

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACION DE TECNOLOGOS

**CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DIDACTICO PARA MEDIR LA
RESISTIVIDAD DEL TERRENO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGA
ELECTROMECHANICA**

VIVIANA SULINDA SAMANIEGO ORDÓNEZ
twicemore@hotmail.com

DIRECTOR: Ing. MARCO TORRES
marantorna@hotmail.com

Quito, Diciembre 2008.

II

DECLARACIÓN

YO, Viviana Sulinda Samaniego Ordóñez, juramento que el presente trabajo es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mi derecho de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Viviana Sulinda Samaniego Ordóñez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita: Viviana Sulinda Samaniego Ordóñez, bajo mi supervisión.

Ing. Marco Torres Navarro
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Gracias Díos por haberme dado la vida, por caminar junto a mi día a día, por darme salud y la entereza para luchar, y poder cumplir este sueño tan anhelado.

A la Escuela Politécnica Nacional, que por intermedio de la ESFOT me dio la oportunidad de formarme en tan ilustres aulas.

A mi director, el Ingeniero Marco Torres por su valioso aporte, su tiempo y orientación en el desarrollo de este proyecto.

A todos mis maestros, por su paciencia y esmero, al transmitir sus conocimientos y sabiduría para hacer de mi persona una profesional íntegra.

A mi tía Elda y a mi tía Norita por su constante preocupación y apoyo, a todos mis primos por su apoyo, a mis compañeros por su ayuda y a todos mis amigos, en especial a Vivien porque sin ellos hubiese sido imposible este largo camino.

Viviana

DEDICATORIA

Con todo mi cariño e infinito amor a mis padres Noris y Enrique porque a pesar de las adversidades, su amor, paciencia, esfuerzo e incondicional apoyo ha sido el aliento y la fuerza para alcanzar esta meta y hacer de mi una persona y profesional integra.

A mi hermano, Antonio, y a todos mis familiares que recorren junto a mí el largo sendero de la vida, brindándome su confianza y apoyo incondicional.

Viviana.

ÍNDICE

DECLARACIÓN.....	II	
CERTIFICACIÓN.....	.III	
AGRADECIMIENTO.....	IV	
DEDICATORIA.....	V	
ÍNDICE.....	VI	
RESUMEN.....	VII	CAPITULO
1: INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA.....	1	
1.1 ILUMINACION.....	1	
1.2 SISTEMAS DE TIERRA PARA FUERZA.....	2	
1.3 SALIDAS ESPECIALES.....	3	
1.4 PUESTA A TIERRA EN EDIFICIOS.....	4	
1.4.1 ELEMENTOS A CONECTAR A LA TOMA A TIERRA.....	4	
1.4.2 COMPONENTES DE LA CONEXIÓN DE TOMAS DE TIERRA EN EDIFICIO.....	4	
1.5 PUESTA A TIERRA DE SISTEMAS INFORMATICOS.....	9	
1.5.1 PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS ELECTRONICOS.....	10	
1.6 APARTARRAYOS PARA EDIFICIOS.....	13	
1.6.1 DISEÑO GENERAL DE UNA INSTALACION CONTRA EL RAYO.....	15	
1.6.2 TIPOS DE PARARRAYOS.....	17	
1.6.3 SISTEMAS DE PROTECCION DE EDIFICIOS E INSTALACIONES SINGULARES.....	19	
1.6 CONCLUSIONES.....	21	
CAPITULO 2: SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.....	25	
2.1 DEFINICION.....	25	
2.2 TIPOS PRINCIPALES DE PUESTA A TIERRA.....	26	
2.2.1 PUESTA A TIERRA DE PROTECCION.....	26	
2.2.2 PUESTA A TIERRA UNCIONAL DE SERVICIO.....	26	
2.3 ELEMENTOS DE LOS SISTEMEMAS DE PUESTA A TIERRA.....	27	
2.3.1 TOMAS DE TIERRA.....	28	

2.3.2 LA INSTALACION DE TIERRA.....	29
2.4 MATERIALES DE PUESTA A TIERRA.....	30
2.4.1 ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA.....	30
2.4.2 ELECTRODOS ARTIFICIALES.....	32
2.4.3 MALLAS DE TIERRA.....	37
2.5 TRATAMINETO DEL TERRENO Y CORROSION	
DE LAS TOMAS DE TIERRA.....	39
2.5.1 EL TERRENO.....	39
2.5.2 RESISTIVIDAD DEL TERRENO.....	40
2.5.3 GENERALIDADES SOBRE LA CORROSION.....	43
2.5.3.1 Comportamiento de la corrosión de los metales	
Normalmente utilizados como electrodos de tierra.....	44
2.5.3.2 Protección catódica.....	45
2.5.3.2.1 <i>Protección catódica con ánodos galvánicos.....</i>	<i>46</i>
2.5.3.2.2 <i>Protección catódica con corriente impresa.....</i>	<i>50</i>
CAPITULO 3: METODOS PARA MEDIR LA RESISTIVIDAD DEL	
SUELO.....	52
3.1 UNIDADES DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.....	52
3.2 RESISTIVIDAD APARENTE(pa).....	56
3.3 MEDICION DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO.....	56
3.3.1 METODO DE CAIDA DE POTENCIAL.....	57
3.3.1.1 Método de Wenner.....	59
3.3.1.2 Método de Schlumberger.....	62
3.3.1.3 Métodos con dipolos.....	64
CAPITULO 4: CONSTRUCCION DE UN APARATO PARA	
MEDIR LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.....	67
4.1 DATOS TECNICOS.....	67
4.2 CARACTERISTICAS.....	67
4.2.1 ESPECIFICACIONES.....	67
4.2.2 CARACTERISTICAS GENERALES.....	68
4.3 GENERALIDADES.....	68
4.4 PRINCIPIO DE MEDIDA.....	69
4.4.1 TECNICA SPWM.....	70

4.4.2 DISEÑO ELECTRONICO.....	70
4.4.2.1 Microcontrolador AT 89C52.....	70
4.4.2.2 Aplicaciones del microcontrolador AT89C52.....	71
4.4.2.3 Programa del microcontrolador.....	71
4.4.2.4 Circuito de acondicionamiento para la señal sinusoidal de la fuente.....	73
4.4.3 AMPERIMETRO.....	78
4.5 MANUAL DEL USUARIO.....	78
4.6 LCD (DISPLAY DE CRISTAL LÍQUIDO).....	79
4.6.1 INTRODUCCION AL LCD.....	79
4.7 CONTRASTACION.....	80
4.7.1 TEORIA DE ERRORES.....	81
4.8 VALORES OBTENIDOS DE RESISTIVIDAD EN FUNCION DE LA FRECUENCIA.....	82
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
ANEXOS.....	86

RESUMEN

Constituye un factor de gran importancia conocer el valor de la resistividad del suelo para determinar el sistema de puesta a tierra que requiere cualquier instalación.

En el campo industrial actualmente se emplean instrumentos muy costosos para medir la resistividad del suelo y la manipulación de estos, requieren de bastante cuidado, debido a que su precio es muy elevado. Es por esta razón que se ha tenido la necesidad de implementar un sistema que permita medir la resistividad del terreno, el cual facilitara al estudiante de la Escuela de Formación Tecnológica realizar mediciones sin daños lamentables. Pudiendo analizar en forma práctica la teoría que se imparte en clases.

En este proyecto desde una fuente de corriente alterna circula al electrodo de tierra una corriente I . Esta medida de corriente produce una caída de voltaje por el electrodo a usar. Este instrumento tiene un voltaje de 60 Vpp, la corriente máxima de caída es de 1 A y la frecuencia varía desde 100 Hz hasta 200 Hz en pasos de 25 Hz. Este circuito es alimentado con una fuente de 12 V DC recargable, y gracias a la técnica SPWM que es el método de control electrónico para la conversión de una onda continua a una onda alterna sinusoidal con variaciones en frecuencia. El amperímetro a usar para determinar la corriente que circula viene dado en escala de mA.

CAPITULO 1

INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

Se considera como Tierra Eléctrica o Tierra Física a la protección del patrimonio y protección humana, mediante una conexión de seguridad diseñada para equipos electrónicos y eléctricos como medio de protección contra disturbios o transitorios inestimables (descargas electrostáticas, descargas atmosféricas, interferencia electromagnética y errores humanos).

El nombre de Puesta a Tierra se da por el hecho de que, en la práctica se debe realizar una conexión de resistencia muy baja desde el sistema eléctrico hasta la tierra física.

Técnicamente una “Instalación De Puesta A Tierra” es el conjunto formado por un electrodo de tierra y el alambre de las barras colectoras del neutro en el panel de servicio (línea de tierra de una instalación eléctrica). La puesta a tierra sirve para tener la misma referencia tanto el usuario como la empresa eléctrica, una diferencia de potencial de 0 voltios.

1.1 ILUMINACION

Tanto en instalaciones domésticas como en instalaciones industriales se realiza la puesta a tierra de las estructuras metálicas como sistema de protección contra electrocución de las personas, ya que pueden estar sometidas involuntariamente a una tensión peligrosa.

La puesta a tierra sirve también como protección y servicio. Debido a la importancia como medios de protección, los sistemas de puesta a tierra se encuentran normalizados. En el Ecuador la norma vigente es NON-001-SEDE-1999 (1.3) que en el artículo: 2.1.3 Equipo Fijo Específico {250-43} establece que “Todas las partes metálicas no conductoras de corriente de varias clases de equipos, no importando voltajes, deben ser puestas a tierra”. Y de esta norma se

detalla en el literal f. que se deben poner a tierra todos los Anuncios luminosos y equipos asociados.

1.2 SISTEMAS DE TIERRA PARA FUERZA

Este sistema se utiliza para conectar a tierra todos los elementos de la instalación que trabajando en condiciones normales de operación no están sujetos a tensiones, pero que pueden tener diferencia de potencial con respecto a tierra a causa de fallas accidentales en los circuitos eléctricos.

También es necesario conectar a tierra todos los puntos de la instalación eléctrica con el fin de proporcionar mayor seguridad, mejor funcionamiento, y regularidad en la operación, y además deberán conectarse a tierra sin excepción, los elementos sujetos a corrientes eléctricas importantes de cortocircuito y sobretensiones en condiciones de falla. Para esto se usará tomacorrientes dobles polarizados, como se muestran en la figura 1.1:

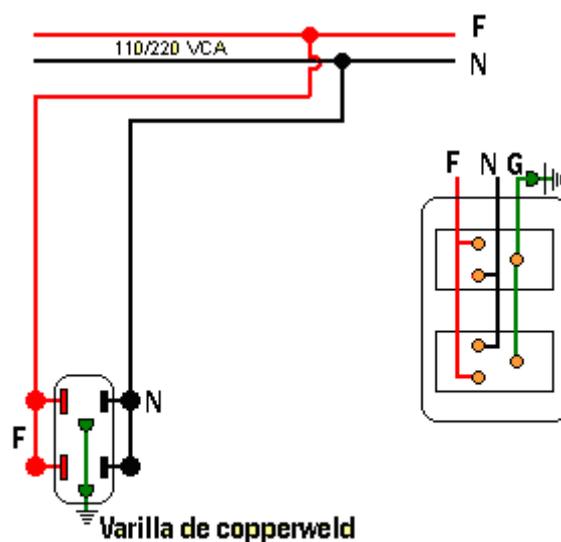


Fig. 1.1. Tomacorriente Polarizado

Este tipo de tomacorrientes es recomendable para aparatos que necesiten una adecuada protección contra sobrecargas y descargas atmosféricas. Y se caracteriza por tener tres puntos de conexión, positivo, negativo y neutro.

Para la conexión de los tomacorrientes polarizados según las normas, los cables se deben conectar de la siguiente manera:

ROJO: Este debe de conectarse al positivo de la instalación eléctrica.

NEGRO: Este debe de conectarse a la línea negativa de la instalación eléctrica.

VERDE: Este corresponde a la tierra física de la instalación eléctrica.

1.3 SALIDAS ESPECIALES

➤ Bomba de agua, Calentador de agua para uso doméstico

Todas las casas demandan un suministro continuo de agua caliente usando termostatos o duchas.

En duchas y termostatos se realiza la conexión a tierra mediante un conductor separado flexible de calibre un número menos que la fase y conectado a una varilla cooperweld.

➤ Secadora, abridores superiores de la puerta del garaje

Las secadoras demandan una cantidad comparativamente grande de energía, clasificadas como de 120/420 voltios, 4700watts. De modo que también requieren un circuito especial y su conexión a tierra se realiza con conduit metálico flexible de calibre un número menos que la fase y conectado a una varilla cooperweld.

Para los abridores superiores de la puerta del garaje también se proporciona un circuito especial, pero únicamente tienen protección de sobrecorriente.

➤ Eliminador de desperdicios y secadoras de platos

El eliminador de desperdicios y la secadora de platos se conectan a tierra por medio del blindaje metálico del cable blindado o de un conductor separado para conexión a tierra del cable con recubrimiento no metálico.

1.4 PUESTA A TIERRA EN EDIFICIOS

1.4.1 ELEMENTOS A CONECTAR A LA TOMA A TIERRA

Se deben conectar a tierra, las siguientes instalaciones y elementos en los edificios (según Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IEP):

- ✓ Enchufes eléctricos y masas metálicas de baños y aseos (NTE-IEB: Baja Tensión).
- ✓ Instalaciones de calderos, depósitos, calefacción y gas, guías de aparatos elevadores y en general, todo elemento metálico importante, según (según Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IEB: Baja Tensión).
- ✓ Instalaciones de pararrayos; (según Norma Tecnológica de la Edificación NTE-IPP: Pararrayos).
- ✓ Soportes de hormigón y armaduras de muros, y estructuras metálicas.
- ✓ Instalaciones de antenas colectivas de TV y FM para edificios con más de 10 viviendas y con un número mayor a cuatro plantas.

