu.sv/DOC%20BIBLIOTECA/Documentos/T-40Ere.pdf>. [Último acceso: 12 Marzo 2015].
- [3] I. P. & E. Society, «IEEE guide for safety in AC substation grounding,» IEEE Power & Energy Society, 2000. [En línea]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=6948>. [Último acceso: 15 01 2015].
- [4] J. S. Ramírez Castaño y E. A. Cano Plata, «<http://es.slideshare.net>,» 2010. [En línea]. Available: <http://es.slideshare.net/javierramirezvera1/calculo-completo-de-puesta-a-tierra>. [Último acceso: 11 02 2015].
- [5] C. R. A. O. Marco Vinicio Cajamarca Curillo, «dspace.ucuenca.edu.ec,» [En línea]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/694/1/te326.pdf>. [Último acceso: 12 Enero 2015].
- [6] G. O. P. Petrazzini, «<http://exa.unne.edu.ar/>,» [En línea]. Available: http://exa.unne.edu.ar/depar/areas/informatica/SistemasOperativos/Sistemas_Operativos_en_Dispositivos_Moviles.pdf. [Último acceso: 04 02 2015].
- [7] «Evolving Blog,» [En línea]. Available: <https://evoldig.wordpress.com/2013/05/16/>. [Último acceso: 15 Febrero 2015].
- [8] danielfdz2011, «wordpress.com,» [En línea]. Available: <https://danielfdz2011.wordpress.com/>. [Último acceso: 10 Febrero 2015].
- [9] «<http://www.hs-it.com.ar>,» [En línea]. Available: <http://www.hs-it.com.ar/movil/ios.htm>. [Último acceso: 24 Febrero 2015].
- [10] V. Morenilla, «<https://victormorenilla.wordpress.com>,» [En línea]. Available: <https://victormorenilla.wordpress.com/sistema-ios/>. [Último acceso: 28 Febrero 2015].
- [11] «muypymes,» [En línea]. Available: <http://www.muypymes.com/2009/05/14/cual-es-el-mejor-ssoo-para-móviles>. [Último acceso: 17 Febrero 2015].

- [12] «ElectroCables,» [En línea]. Available: <http://electrocable.com/productos/cobre/cobre-desnudo.html>. [Último acceso: 24 Febrero 2015].
- [13] E. P. Palafox, «Prezi,» [En línea]. Available: <https://prezi.com/xmgzbuo9r85n/copy-of-modelado-de-un-programa-computacional-para-el-diseno-de-mall/>. [Último acceso: 06 Febrero 2015].
- [14] Codigo Facilito, «Codigo Facilito,» [En línea]. Available: <https://codigofacilito.com/>. [Último acceso: 10 02 2015].
- [15] «MARMALADE,» [En línea]. Available: <https://www.madewithmarmalade.com>. [Último acceso: 12 01 2015].
- [16] APPLE INC, «APPLE,» [En línea]. Available: <https://www.apple.com/es/ipad>. [Último acceso: 02 02 2015].
- [17] R. R. Levy, *Diseño, proyecto y montaje de instalaciones electricas seguras*, Buenos Aires, 2007.
- [18] F. L. Hernández, de *Objective-C, Curso Práctico para Programadores Mac OSX, iPhone y iPad*, Madrid, Grupo RC, 2012, pp. 17-18.
- [19] D. M. Bernao, de *Iniciate en tablets e internet*, Madrid, Altaria Editorial, 2012, pp. 52-53.
- [20] F. J. Salazar Jara, *Tutorial de desarrollo y distribucion de aplicaciones para dispositivos iOS utilizando el IDE XCODE*, Cuenca: Universidad del Azuay - Facultad de Ciencias de la Administración - Escuela de Ingeniería de Sistemas, 2013.
- [21] F. Aviléz, *Optimización del cálculo de mallas de puesta a tierra en suelos no homogéneos*, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 1978.
- [22] G. Enriquez, *Fundamentos de instalaciones de mediana y alta tensión*, Mexico: Limusa, 2006.

ANEXOS