1.4.2 COMPONENTES DE LA CONEXIÓN DE TOMAS DE TIERRA EN EDIFICIOS

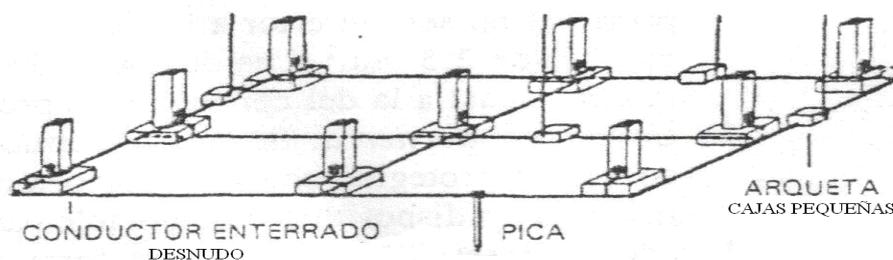


Fig. 1.2. Componentes de la conexión de tomas de tierra

- Un conductor enterrado desnudo en forma de anillo, que siguiendo el perímetro del edificio conectará todas las puestas a tierra ubicadas en el interior del edificio. Situado en zanja a una profundidad mínima de 80cm.

- Un conjunto de picas de puesta a tierra, que en un edificio se calcula según la longitud $L(m)$ en planta del anillo de la conducción enterrada, la naturaleza del terreno y la existencia de instalación de pararrayos (según la Norma Tecnológica de la Edificación NTE IEP).
- Puntas de puesta a tierra, ubicadas en cajas pequeñas, para conexión de las líneas principales de tierra.
- Pletina de puesta a tierra, para realizar la conexión de los elementos que deben ponerse a tierra.

De estos elementos describiremos el punto de puesta a tierra y pletina de puesta a tierra, ya que en el capítulo posterior se estudiará con más detalles los electrodos y las picas de puesta a tierra.

Punto de puesta a tierra. Es el punto de unión entre la toma de tierra propiamente dicha y la puesta a tierra del edificio, ver figura 1.3. Fundamentalmente debe estar formado por un sistema que permita la rápida desconexión y conexión de la toma de tierra, con el objeto de independizar el circuito de tierra del edificio y, realizar mediciones de la resistencia de puesta a tierra.

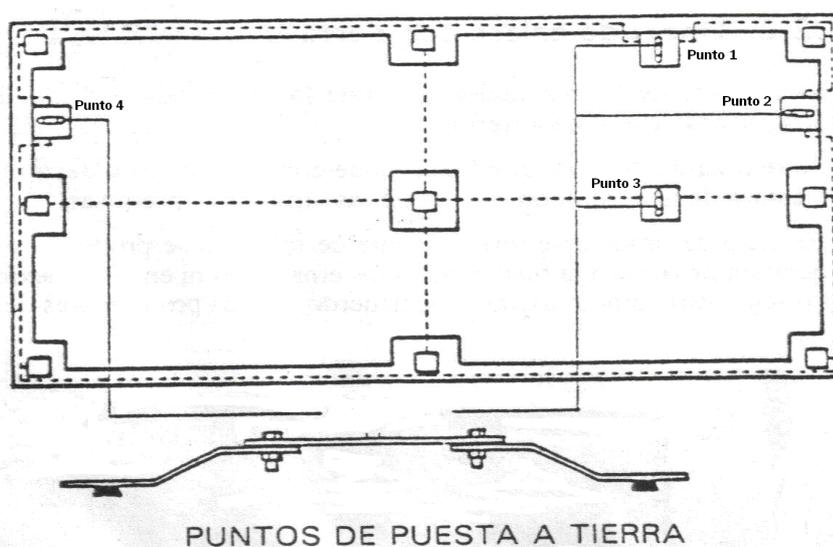


Fig. 1. 3. Puntos de puesta a tierra

Se calcula que al menos deben existir cinco puntos de puesta a tierra distribuidos por el perímetro del edificio, para conectar a él todos los elementos o puntos esenciales de la puesta a tierra de un edificio de viviendas. Estos se colocarán en lugares esenciales como son:

- En el punto de ubicación de la Caja General de Protección o en el cerco metálico donde está ubicada esta.
- En los patios de luces donde se conectarán, los elementos que tengan la misma diferencia de potencial de cuartos de baños y aseo.

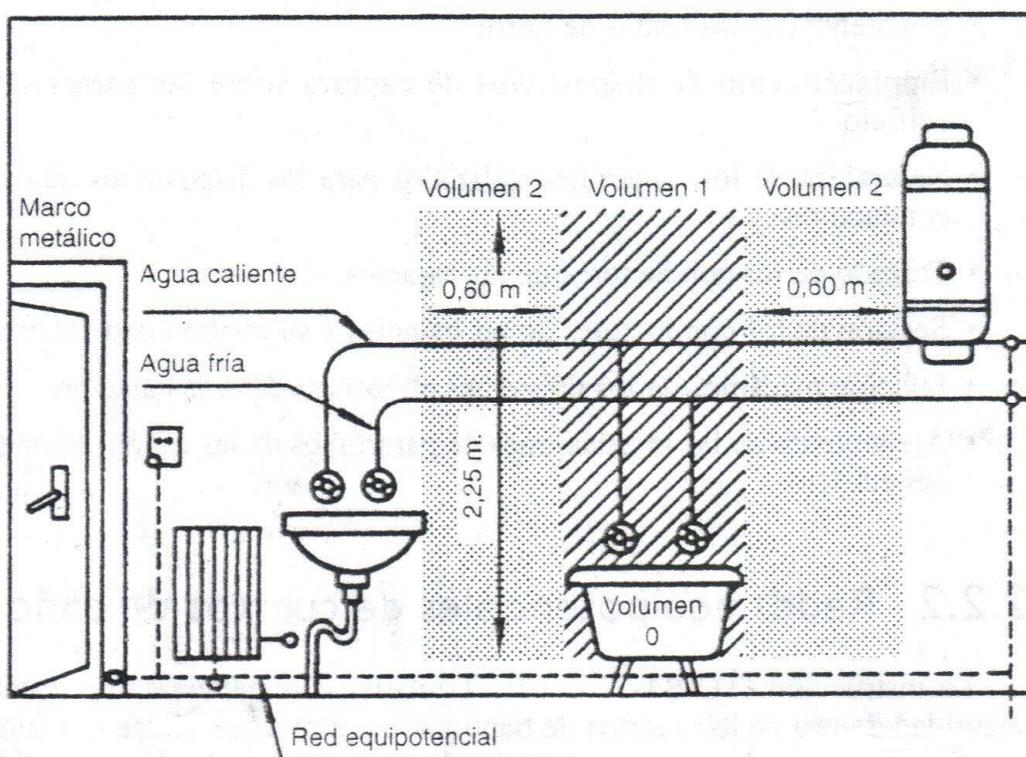


Fig.1. 4. Redes equipotenciales de cuartos de baño

- En la base de la estructura metálica de los elevadores.
- Cerca de las centralizaciones de los contadores.

Línea principal de tierra. Esta formada por un conductor de cobre desnudo, que parte de los puntos de puesta a tierra del edificio y se conecta con las

derivaciones de la línea principal de tierra que conecta las masas de los aparatos y elementos metálicos de una instalación.

El conductor siempre será de cobre, se dimensionará con la máxima corriente de falla que se prevea (mínimo 16mm² de sección – 6 AWG), seguirá un recorrido lo más corto posible evitando cambios bruscos de dirección, y deben estar protegidas contra la corrosión y el desgaste mecánico.

Derivaciones de las líneas principales de tierra. Son conductores de cobre que unen la línea principal de tierra con los conductores de protección o directamente con los elementos y aparatos metálicos que existen en el edificio.

Conductores de protección. Tienen como objeto asegurar la protección contra los contactos indirectos, son conductores de cobre que unen eléctricamente las masas de una instalación y los aparatos eléctricos con la derivación de la línea principal de tierra.

- 1) *Conductores de protección.* La sección mínima de los conductores de protección se establece en función de los conductores de fase, según la tabla.

Secciones de los conductores de fase o polares de la instalación (mm ²)	Secciones mínimas de los conductores de protección (mm ²)
$S \leq 16$ (6 AWG)	S(*)
$16 < S \leq 35$ (2 AWG)	16 (6 AWG)
$S > 35$ (2 AWG)	S/2

(*): Mínimo 2,5 mm² si los de protección no forman parte de la canalización de alimentación y tienen una protección mecánica.

(*): Mínimo 4 mm² si los conductores de protección no forma parte de la canalización de alimentación y no tienen protección mecánica.

Tabla 1. Conductores de protección

- 2) *Conductores de equipotencialidad.* Para el conductor de equipotencialidad principal la sección del conductor no debe ser inferior a la mitad del mayor conductor de protección, pero mínimo debe ser de 2,5 mm² (14 AWG) si el conductor es de cobre. Y para el conductor de equipotencialidad secundaria la sección del conductor mínima debe ser igual a la del conductor de protección unido a la misma masa.
- 3) *Conductor de tierra.* Este conductor contará con un dispositivo desmontable para medir la resistencia de toma de tierra. Este conductor debe ser de cobre, no protegido contra corrosión y su área mínima debe ser de 25mm² (4 AWG).

Todos los elementos de puesta a tierra constituyen una línea eléctricamente continua, libre de seccionamientos y sin otros elementos en serie.

1.5 PUESTA A TIERRA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

Todo tipo de transmisión y comunicación, incluidos el almacenamiento y manipulación de datos, utiliza la corriente eléctrica de una forma u otra. Entre estos equipos tenemos, a nivel doméstico y comercial: computadoras, sistemas de entretenimiento y, sistemas de comunicaciones, y a nivel industrial: computadoras, sistemas de control y de comunicaciones. Equipos que en forma general, se los puede considerar como equipos electrónicos.

El uso de la electricidad tiene un impacto en el medio que nos rodea, y el mismo puede controlarse si utilizamos pantallas o blindajes (protectores) conectados a una red equipotencial y eficiente acoplada a tierra.

Con un eficiente sistema de tierra se logra incrementar la seguridad, evitar fallas de los sistemas producidos por el incremento del campo magnético, y además optimizar y proteger los sistemas ya instalados.

La mayor causa de fallas se debe a interferencias y, a transitorios que son causados por: (1) las descargas atmosféricas; (2) por las maniobras de interrupción de cargas inductivas o; (3) por descargas electrostáticas.

Interferencia causada por armónicas.- Los armónicos se generan en fuentes de poder de tipo conmutada de computadoras, y en los variadores de frecuencia entre otros lugares. Su efecto en los equipos electrónicos se aminora incrementando calibres de conductores, cambiando el diseño y configuración del transformador de alimentación y, usando filtros activos **Norma Mexicana para conexión NOM-SEDE-001-2005 Instalaciones Eléctricas.**

Interferencia en radiofrecuencia.- La interferencia por radiofrecuencia es causada principalmente por transmisiones radiales. Sin embargo, este tipo de interferencia también es producida por los componentes electrónicos trabajando a altas frecuencias. En los equipos electrónicos su efecto se minimiza con un buen blindaje en cables y en los mismos equipos. Aunque, la mejor manera de acabar con este tipo de interferencia es blindar el ruido directamente en su fuente. Los blindajes mencionados para ser efectivos se deben conectar a la **tierra del sistema** según el Código Eléctrico Nacional ANSI/NFPA 70"

Interferencia electromagnética.- Este tipo de interferencia, se da por el ruido eléctrico que se convierte en voltaje en un sistema eléctrico. Es causada principalmente por transmisiones radiales, y también es producida por los componentes electrónicos trabajando a altas frecuencias.

Este tipo de interferencia en los equipos electrónicos se corrige conectando todo a **una única puesta a tierra del sistema** de acuerdo con los requisitos de la NOM-001-SEDE-2005[1.3]{250-}.

Los blindajes de cables usualmente son de metal sólido o una película plástica metalizada con un alambre guía. Para que sea efectiva la protección de los cables internos contra los tipos de interferencias mencionados arriba, el blindaje debe cubrir los conductores, ser continuo entre los extremos y debe estar bien aterrizado.

En resumen, los efectos en los equipos electrónicos de los transitorios y de gran parte de los tipos de interferencias se eliminan mediante la conexión adecuada de los componentes a una referencia de tierra.

1.5.1. PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS

Las redes de Telecomunicaciones e informáticas. Estaciones Satelitales, Internet, Intranet y Fibra Óptica, deben garantizar la continuidad de servicio como la vida útil de los equipos asociados a estas. Por lo cual requieren para su óptimo desempeño un Sistema de Puesta a Tierra integral que abarque la protección de: USUARIOS, EQUIPOS e INSTALACIONES, ubicándolos a todos sobre un plano equipotencial.

Además del esquema tradicional los equipos electrónicos se pueden aterrizar a través de, Tierra Aislada (IG) que es una técnica usada frecuentemente con equipo electrónico sensible para reducir el ruido de modo común a tierra. La IG está permitida en los E.U. por el Código Nacional Eléctrico (NEC) y en Canadá por el Código Eléctrico Canadiense (CEC). La tierra aislada y la tierra aislada total son una excepción a los requisitos de aterrizados estándares, permitidos exclusivamente "donde se requiera para la reducción de ruido eléctrico" según el Código Nacional Eléctrico (NEC) 250-74 y 250-75.

➤ ESQUEMA DE TIERRA AISLADA

Este esquema es el más usado en la industria, y por la mayoría de los proveedores de equipos electrónicos, porque reduce el ruido de modo común. En este sistema la puesta a tierra del equipo es separada de la puesta a tierra de las canalizaciones, así cualquier corriente espuria no afecta a los equipos así

conectados.

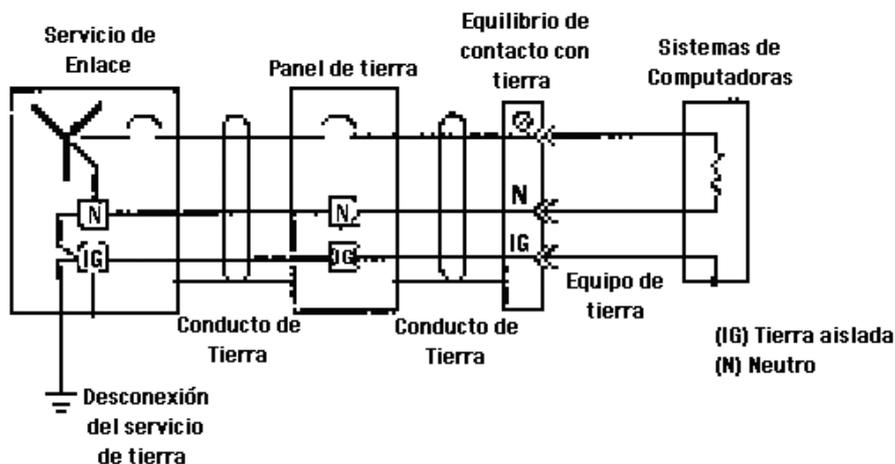


Fig. 1. 5. Esquema de Tierra Aislada

En esta configuración se tiene una conexión a tierra relativamente libre de ruido e interferencia para la referencia lógica de los aparatos y, es complementada con la tierra de seguridad convencional del sistema de tierras de potencia. Pero, tiene las siguientes limitaciones:

- a) En altas frecuencias, la impedancia del conductor de tierra puede ser demasiado alta para servir de buena conexión.
- b) El acoplamiento no intencional de los dos sistemas de tierras (aislado y de puesta a tierra de las canalizaciones) dentro de los aparatos o en sus conexiones a cables blindados, puede causar lazos de corriente, resultando en ruidos electrónicos que inutilizan el sistema aislado. Por ejemplo cuando la impresora está conectada al sistema de tierra normal, y la computadora al sistema de tierra aislado.

➤ ESQUEMA DE TIERRA AISLADA TOTAL

Este esquema consiste en conectar todas las computadoras, los aparatos e instrumentos a tierra usando una configuración de estrella a partir de un solo punto físico, el cual es un cabezal o placa de conexión.

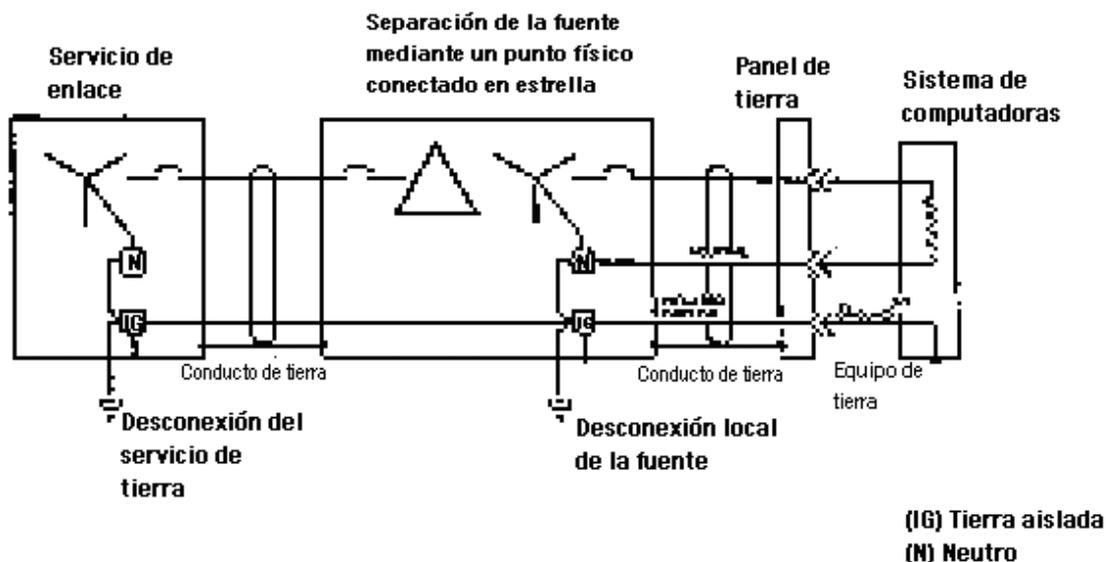


Fig. 1. 6 Esquema de tierra aislada total

Esta configuración es utilizada en los transmisores de comunicaciones (radiodifusión, sitios celulares, etc.), donde es posible tener un mismo punto de puesta a tierra para todos los equipos y para todas las pantallas de los cables.

Pero también tiene limitaciones como:

- Puede ser difícil de crear en un ambiente industrial.
- Todos los equipos cercanos deben conectarse de esta manera a tierra o, se pueden tener lazos de corrientes.
- Puede tener una impedancia en alta frecuencia muy alta, que en términos prácticos, la puesta a tierra sea ineficaz.

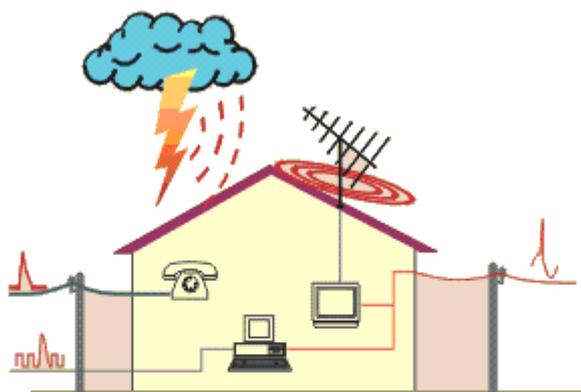
Pero sin importar que métodos se emplee para la puesta a tierra de los equipos electrónicos, la trayectoria de los cables es crucial. Siempre conecte a tierra cada aparato por separado.

El aterrizado de blindajes y el de cables de señal también deben ser parte integral del diseño de sistemas de tierras.

1.6. APARTARRAYOS PARA EDIFICIOS

Se caracteriza como norma universal, la gravedad de las tormentas dependiendo de las condiciones climáticas y montañosas en cada país (nivel isocerámico).

Los rayos ocurren con diferentes intensidades que pueden ser ocasionados por un impacto directo o por causas indirectas. Además pueden alcanzar las instalaciones interiores de hogares, fábricas, comercios, etc., a través de las líneas de conexión del suministro de energía eléctrica, por las líneas de conexión de modems, fax, teléfonos, televisión por cable, y también a través de la estructura metálica de los edificios, ya sea por contacto directo o por inducción, mediante las raíces de los árboles.



Las sobretensiones pueden acceder a nuestros sistemas a través de:

- *Las redes de baja tensión.
- *Las líneas de datos (telefónicas e inalámbricas).
- *Las líneas de alta frecuencia (antenas).
- *Los conductores de conexión a tierra.

Fig. 1. 7 Incidencia de los rayos al interior de de hogares

El sistema encargado de la protección contra el efecto de los rayos debe ser diseñado teniendo en consideración el número de rayos promedio o un número mayor dependiendo del lugar. El objeto de los pararrayos (sistema de protección contra descargas) es:

- Detener el rayo en el punto diseñado para este propósito llamado Terminal aérea.

- Transferir la energía de la descarga a tierra, por medio de un sistema de cables conductores que transfieren energía de la descarga mediante trayectorias de baja impedancia.
- Y finalmente, disipar la energía en un sistema de terminales en tierra (electrodos).



Fig. 1. 8. Protección contra el rayo en edificios

1.6.1. DISEÑO GENERAL DE UNA INSTALACIÓN CONTRA EL RAYO

La Norma Técnica NTE-IPP de 1973 regulariza la instalación de pararrayos desde el punto de vista constructivo.

- Guías de diseño y mantenimiento

Según la Norma Técnica se obliga instalar el pararrayos en:

- Edificios con altura mayor a 43 m.
- Todos los edificios en donde se trabaje con sustancias explosivas, tóxicas, radioactivas o materiales inflamables.
- Todos los edificios cuyo nivel isocerámico (índice de riesgo) sea superior a 27.

Se diseñará el pararrayos de manera que el edificio quede protegido sin importar que sistema de captación tenga, pero comprobando que la resistencia eléctrica desde la cabeza de captación hasta el punto de puesta a tierra no sea superior a 2Ω .

Si se produce una descarga eléctrica repentina, se debe medir la resistencia y comprobar la continuidad eléctrica de la red conductora. Y para fines de mantenimiento, cada cuatro años se debe medir la resistencia de puesta a tierra de la instalación, comprobar el estado de corrosión, limpiar las cabezas de captación y verificar la sujeción del mástil.

- Componentes del sistema de protección contra descargas

Un pararrayos consta de las siguientes partes fundamentales:

- a) Cabeza de captación._ Cuyo objetivo principal es captar la descarga del rayo. Las cabezas pueden ser de acero inoxidable o cobre semi-duro con revestimiento anticorrosivo, deberán protegerse de la oxidación para lograr mayor eficiencia y deben disponer de una pieza de adaptación hecha de latón con rosca para unir el mástil y el soporte de la cabeza de captación.

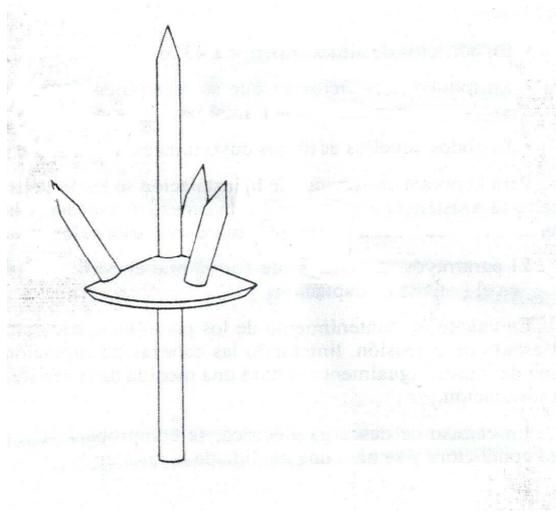


Fig.1. 9. Cabeza de captación

- b) Red conductora o línea principal de tierra._ Se encarga de unir la cabeza del pararrayos con el punto de puesta a tierra. Se deben instalar dos cables por cada pararrayos que deben ser de cobre rígido y de sección mínima de 50 mm^2 (1/0 AWG) con una resistencia inferior a 2Ω . La instalación será vista, parte desde la cabeza de captación

hasta el punto de puesta a tierra siguiendo un camino lo más corto y directo posible, con bajantes rectas y verticales.

- c) Toma de tierra._ Considerada la más importante de la instalación, debido a que se encarga de evacuar a tierra la descarga de origen atmosférico. Según la Norma Técnica NTE-IPP/73 el valor máximo de la resistencia de puesta a tierra debe ser inferior a 15Ω .
- d) Accesorios

1.6.2 TIPOS DE PARARRAYOS

Pararrayos de puntas (Sistema Franklin):

Es el sistema más sencillo y más antiguo de pararrayos, consiste en terminales aéreas de cobre, bronce, y aluminio anodizado terminadas en punta, llamadas puntas Franklin porque su funcionamiento se basa en la teoría de las puntas, colocadas sobre las estructuras a proteger de los rayos. Este sistema se aplica en iglesias, casas de campo, graneros y otras estructuras que tengan salientes destacadas del resto del edificio.

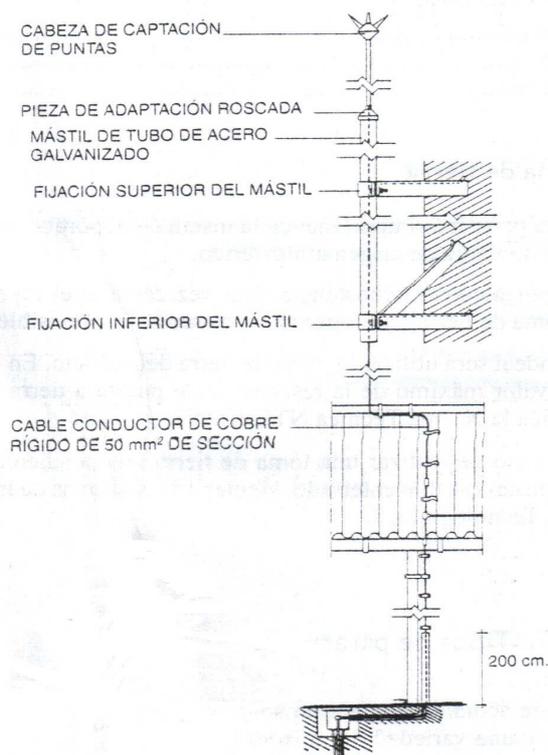


Fig. 1. 10. Pararrayos de puntas – Descripción e instalación

La cabeza de captación de puntas se convierte en un receptor de descargas atmosféricas, las cuales pueden ser canalizadas a tierra de forma segura sin daño para el inmueble o personas dentro de un cono virtual, donde la punta es la misma punta del mástil, y su radio es aproximadamente dos tantos de la altura del mástil.

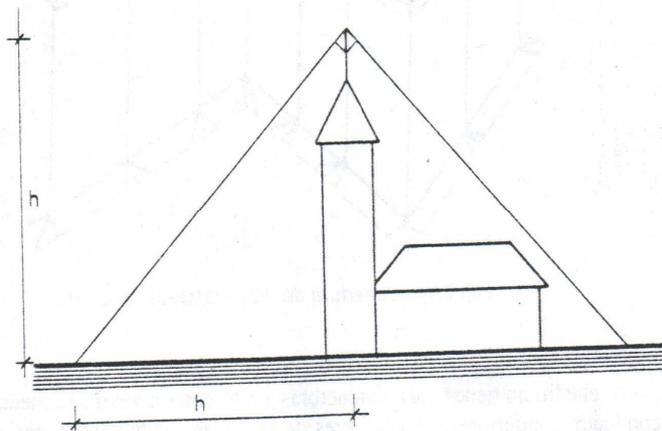


Fig. 1. 11. Cobertura de protección del pararrayos de puntas

Se debe tener presente que en caso de daño de un único mástil durante una tormenta, automáticamente se desvanece la protección.

Pararrayos reticulares (tipo Jaula de Faraday):

Se usa en estructuras grandes y en edificios en los que predomina la superficie en planta sobre la altura, consiste en una red conductora en forma de malla de manera que ningún punto de la cubierta quede a más de 9 metros de un cable conductor. Y la parte perimetral de la malla se debe colocar en las aristas más elevadas del edificio. Cada punto del conductor causa un cono de protección equivalente a los pararrayos de puntas.

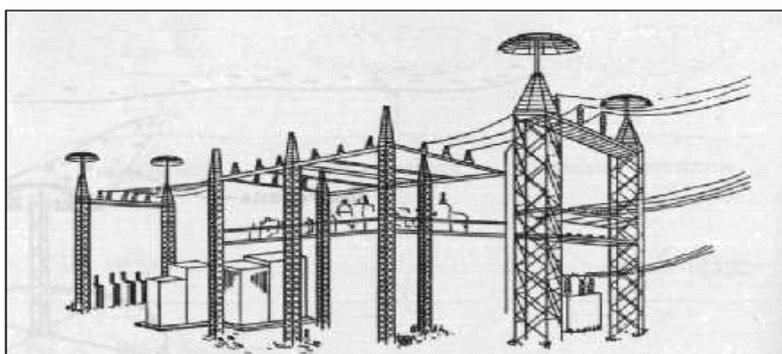


Fig. 1. 12. Jaula de Faraday en Subestaciones Eléctricas

Los edificios modernos con estructura de acero y con varillas embebidas en concreto se acercan al concepto de la jaula de Faraday, y se minimiza el riesgo de que un rayo penetre en un edificio protegido de esta manera.

Se debe tener presente que los rieles de los elevadores no deben ser usados como conductor de bajada de los pararrayos.

1.6.3. SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE EDIFICIOS E INSTALACIONES SINGULARES

a. Chimeneas de fábricas

Las chimeneas son puntos de frecuente caídas de rayos debido a su altura y porque debido a los humos y gases calientes se ioniza el aire.

Si la chimenea tiene una altura de más de 30 metros se deben colocar dos descendentes de evacuación con una toma de tierra cada una, de acero inoxidable y para evitar el humo y vapores corrosivos las puntas deben estar acodadas.

b. Áreas de almacenamiento de productos inflamables o explosivos

Áreas de depósito de hidrocarburos, fábricas químicas, fábricas de pólvora, los depósitos para gases líquidos, etcétera deben estar puestos a tierra.

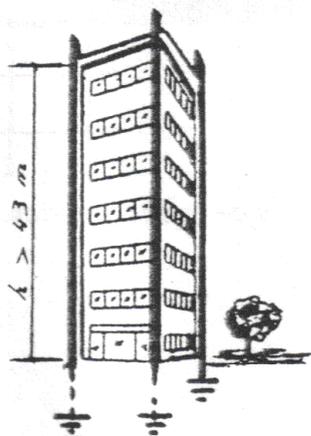


Figura 13. Edificios con alturas superiores a 43 m.

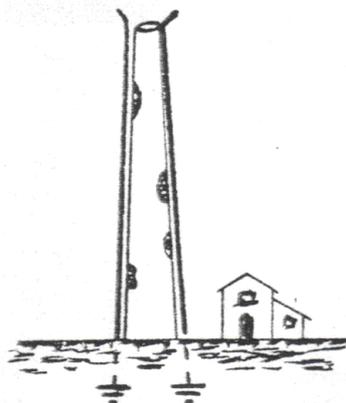


Figura 14. Chimeneas de fábricas

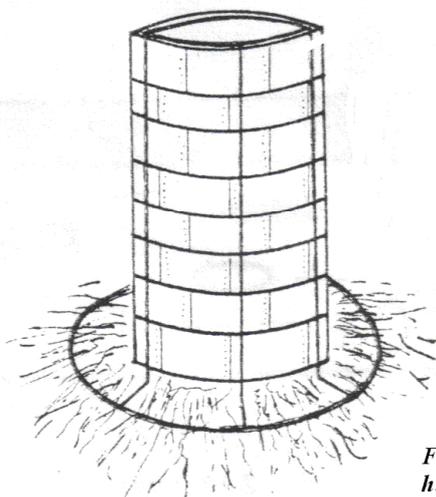


Figura 15. Depósitos de hidrocarburo

c. Iglesias

Frecuentemente se producen caídas de rayos en las iglesias debido a su campanario. Se deben colocar dispositivos de captación unidos a tierra por una descendente directa, y además cruces y estatuas deben estar conectadas de dispositivos de captación.

d. Terrenos deportivos, circuitos de automovilismo, camping, piscinas, campos de caravana, etc.

Deben protegerse mediante pararrayos de punta de cobre niquelado, cromado o acero inoxidable, y pueden alcanzar alturas de 7 a 8 metros.

e. Teleféricos y telesillas

Deben estar puestos a tierra los cables portadores, y los apoyos intermedios deben tener captadores unidos a la tierra del apoyo.

f. Edificios que contienen equipos u objetos cuya destrucción tendría consecuencias irreparables como bibliotecas, museos, archivos, etc.

En estas estructuras se debe tener un cuidadoso estudio de captadores y del sistema de evacuaciones.

1.7 CONCLUSIONES

La puesta a tierra tiene como función limitar la tensión respecto a tierra que, debido a averías o fugas, que puedan presentarse en zonas de alto riesgo por el manejo de materiales explosivos, combustibles como en el caso despachos y depósitos de gasolina y derivados del petróleo, o químicos de esas características; zonas de manejo de altos voltajes como en las subestaciones eléctricas; edificaciones y lugares en donde hay aglomeraciones de personas por diferentes causas, como edificios públicos y privados, hospitales, hoteles, cines, teatros y lugares de servicio turístico, comercios y centros comerciales y todos los lugares requieren de una protección en sus instalaciones eléctricas incluyendo contra descargas atmosféricas fortuitas.

Lo que se hace es conectar todas las partes metálicas a tierra, se conecta a la superficie terrestre, porque el globo terráqueo es tan grande que el potencial permanece invariable, sea cual sea la tensión que se aplique sobre él. De forma que en todo lo que este conectado a tierra y tierra, no haya diferencia de potencial.

QUEDA TERMINANTEMENTE PROHIBIDO: Utilizar como toma de tierra tuberías metálicas destinadas al paso de agua, gas y similares.

Por tanto la solución efectiva es la colocación de barras o varillas de conducción para la tierra física de las instalaciones eléctricas de cualquier tipo; sin embargo, si son depositadas en una superficie pequeña (cercanas entre sí), los flujos de corriente utilizarán las mismas trayectorias de salida para la disipación y con ello se reducirá la capacidad de conducción del suelo.

Se busca que el sistema de protección tenga las características de un electrodo magnetoactivo integral de mayor transmisión de corriente cuyas características nos permitan asegurar los siguientes beneficios.

- Atenuación de radiación de campos magnéticos al mejorar el efecto de apantallamiento en su blindaje.
- Ahorro de energía al atenuar la radiación electromagnética y disminución del efecto Joule.
- Incremento del transporte de energía eléctrica.
- Incremento de la eficiencia del neutral.
- Cancelación de los "bucles " o diferencias de potencial entre los gabinetes de distribución y el transformador; y en general en toda la red de distribución eléctrica.
- Baja temperatura en transformadores y motores.
- Real acoplamiento eléctrico entre potencial y carga.
- Impedancia baja y efectiva a tierra.
- Disminución del efecto galvánico (Corrosión).
- Depresión de la distorsión armónica.

La carencia de un buen Sistema de Puesta a Tierra provoca daños severos sobre instalaciones, equipos y lo más grave, también atenta contra nuestras propias vidas, por lo que se debe implementar un sistema diseñado para mejorar el funcionamiento de los equipos eléctricos, electrónicos y en general, con todo lo relacionado a las instalaciones eléctricas, como son: motores, plantas de energía, líneas, estructuras, equipo de diversa índole y para gran variedad de aplicaciones entre las que destaca la informática, redes, etc.

Y en sí todas las instalaciones utilizadas para la transferencia de corriente eléctrica y todo aquello que se considere como conductor que esté en contacto con dichas instalaciones que pudiera ser susceptible de establecer un "arco voltaico".

Debido a que es sabido que existen zonas consideradas como CORREDORES DE RAYOS; es decir, la probabilidad de descargas eléctricas atmosféricas es muy alta y de consecuencias graves para los habitantes de dichos lugares. En las zonas de corredores de rayos, las instalaciones eléctricas de la edificación deben de ser protegidas de forma adecuada y segura, los edificios elevados presentan el mayor riesgo de atracción de los rayos en las tormentas eléctricas con pararrayos convencionales, aunque estos edificios no son el caso exclusivo.

Debe hacerse especial énfasis en que la seguridad de las personas es lo que verdaderamente preocupa y se constituye en el fin primordial de la instalación de puesta a tierra, lo que significa que no se deje de reconocer la importancia de los otros tres objetivos.

Así mismo, "toda instalación eléctrica deberá disponer de una protección o instalación de tierra diseñada en forma tal que, en ningún punto normalmente accesible del interior o exterior de la misma las personas en tránsito corran el riesgo de que puedan estar sometidas a una tensión peligrosa, durante cualquier defecto de la instalación eléctrica o en la red unida a ella.

CONSIDERACIONES PARA UN BUEN DISEÑO DE SISTEMA DE PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS ELÉCTRICOS.

Un sistema de puesta a tierra bien diseñado, considera:

1. Emplear las tuberías metálicas roscadas como conductores de puesta a tierra.
2. Usar los interruptores automáticos con detector de falla a tierra en las cocheras, cocinas, y obras en construcción.

3. Colocar el conductor de puesta a tierra de equipos junto con los cables de líneas y del neutro del mismo circuito, por dentro de la misma canalización metálica.
4. Que no obstante se corran cables en paralelo por diferentes canalizaciones, el calibre de todos los cables de puesta a tierra se calcule únicamente con el valor de la protección.

CAPITULO 2

SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

2.1 DEFINICION

De manera general, para la física, se considera que el globo terráqueo en su totalidad tiene un potencial igual a cero (0v); por tanto, la tierra en sí misma y cualquier conductor conectado a ella es llamado Tierra (ground); generalmente se representa con las siglas GND o G. Un equivalente al término tierra es, MASA pero, este se utiliza cuando no se trata de una tierra verdadera, es decir un chasis, un soporte metálico o una armazón.

Siguiendo los criterios de la instrucción 039 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (RTB) y el NTE-IEP/73 Norma Técnica de la Edificación (NTE) se define la puesta a tierra como: “toda ligazón metálica directa, sin fusibles ni protección alguna, de sección suficiente entre determinados elementos o partes entre una instalación, y un grupo de electrodos o un electrodo enterrado en el suelo, con objeto de conseguir que en el conjunto de instalaciones, en el edificio y en la superficie próxima al terreno no existan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, se permita el paso a tierra de las corrientes de falla o de descarga de origen atmosférico.”

Es importante la instalación de un Sistema de Puesta a Tierra ya que, pueden existir fallas de aislamiento de los conductores en algunos equipos eléctricos y se corre el riesgo de que la cubierta metálica de éstos quede con tensión eléctrica. Lo que en contacto con el ser humano puede producir desde alteraciones del ritmo cardíaco hasta la muerte.

Los sistemas de puesta a tierra tienen como función:

- Permitir la descarga a tierra en caso de presentarse una corriente de falla y/o prevenir accidentes manteniendo todo el chasis, la infraestructura de un galpón industrial o de una fábrica con referencia de voltaje igual a cero.

- Conducir a tierra la electricidad indeseable, proporcionando un camino definido de regreso a la fuente de energía y con impedancia suficiente baja, vía los conductores de tierra, de tal modo que ante la presencia de una falla a tierra de un conductor activo, fluya por una ruta predeterminada una corriente suficiente, que permita operar el dispositivo de protección del circuito.
- Limitar a un valor seguro la elevación de potencial en todas las estructuras metálicas a las cuales tienen normalmente acceso personas y animales bajo condiciones normales y anormales del circuito.
- Sirve como referencia de las señales en un equipo electrónico, y para eliminar las diferencias de potencial entre diferentes componentes de un sistema de comunicaciones o control automático.

2.2 TIPOS PRINCIPALES DE PUESTA A TIERRA

Entre los principales tipos de puesta a tierra se tiene:

2.2.1 PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN

La puesta a tierra de protección tiene como objetivo proteger a las personas y animales contra accidentes derivados de contactos con partes conductoras que, estando no sometidos normalmente a tensión, puedan estar sometidas a tensiones peligrosas como consecuencia de un defecto de aislamiento de la instalación (MASAS), o de, no tener un camino directo a tierra en caso de falla.

Para lograr este objetivo de protección debe realizarse una puesta a tierra adecuada, y conectar a la misma todas las masas de la instalación.

2.2.2 PUESTA A TIERRA FUNCIONAL DE SERVICIO

La puesta a tierra de servicio tiene como objetivo asegurar el correcto funcionamiento del equipamiento eléctrico, y permitir un correcto y confiable funcionamiento de la instalación.

Dependiendo de las características de la instalación, la puesta a tierra de protección y la funcional pueden ser independientes o en una misma puesta a tierra combinarse ambas funciones. Pero, siempre y cuando en el diseño de la

puesta a tierra se de prioridad a las prescripciones establecidas para la puesta a tierra de protección.

2.3 ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

El sistema de puesta a tierra esta formado por la puesta a tierra y por todos los elementos puestos a tierra, entre los que consta: El **Terreno** (este punto se tratará detenidamente en el capítulo III), las **Tomas de Tierra** y la **Instalación de Tierra**.

En la figura se pueden observar todos los elementos que componen una puesta a tierra.

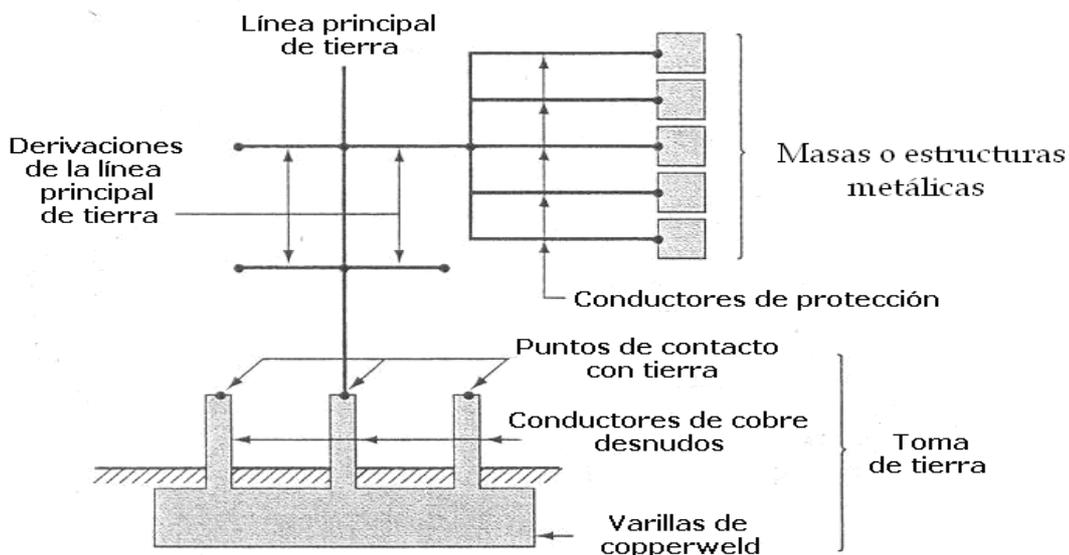


Fig. 2.1 Elementos de los sistemas de puesta a tierra

2.3.1.- TOMAS DE TIERRA

Se define como el elemento de unión entre el terreno y el circuito instalado, y están constituidas por los siguientes elementos:

- Electrodos (varillas de copperweld). Es una masa metálica que está permanentemente en contacto óptimo con el terreno, y sirve para facilitar el paso de las corrientes de falla que puedan presentarse.

Para esto frecuentemente se usa, una varilla de cooperweld de 16 milímetros de diámetro por 1,8 metros de longitud conocido como electrodo de pica.

Lo ideal es que la red de electrodos una vez soldada, se coloque debajo de la cimentación, de forma que quede protegida la unión electrodo-terreno de las variaciones climatológicas, de las variaciones de humedad y de las posibles agresiones con máquinas o camiones si está en zonas de tránsito.

- Líneas de enlace con tierra (conductor de cobre desnudo). Es la parte de la instalación que une el electrodo, o conjunto de electrodos, con los puntos de puesta a tierra.

Se realizará a base de conductores de cobre, aislados o desnudos, pero lo más común es de cobre desnudo, y la sección mínima de la línea de enlace con tierra será de 35mm² (2 AWG) para conductores de cobre o sección equivalente en otros materiales según el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (RTB).

- Puntos de contacto con tierra. Es un punto de conexión situado fuera del suelo y que sirve de unión entre la línea de enlace con tierra y la línea principal de tierra.

El punto de puesta a tierra estará constituido por un dispositivo de conexión y desconexión (regleta, placa, borne, etc.) de la toma de tierra, para poder independizar el circuito de tierra de la instalación, y poder hacer mediciones periódicas de la resistencia de puesta a tierra según el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (RTB).

Según el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (RTB) en las instrucciones técnicas, ITC-BT-18 y la ITC-BT-26, las instalaciones que lo precisen, dispondrán de un número suficiente de puntos de puesta a tierra, convenientemente distribuidos, que estarán conectados al mismo electrodo o, al conjunto de electrodos.

2.3.2 LA INSTALACIÓN DE TIERRA

Está formada a su vez por:

- Línea principal de tierra. Son conductores que partiendo del punto de puesta a tierra, conecta con las derivaciones necesarias para la puesta a tierra de todas las masas o de los aparatos y elementos metálicos de una instalación.

Al igual que las líneas de enlace con tierra, serán de cobre y se dimensionarán con la máxima corriente de falta que se prevea,, siendo como mínimo de 16 mm² (6 AWG)

- Derivaciones de la línea principal de tierra. Son los conductores de cobre, que unen la línea principal de tierra con los conductores de protección o bien, directamente las masas y elementos metálicos.

El dimensionado de las derivaciones de las líneas principales de Tierra, dependerá del número de conductores de protección a ellos conectados y está regulado por la instrucción técnica para Baja Tensión. ITC-BT-19.

- Conductores de protección. Sirven para unir eléctricamente las masas de una instalación, con las derivaciones de la línea principal de tierra con el fin de asegurar la protección contra los contactos indirectos. E n otros casos reciben igualmente el nombre de conductores de protección aquellos conductores que unen las masas:
 - Al neutro de la red o a otras masas.
 - A elementos metálicos distintos de las masas.
 - A un relé de protección

2.4 MATERIALES DE PUESTA A TIERRA

2.4.1 ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

Según la Norma Oficial Mexicana (NOM) y la IEEE para la teoría y diseño de los Sistemas de Tierra los electrodos de puesta a tierra de los sistemas eléctricos deben estar accesibles y preferentemente en la misma zona del puente de unión principal del sistema.

Basados en la Norma Oficial Mexicana (NOM) [1.3] (250-81), el sistema de electrodos de puesta a tierra se forma interconectando (siempre que existan), los siguientes tipos de electrodos:

- Tubería metálica de agua enterrada. No es recomendable debido a que, con el uso cada vez mayor de equipos electrónicos, la corriente de fuga a tierra es en parte corriente continua, acción que provoca corrosión galvánica en las tuberías.
- Estructura metálica del inmueble. Para que pueda ser usada la estructura metálica del edificio, su impedancia a tierra debe ser baja.

Para lograr una impedancia baja, se deben unir las columnas a las partes metálicas de la cimentación con conductores según los calibres de los conductores de puesta a tierra normalizados (ver tabla) y, en caso de haber sellos formados por películas plásticas, se deben unir éstos.

Part No.	Size	Strands	CM Area	Approx. Wt. lbs./M ft.	Standard Reels	Approx. Wt. lbs./Reel
8-7	8 AWG	7	16,510	51	500'	30
6-7	6 AWG	7	26,240	81	500'	43
4-7	4 AWG	7	41,740	127	500'	72
2-7	2 AWG	7	66,360	204	250'	60
1/0-19	1/0 AWG	19	105,600	325	250'	90
2/0-7	2/0 AWG	7	133,100	410	250'	111
2/0-19	2/0 AWG	19	133,100	410	250'	111
3/0-19	3/0 AWG	19	167,800	518	200'	112
4/0-7	4/0 AWG	7	211,600	653	200'	139
4/0-19	4/0 AWG	19	211,600	653	200'	139

Tabla 2. Sección de los conductores de puesta a tierra

- Electrodo empotrado en concreto. Consisten en utilizar en las estructuras nuevas, el acero del concreto armado como varilla de tierra principal, siempre y cuando que la cimentación se haya diseñado con este objetivo con los cables de tierra adecuados soldados a las varillas.

Se debe recalcar, que el concreto tiene una estructura química ligeramente alcalina e higroscópica (cualidad de conservar una mayor cantidad de humedad en el volumen en que están contenidas-efecto de una esponja). La combinación de estas características provee iones libres que permiten al concreto presentar una resistividad consistentemente de unos 30 Ω -m.

- Anillo de tierra. Estos se emplean frecuentemente circundando una fábrica o un sitio de comunicaciones, con el objeto de proveer un plano equipotencial alrededor de edificios y equipos. Un anillo de tierra consiste en un conductor de cobre desnudo, de área transversal mayor a 2 AWG (por resistencia mecánica), de longitud no menor a 6m enterrado a una profundidad de 80 cm – 60 cm y, que rodee a la estructura o edificio.

2.4.2 ELECTRODOS ARTIFICIALES

Los electrodos artificiales están constituidos por metales inalterables a la humedad y a la acción química de los materiales que constituyen el terreno, entre estos materiales se tiene:

- ✓ El hierro o el acero galvanizados
- ✓ El hierro sin galvanizar pero con protección catódica
- ✓ El cobre

La sección de un electrodo no debe ser inferior a $\frac{1}{4}$ de la sección del conductor que constituye la línea principal de tierra.

Y de acuerdo a la norma oficial mexicana se pueden usar los siguientes electrodos:

- Electrodo de grafito rígido

Este es un sistema de alta confiabilidad debido a que el grafito rígido en forma de ánodo actúa como un conductor relleno para la mejora de la intimación con el terreno.



Fig. 2.2 Electrodo de grafito rígido

Al tratarse de un electrodo constituido en su totalidad por grafito, no se encuentra afectado intensamente por la corrosión a diferencia de lo que ocurre con los metales.

Debido a su baja velocidad de desgaste por corrosión, su vida útil es en principio ilimitada en comparación con los sistemas tradicionales. Así, la propia naturaleza del electrodo, sus dimensiones y el activador conductor envolvente, hacen que este no necesite mantenimiento (regado o mineralizado) tan frecuente como en los demás sistemas.

Características que permiten que, el electrodo de grafito rígido sea ideal para puestas a tierra superficiales y profundas ya que garantizan su larga durabilidad y rendimiento aceptable.

- Electrodos de picrón

Estos electrodos se han diseñado para sistemas de puesta a tierra de altos requerimientos, especialmente para puestas a tierra profundas, en terrenos pantanosos, con niveles freáticos altos e incluso en aguas muy agresivas (ambientes marinos o directamente en agua de mar), para instalaciones eléctricas de alta y baja tensión, pararrayos, y equipamientos informáticos o de robótica.

Los electrodos de PICRÓN pueden considerarse como un sistema de puesta a tierra de duración ilimitada (vida útil >30 años) porque su probabilidad de corrosión es mínima, se pueden usar en forma de electrodos únicos o electrodos en cadena, y su mantenimiento es nulo.

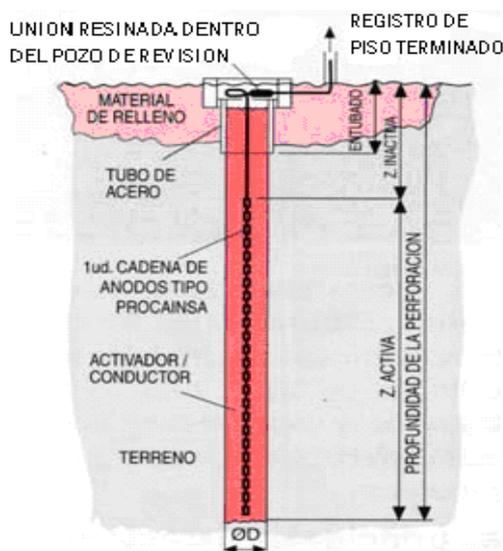


Fig. 2.3 Electrodo de picrón

- Picas de zinc

Las picas de Zinc son consideradas una solución ideal para la protección catódica contra la corrosión de los sistemas de puesta a tierra cuando éstos están constituidos por conductores de acero galvanizado previniendo la formación de pares galvánicos tan frecuentes en tanques enterrados, o bases de tanques aéreos, en presencia de conductores de cobre desnudo.



Fig. 2.4 Picas de zinc

Estos poseen un rendimiento óptimo debido a su baja resistencia, son de fácil instalación y fácil manipulación, y además se puede establecer su estado de degradación sin desenterrarlas.

- Electrodo de varilla o tubería. Los electrodos de varilla y tubo según la Norma Oficial Mexicana (NOM) [1.3] (250-83c) deben tener 2,40 metros de largo o mas, y deben instalarse procurando que al menos 2,40 metros de longitud éste en contacto con la tierra.

Las varillas de metales no ferrosos deben estar aprobadas y tener un diámetro no inferior a 13 mm de diámetro. Mientras que las tuberías deben tener un diámetro no inferior a 19 mm, y en caso de que sean de hierro, deben tener protección contra corrosión en su superficie. Las varillas tienen una duración promedio de 15 años si es una varilla de acero galvanizado o, de 35 años si es una varilla de acero con un recubrimiento de cobre de 10 milésimas.

Estos electrodos se introducen al suelo mediante golpeteo hasta que alcanzan la profundidad requerida, pero en caso de terrenos rocosos al intentar meterse de esta manera se doblan o no pueden entrar.

- Electrodos de placa. Los electrodos de placa no deberán tener menos de 0,2 m² de área en contacto con el suelo. Y las placas de acero o hierro deberán tener al menos 6,4 mm de espesor, pero si son de material no ferroso deberán tener por lo menos 1,52 mm de espesor.



Fig. 2.5 Electrodos de placa

- Otras estructuras o sistemas metálicos subterráneos cercanos. Aquí se pueden considerar según la Norma Oficial Mexicana (NOM) la puesta tierra mediante sistemas de tuberías o tanques enterrados, pero también se puede considerar cualquier clase de estructura metálica subterránea.

Es de fundamental importancia, hacer notar que en lugares donde existe congelamiento de la superficie los electrodos deben enterrarse a una profundidad mayor a la que se menciona en los párrafos anteriores porque se considera como aislada la parte congelada, así como también establecer los tipos de electrodos no permitidos por la Norma Oficial Mexicana (NOM) como son:

- ✓ Tuberías de gas enterradas._ Por el hecho de que en Estados Unidos las compañías suministradoras de gas se opusieron.
- ✓ Electrodos de aluminio._ No se los utiliza porque el aluminio es un material que se corroe con mayor facilidad que el cobre y los compuestos químicos con que se componen no son buenos conductores eléctricos.

En un sistema de puesta a tierra todos los electrodos y el anillo de enlace con tierra serán del mismo metal conductor, y los electrodos artificiales deben estar enterrados a una profundidad que impida que sean afectados por las labores del terreno y por las heladas; en ningún caso a menos de 50 cm. de profundidad.

2.4.3 MALLAS DE TIERRA

La malla de tierra es un conjunto de múltiples varillas de tierra y conductores enterrados que permiten conectar los equipos que componen una instalación a la tierra, cuando intervienen tensiones y corrientes eléctricas muy altas con el objeto de minimizar los riesgos al personal debido al paso de dichas tensiones y corrientes.

La malla consta de una red de varillas de tierra y conductores enterrados a una profundidad que usualmente varía de 0,30 a 1,0 m, colocados perpendicular y paralelamente con un espaciamiento adecuado a la resistividad del terreno y preferentemente formando retículas cuadradas.

En la figura se puede ver un esquema general de una malla de puesta de tierra.

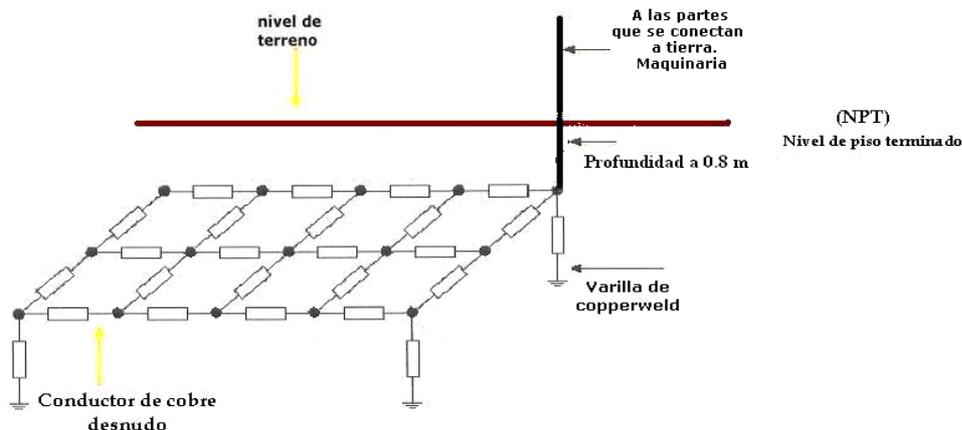


Fig. 2.6 Malla de tierra

Para el diseño de las mallas de tierra es fundamental conocer la resistividad ofrecida al paso de la corriente eléctrica a través de los electrodos hacia el suelo, debido a que es un parámetro fundamental para el diseño geométrico de las mallas de puesta a tierra.

De forma que en la malla se resaltan las tres componentes que constituyen la resistencia de la malla de tierra:

- La resistencia del conductor que conecta los equipos a la malla de tierra (electrodo): cuyo valor es despreciable ($0,1 \Omega$) del # 10 AWG, corresponde a $1,01\Omega/1000ft$.
- La resistencia de contacto entre el electrodo y el terreno: Se puede despreciar si el electrodo esta libre de cualquier cubierta aislante como tintas, grasa, pinturas, etc.; y si la tierra esta bien compactada en la zona de contacto de sus paredes.
- La resistencia de la tierra circundante: ésta es el valor que verdaderamente influye en el valor de la resistencia de una puesta a tierra y depende básicamente de la resistividad del suelo y de la distribución de la corriente proveniente del electrodo.

Una malla de tierra puede estar formada por distintos elementos:

- Una red de conductores enterrados a una profundidad que habitualmente varía de 0,30 a 1,0m, colocados perpendicular y paralelamente con un espaciamiento adecuado a la resistividad del terreno y preferentemente formando retículas cuadradas.
- El cable que forma el perímetro exterior de la malla, debe ser continuo de manera que encierre toda el área en que se encuentra el equipo eléctrico. Con ello, se evitan altas concentraciones de corriente y gradientes de potencial en el área y terminales cercanas.
- En cada cruce de conductores de la malla, estos deben conectarse rígidamente con soldadura exotérmica entre sí y en los puntos donde se conectan los equipos que pudieran presentar fallas. Los conductores deben conectarse a electrodos de varilla o tubo de 2,4 m de longitud mínima, clavados verticalmente.

Los cables a destinarse en las mallas de tierra son de acero, acero inoxidable, acero galvanizado, y cobre. Para evitar la corrosión galvánica en terrenos donde la resistividad es baja algunas compañías eléctricas desde el diseño utilizan en sus mallas de tierra cable de cobre estañado, con el objeto de bajar el potencial electronegativo entre los diferentes metales.

En la selección de material el factor principal es la resistencia a la corrosión. El cobre es el material más utilizado porque es económico, tiene buena conductividad, es resistente a la corrosión y tiene un punto elevado de fusión.

2.5 TRATAMIENTO DEL TERRENO Y CORROSION DE LAS TOMAS DE TIERRA

Si se trata de terrenos rocosos o de alta resistividad, alrededor del conductor enterrado (electrodo) se debe rellenar con tierra apta para sembrar y de resistividad favorable con el fin de mejorar la calidad del contacto entre los electrodos y la tierra de relleno.

Es necesario realizar tratamiento del terreno en lugares donde hay sequía, terrenos descarnados, terrenos huecos, etc., debido a que la resistencia de la toma de tierra se eleva adquiriendo valores peligrosos.

2.5.1 EL TERRENO

Desde el punto de vista eléctrico lo que va a caracterizar el terreno es su Resistividad, que es la facilidad para dejar pasar o disipar las corrientes de falla o descargas atmosféricas. Se mide en $\Omega.m$, y lo mas conveniente es que sea lo mas baja posible.

Debido a que los terrenos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición un terreno dado tendrá una resistencia aparente que promedia los efectos de las diferentes capas que componen el terreno.

Para construir la red de tierras se debe conocer el grado de humedad del terreno a lo largo de los diferentes meses del año, la temperatura de invierno y su situación, más o menos cerca de los márgenes de los ríos.

2.5.2 RESISTIVIDAD DEL TERRENO

La resistividad de un terreno depende de su contenido en electrolitos, lo cual a su vez depende de su naturaleza mineralógica y del contenido de humedad.

El recurso de la sal o geles para mejorar la resistividad del terreno no debe emplearse en forma generalizada, ya que si se construye una puesta de tierra casi artificial, con un valor bajo de resistividad, será necesario mantenerlo todo el tiempo.

En caso de que el terreno sea mal conductor, se debe tratar el terreno alrededor de los electrodos con el fin de disminuir artificialmente la resistividad. Lo que se puede lograr realizando:

- Tratamiento con sales. Aquí se entierra en una excavación poco profunda alrededor del electrodo (conductor enterrado o pica) una sal, puede ser: cloruro sódico, carbonato de sosa, sulfato de cobre, sulfato de magnesio, la bentonita, etc. El relleno ideal debe compactarse fácilmente, ser no corrosivo y a la vez buen conductor.

En este método se excava una zanja alrededor de la varilla y se la llena con unos 20 o 40kg de los compuestos químicos mencionados arriba, diluyendo con agua. (figura 22). Se riega la toma y la lluvia al caer realiza la infiltración. Se debe realizar nuevamente el tratamiento al cabo de dos años, debido a que en períodos lluviosos se arrastra la sal por las aguas de lluvia.

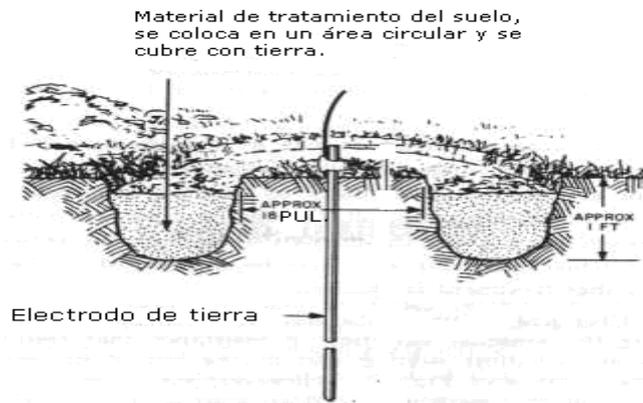


Fig. 2.7 Tratamiento del terreno con sales

Aparte del relleno con alguno de los compuestos mencionados, existen otros métodos químicos más. En el que, en un registro junto a la varilla se colocan unos 30 cm de los compuestos. (Figura 2.8).

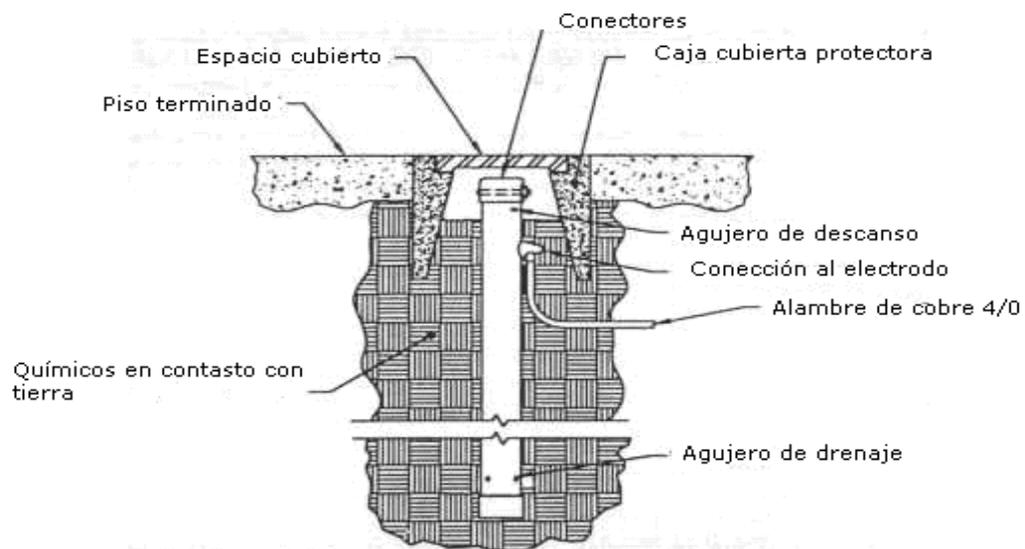


Fig. 2.8. Compuestos químicos

- Tratamiento por abonado electrolítico del terreno. Aquí se busca aumentar la cantidad de electrólitos en disolución en el agua del terreno aumentando el poder de retención del agua. Para esto se utilizan electrólitos a base de sulfato

cálcico tratado y estabilizado convenientemente, cuya solubilidad es muy pequeña, pero capaz de multiplicar considerablemente la conductividad del terreno.

Este tratamiento consiste en extender en la superficie del terreno de 6 a 8 kg. De mezcla por m², en este caso el agua de lluvia es la que ayuda a disolver el electrolito y lo retiene por absorción en la superficie de los granos de roca. Esta comprobado que el período de eficacia de este tratamiento alcanza de 10 a 15 años, según sea la naturaleza del terreno.

<u>MATERIAL</u>			<u>RESISTIVIDAD (ohm-metro)</u>
Permafrost			3500 - 4000
Asfalto		Seco	$2 \cdot 10^6 - 30 \cdot 10^6$
Asfalto		Mojado	$10000 - 6 \cdot 10^6$
Concreto		Seco	1200-28000
Concreto		Mojado	21-100
Compuesto	GAP	seco	0.032
Compuesto GAP con 30% de agua en masa			0.015

Tabla 3. Datos de resistividad de suelos típicos

2.5.3 GENERALIDADES SOBRE LA CORROSIÓN

Se puede definir la corrosión como el conjunto de procesos de deterioro que sufre un material metálico bajo el efecto de las acciones físicas, químicas o electroquímicas, del medio que lo rodea, y viene dado por la tendencia que tienen todos los metales por volver al estado en que se encuentran en la naturaleza, esto es, en forma de óxidos, hidróxidos y sales.

La corrosión de un suelo puede cambiar de un área a otra por simple cambio de composición. Los principales factores que determinan cuándo un suelo es susceptible de ser agresivo con respecto a una estructura metálica enterrada son: la humedad, el acceso de oxígeno (aireación), conductividad eléctrica (la cual está influenciada por la presencia de sales disueltas) y el PH del suelo.

No hay que olvidar que muchos problemas de corrosión de metales enterrados provienen de las llamadas corrientes eléctricas parásitas o vagabundas, producidas por ejemplo por los trenes eléctricos.

2.5.3.1 COMPORTAMIENTO DE LA CORROSIÓN DE LOS METALES NORMALMENTE UTILIZADOS COMO ELECTRODOS DE TIERRA

Aunque se predice que las tomas de tierra deben resistir la acción corrosiva del terreno, es un medio electrolítico en el que las tomas de tierra formadas por diferentes metales e interconectadas forman pares galvánicos.

La corrosión electroquímica es la que tiene lugar en los metales cuando están en contacto entre ellos o, unidos por medio de un conductor de la corriente, llamado electrolito.

En el instante en que pasa la corriente por el conductor, los iones que se encuentran en el electrolito se dirigen a uno u otro electrodo según sea su carga. Los que tienen carga positiva, llamados cationes, se dirigen al cátodo o electrodo cargado negativamente y, al revés, los cargados negativamente, llamados aniones se dirigen al ánodo o electrodo cargado positivamente.

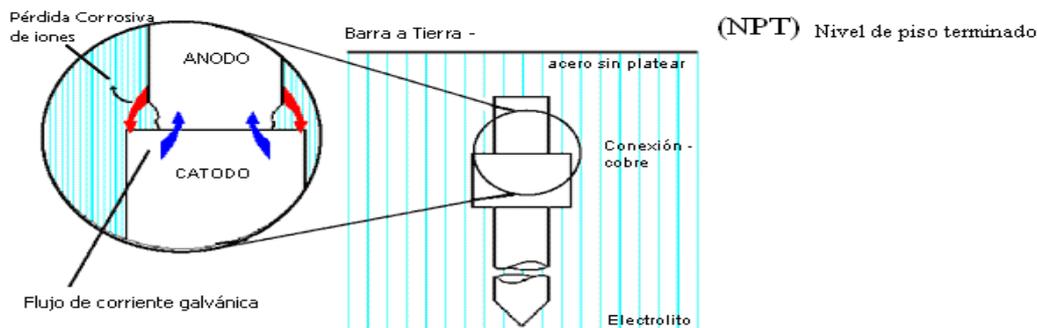


Fig. 2.9. Corrosión de metales

La diferencia de potencial existente entre los distintos metales (en este caso, el cobre y el acero), hace que inevitablemente, uno de ellos actúe como ánodo.

Cuanto más bajo sea el potencial de un metal, más rápidamente será corroído o disuelto y, al mismo tiempo cuanto mayor sea la diferencia de potencial existente entre dos metales, mayor será la corrosión galvánica producida entre ellos, resultando siempre afectado el que tiene el potencial mucho más bajo.

Dentro de las medidas utilizadas industrialmente para combatir la corrosión están las siguientes:

1. Uso de materiales de gran pureza.
2. Presencia de elementos de adición en aleaciones, ejemplo aceros inoxidable.
3. Tratamientos térmicos especiales para homogeneizar soluciones sólidas, como el alivio de tensiones.
4. Inhibidores que se adicionan a soluciones corrosivas para disminuir sus efectos, ejemplo los anticongelantes usados en radiadores de los automóviles.
5. Recubrimiento superficial: pinturas, capas de oxido, recubrimientos metálicos. Como recubrimientos no-metálicos podemos incluir lacas, barnices, resinas naturales o sintéticas. Se coloca aceite, cera, grasas, empleados durante el almacenamiento o transporte de materiales metálicos ya manufacturados y que proporcionan una protección temporal. Y se pueden lograr recubrimientos metálicos mediante la electro deposición de metales como el níquel, cinc, cobre, cadmio, estaño, cromo, etcétera.
6. Protección catódica.

2.5.3.2 PROTECCIÓN CATÓDICA

La protección catódica es una técnica de control de la corrosión que está siendo aplicada para prevenir la corrosión de estructuras metálicas enterradas en el suelo o sumergidas en medios acuosos. Este método aprovecha el mismo principio electroquímico de la corrosión, transportando un gran cátodo a una estructura metálica.

Se puede aplicar protección catódica en metales como: acero, cobre, latón y aluminio. Como condición fundamental las estructuras componentes del objeto a proteger y el elemento de sacrificio (ánodo), deben mantenerse en contacto eléctrico e inmerso en un electrolítico. Existen dos sistemas de protección catódica, en función del origen de la energía que se inyecta a tierra:

2.5.3.2.1. Protección catódica con Ánodos Galvánicos

Se basa en la colocación de metales más anódicos que el acero como por ejemplo el magnesio, zinc, aluminio, que unidos eléctricamente al elemento a proteger, se establece una pila electroquímica, de forma que la oxidación del ánodo genera suficiente corriente para eliminar la corrosión en el acero. Este sistema requiere, por los bajos valores de tensión de salida del ánodo, la distribución de ánodos alrededor de los elementos a proteger, para garantizar la correcta distribución de corriente en todos ellos.

En la protección catódica con ánodos galvánicos, se utilizan metales fuertemente anódicos conectados a la tubería a proteger, dando origen al sacrificio de dichos metales por corrosión, descargando suficiente corriente, para la protección de la tubería.

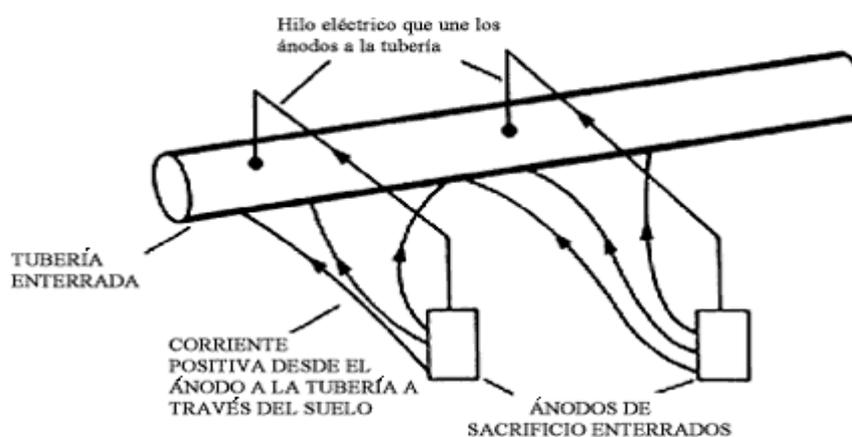


Fig. 2.10 Protección catódica mediante ánodos de sacrificio

Como se observa en la figura, se une eléctricamente la tubería de hierro al ánodo galvánico, que habitualmente es (Zn) zinc o (Mg) magnesio. La distancia mínima

entre el ánodo y la tubería debe ser de 3 metros y deben utilizarse cables de conexión de bastante grosor para evitar las caídas de tensión. Hay que cuidar también muy particularmente la unión del cable con el alma de acero del ánodo. Este cable debe de estar siempre bien aislado evitando un consumo innecesario de corriente para lograr su protección.

La diferencia de potencial existente entre el metal anódico y la tubería a proteger, es de bajo valor porque este sistema se usa para pequeños requerimientos de corriente, pequeñas estructuras y en medio de baja resistividad. Los también llamados "electrodos de sacrificio" son los que, se gastan en la electrólisis para evitar la corrosión en otros elementos, constituye uno de los métodos más utilizados para evitar la corrosión; y no es otra cosa que la incorporación de ánodos galvánicos, es decir, de bajo potencial, para que se disuelvan antes que las partes que deseamos proteger. Estas piezas deben colocarse a la vista, en contacto directo con el metal a proteger, y deben ser fácilmente sustituibles en cuanto presenten un desgaste superior al 50% de su tamaño.

Serie galvánica para metales	
Metal	Voltios
<i>Magnesio puro</i>	<i>-1,75</i>
<i>Aleaciones de magnesio</i>	<i>-1,60</i>
<i>Aluminio puro</i>	<i>-0,80</i>
<i>Acero galvanizado</i>	<i>-0,5 a -0,8</i>
<i>Hierro fundición</i>	<i>-0,50</i>
<i>Plomo</i>	<i>-0,50</i>
<i>Bronce de silicio</i>	<i>-0,18</i>
<i>Plata</i>	<i>0,0</i>
<i>Los valores negativos, son referidos a una semipila de cobre sulfatado</i>	

Tabla 4. *Materiales usados como Ándos Galvánicos*

Las ventajas de los ánodos de sacrificio residen en su independencia de una alimentación eléctrica, facilidad de instalación, readaptación y creación de una

distribución uniforme del potencial natural, y que difícilmente afectan, o sobreprotegen a la estructura.

Teniendo en cuenta los valores de la resistividad de los suelos, se establecen unas equivalencias de corrosividad, que se muestran en la tabla siguiente, a la vez que se indican la necesidad de protección catódica en dichas instalaciones enterradas o sumergidas y revestidas:

RESISTIVIDAD	CORROSIVIDAD DEL SUELO	PROTECCION CATODICA
< 9 Ohm x m	Muy corrosivos	SI
9 a 23 Ohm x m	Bastante corrosivos	SI
23 a 50 Ohm x m	Moderadamente corrosivos	SI
50 a 100 Ohm x m	Ligeramente corrosivos	SI
> 100 Ohm x m	Muy ligeramente corrosivos	Depende

Tabla 5. Valores de corrosividad del suelo

En la práctica se puede aplicar protección catódica en metales como acero, cobre, plomo, latón, y aluminio, contra la corrosión en todos los suelos y, en casi todos los medios acuosos.

De forma que, al interactuar dos metales diferentes el más electronegativo tiende a degradarse disolviéndose en el electrolito, así ocurre con los elementos como:

a. Corrosión del cobre

El cobre resiste la corrosión en casi todos los tipos de terreno, a excepción de los terrenos alcalinos, en medios amoniacales (agua de estiércol) y lugares donde hay cenizas y escorias.

b. Corrosión del hierro

Cuando se trata de hierro galvanizado suelen corroerse más las partes enterradas en profundidad que las superficiales, y a continuación la zona

inmediata bajo la superficie más rápidamente que la que se encuentra al aire libre.

c. Corrosión del aluminio

La corrosión del aluminio suele ser rápida en suelos alcalinos, su utilización como toma de tierra debe hacerse con reservas, y previo análisis del terreno.

d. Corrosión del plomo

La corrosión del plomo suele ser rápida en terrenos de gran resistividad, aunque puede disminuirse dando a las partes enterradas un potencial negativo por medio de un dispositivo adecuado de protección catódica.

Cuando los ánodos están en contacto directo con el suelo, se recubren con frecuencia de una capa muy resistente. Esta capa ocasiona un aumento sensible de la resistencia de los ánodos hasta el punto de hacerlos ineficaces. Para remediar la influencia desfavorable de estos factores sobre el proceso de disolución de los ánodos de sacrificio, se coloca a su alrededor un medio químico artificial (ver figura2). Este medio químico el "activador", es más conocido en la terminología de la ingeniería de la corrosión por la palabra inglesa "backfill", y debe ejercer tres funciones principales:

- 1) Reducir la resistencia de contacto ánodo-suelo.
- 2) Estabilizar el potencial del ánodo, evitar la polarización y asegurar una fuente segura de corriente.
- 3) Mejorar el rendimiento, disminuyendo la corrosión espontánea y consiguiendo un ataque del ánodo uniforme.

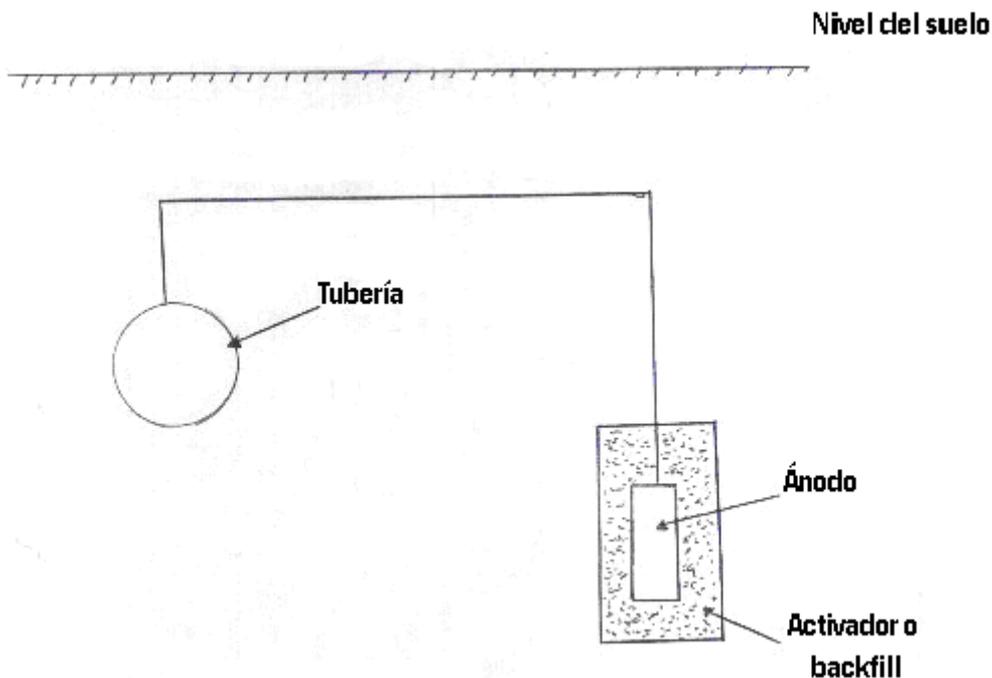


Fig. 2.11 Diseño de instalación para ánodo galvánico

El "activador o backfill" se realiza con productos químicos como por ejemplo la arcilla ordinaria, la bentonita, el sulfato de calcio, la cal, el hidróxido de sodio, el dicromato de sodio, el cloruro de sodio, el sulfato de sodio, el de magnesio, etc. Los de uso más corriente son el yeso y la bentonita debido a que permiten preparar activadores muy eficaces, posiblemente en virtud de su propiedad de retener el agua.

Las ventajas del uso de ánodos galvánicos radican en su independencia de una alimentación eléctrica, facilidad de instalación, readaptación y creación de una distribución uniforme del potencial natural, y que difícilmente afectan, o sobreprotegen a las estructuras.

2.5.3.2 *Protección catódica con corriente impresa*

Basado en la rectificación de corriente alterna eléctrica, inyectando la misma a través de un lecho o de ánodos que debe ser lo más duradero posible, con el fin de generar la corriente necesaria de protección en todos los puntos de la misma.

El lecho o capa de ánodos estará formado por ánodos de Fe-Si, Grafito o Trióxidos de metales nobles, y podrán colocarse horizontal o linealmente, o bien vertical y linealmente en profundidad. Esta capa tendrá como objetivo la mejora de la resistividad del suelo próximo.

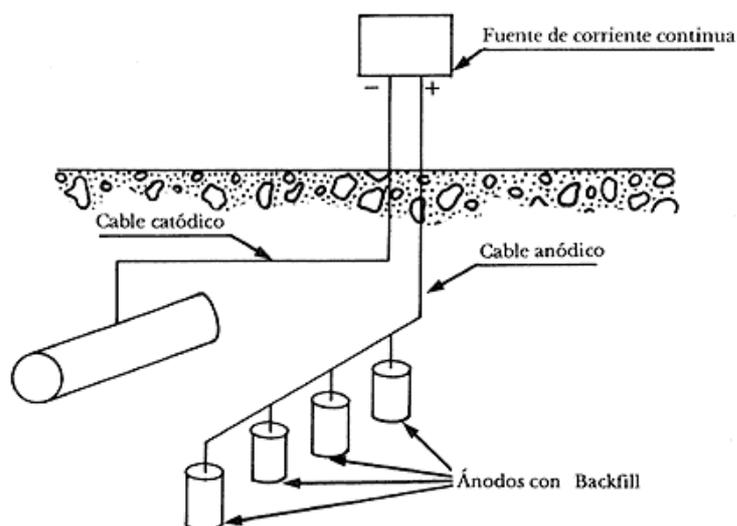


Fig. 2.12 Esquema de protección catódica con corriente impresa de una tubería enterrada.

La fuente de corriente continua que se necesita para este método no importa de donde se obtenga bajo la única condición de que, debe funcionar en forma permanente durante al menos diez años.

Los ánodos auxiliares para corriente impresa van consumiéndose a mayor o menor velocidad con el paso de la corriente. Así, por ejemplo, la chatarra de hierro se consume muy rápidamente y el titanio platinado a un ritmo muy lento.

En general, un buen ánodo debe poseer las propiedades siguientes:

- a) Bajo consumo,
- b) densidad de corriente erogada elevada,
- c) pequeñas dimensiones,
- d) baja resistividad,
- e) buena resistencia mecánica, y
- f) elevado potencial de ruptura.

A continuación en el cuadro N. se resumen las propiedades principales de los ánodos utilizados en la corriente impresa, clasificados según su consumo.

Tabla 6 .Características de los ánodos empleados en protección catódica con Corriente impresa.

Tipo	Peso específico g/cm ³	Consumo kg/A-año	Densidad de corriente A/m ²		Utilización (medio)
			máxima	práctica	
Acero Chatarra	7.8 7.0	~9. 4.5-1	5	1	todos
Grafito	1.6	0.1-1	10-100	2.5-40	terreno, agua de mar; excluido el fondo marino y el agua dulce
Ferro-silicio: 0.95%C 16%Si, 0.75% Mn	~7	0.25-1	30-40	10-100	agua dulce, terreno
Fe-Cr-Si: 0.95%C, 0.75% Mn, 4.5%Cr, 14.5%Si	7	0.25-1	270		terreno, agua de mar, fondo marino
Pb-Ag (2% Ag)	11.3	~0.2	300	30-65	sólo agua de mar; excluido el fondo marino
Pb-Ag-Sb (1%Ag, 6%Sb)	11	~0.5	300	50-200	sólo agua de mar; excluido el fondo marino
Titanio platinado	4.5	8.10 ⁻⁶	400 por cada micra de pla- tino de espe- sor	500-1 000	terreno no salino con backfill, agua de mar; excluido el fondo marino y el agua dulce
Niobio platinado	8.4			500-700	
Tántalo platinado	16.6			500-1 100	
Titanio-óxido de rutenio (DSA)	4.5	5.10 ⁻⁷	1100	700-1 100	todos

Pero se debe considerar que la elección de un ánodo no se hace solamente en base a su consumo o a la densidad de corriente que puede proporcionar; hay que tener en cuenta, además, sus propiedades de resistencia mecánica, su resistencia a la erosión (en el caso de que sean utilizados en agua de mar, y sobre todo sumergidos en las inmediaciones del mar o en el fondo marino), su facilidad de instalación, el tiempo de sustitución e inclusive su disponibilidad en el mercado.

Las ventajas de realizar la protección catódica con corriente impresa radica en la posibilidad de usar corrientes y tensiones mayores capaces de proteger grandes estructuras, incluso no aisladas o mal recubiertas, sobre todo en resistividades altas, la necesidad de un menor número de ánodos, la facilidad de que el voltaje puede ser ajustado o regulado, al igual que la intensidad acorde a las necesidades reales de protección, facilitando el control del sistema.

CAPITULO 3

METODOS PARA MEDIR LA RESISTIVIDAD DEL SUELO

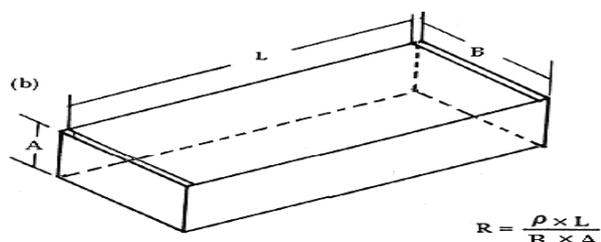
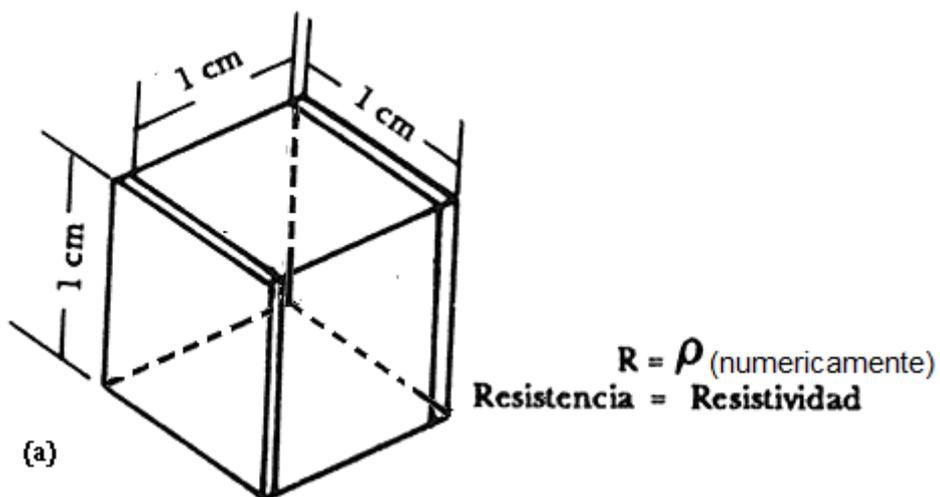
El suelo o terreno por su variable contenido de humedad, sales y materia orgánica en desintegración es el electrodo más complejo de todos los que se pueden encontrar.

Un suelo natural contiene elementos como: cal, arena, arcilla y humus, elementos que pueden estar mezclados en el suelo en diferentes proporciones y capas. La resistividad del terreno depende, en forma particular, de las dimensiones de sus partículas constituyentes, de su estructura, de su porosidad y permeabilidad, del contenido de agua y de su contenido de iones.

La resistividad del suelo, o también conocida como la resistencia específica del terreno, es la propiedad que tiene éste, de oponerse al paso de una corriente eléctrica.

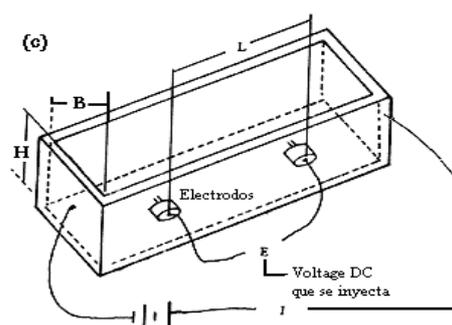
3.1 UNIDADES DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO

De acuerdo con la Norma Mexicana-008-SCFI-1993 la magnitud de resistividad del suelo se expresa en ohm-centímetro (**$\Omega\text{-cm}$**) u ohm-metro (**$\Omega\text{-m}$**). La resistividad de un suelo determinado es igual numéricamente a la resistencia que ofrece el terreno contenido en un cubo de 1 cm de arista, que se mide entre las caras opuestas del cubo (véase figura3.1).



Donde:

R= Resistencia (Ω)
 ρ = Resistividad (Ω -cm)
 L= Longitud (cm)
 B= Base (cm)
 A= Altura (cm)



Donde:

R= Resistencia (Ω)
 ρ = Resistividad (Ω -cm)
 L= Longitud (cm)
 B= Base (cm)
 H= Altura (cm)
 E= Voltage (V)
 I= Corriente (A)
 A= Area (cm^2)

$$\rho = \frac{R \times B \times H}{L} = \frac{E}{I} \times \frac{A}{L}$$

Fig. 3.1 La resistividad (ρ) en Ω -cm es numéricamente igual que la resistencia (R) en ohms en un cubo de un cm de arista. (b) Resistencia de un sólido rectangular. (c) Caja de suelo.

La resistencia de un sólido rectangular está dada por:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{B \cdot H},$$

donde **B**, **L** y **H** son las dimensiones en (cm.), como se ve en la figura 3.1(b), y ρ es la resistividad en ($\Omega\text{-cm}$) para que las unidades sean consistentes. La resistencia entre dos terminales de forma y tamaño cualquiera, en contacto con un terreno, está determinada por la relación entre el tamaño y la distancia existentes entre las terminales y por la resistividad del suelo. En casos sencillos se puede determinar la resistencia, pero la complejidad matemática a menudo es muy grande.

La resistividad del terreno varía ampliamente a lo largo y ancho del globo terrestre, estando determinada por:

- ✓ Salas solubles: La resistividad del suelo es determinada principalmente por su cantidad de electrolitos, esto es, la cantidad de humedad, sales disueltas y minerales.
- ✓ Composición del terreno: La composición del terreno depende de la naturaleza del mismo. Por ejemplo, la resistividad de un terreno rocoso es de 5000 ohm-m más o menos, mientras que el suelo de arcilla normal tiene una resistividad de 40-500 ohm-m por lo que una varilla de cobre enterrada 3m tendrá una resistencia a tierra de 15 a 200 ohms respectivamente.
- ✓ Estratigrafía: El terreno obviamente no es uniforme en sus capas. En los 3m de longitud de una varilla de electrodo típica, al menos se encuentran dos capas diferentes de suelos.
- ✓ Granulometría: Interviene bastante sobre la porosidad y el poder retenedor de humedad y sobre la calidad del contacto con los electrodos aumentando la resistividad con el mayor tamaño de los granos de la tierra. Por esta razón la resistividad de la arena es mayor que la de la arcilla. Y el

rango de la resistividad eléctrica de las rocas es amplio, extendiéndose desde 3000 hasta 10000 (Ohm-m).

Tipo de Suelo	ρ (Ohm-cm)
Limos, Arcillas, Suelo Vegetal y de Cultivo	10 - 100
Tierra Fina, Turbas, Concreto Húmedo (suelo)	100 - 300
Tierra Aluvial, Arenas firmes, suelo seco	300 - 800
Arena Eólica, Lecho de Río, Cascajo	800 - 3000
Rocas Estratificado, Fracturadas, Monolíticas	3000 - 10000
Suelos de Feldespatos, Micas, Cuarzos	5000 - 30000
Concreto Normal Exterior (seco)	10000 - 50000

Tabla 7. Resistividades Referenciales de Suelos Naturales Genéricos

- ✓ Estado higrométrico: El contenido de agua y la humedad influyen de manera apreciable. El valor de la resistividad varía según la época del año, el clima, profundidad y el nivel freático. Por ejemplo la resistividad del suelo se eleva considerablemente cuando el contenido de humedad se reduce a menos del 15% del peso de éste. Pero puede darse el caso de que en tiempo de secas, un terreno puede tener tal resistividad que no puede ser empleado en el sistema de tierras. Por tal razón, el sistema debe ser diseñado tomando en cuenta la resistividad en el peor de los casos.
- ✓ Temperatura: A medida que aumenta la temperatura, aumenta la resistividad del terreno, aumento que se nota aún más al llegar a 0°C , hasta el punto que es mayor la cantidad de agua en estado de congelación, punto en el que, se va reduciendo el movimiento de los electrolitos los cuales influyen en la resistividad de la tierra.
- ✓ Compactación: La resistividad del terreno disminuye al aumentar la compactación del mismo. Por ello se procura siempre colocar los electrodos en los terrenos más consistentes posibles, y se evita los lugares que han sido rellenados.

3.2 RESISTIVIDAD APARENTE (ρ_a)

La resistividad aparente (función de repuesta) ρ_a se evalúa o se estima a partir de las mediciones realizadas en la superficie. Las resistividades aparentes normalmente son funciones de una variable relacionada con la profundidad de penetración.

En la medición de la “Resistividad Aparente” se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno objeto de estudio, ya que estos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición, pero, para los requerimientos de éste trabajo, simplemente se considerará como “Resistividad del Terreno”. Por ejemplo, las varillas de copperweld o varillas de tierra utilizadas tienen una longitud de 1,8 metros, distancia en la cual al menos se localizan dos capas diferentes de suelos.

3.3 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO

Es necesario aclarar que la medición de la resistividad del terreno, no es requerimiento para hacer una malla de puesta a tierra. Sin embargo para diseñar un sistema de tierras de gran tamaño, es aconsejable encontrar el área de más baja resistividad para lograr la instalación más económica.

El valor de la resistividad del suelo determinará el valor de la resistencia a tierra y la profundidad de nuestro sistema de puesta a tierra.

Todas las técnicas de resistividad eléctrica se basan en que, la distribución de potencial eléctrico alrededor de un electrodo de corriente hincado en el suelo depende de la resistividad eléctrica del terreno que se encuentre a su alrededor. Característica intrínseca al medio en que se determina, de la misma manera que lo es su densidad o la permeabilidad, si es el caso del agua.

Hoy en día existe una gran variedad de configuraciones para los estudios a partir de la superficie. Un método que generalmente se emplea, consiste en la transmisión de corriente directa en el subsuelo, usando una configuración en la

que, un par de electrodos de corriente y un par de electrodos de potencial, se orientan a lo largo de una línea.

3.3.1 MÉTODO DE CAÍDA DE POTENCIAL

En el método de la caída de potencial, la corriente (I) que se genera se inyecta por el electrodo E_e (electrodo de tierra) y se hace regresar por el electrodo auxiliar de corriente E_c . Al pasar la corriente por la tierra, existirá una caída de voltaje (V) entre E_e y E_p , y finalmente se halla la resistencia desconocida por medio de la ley de ohm:

$$R=V/I$$

Donde

R = Resistencia a tierra

V = Voltaje leído entre el electrodo E_e y E_p

I = Corriente de prueba inyectada por el instrumento

Este método requiere que exista un espaciamiento entre E_e y E_c de 18 m, y entre E_e y E_p de 9m. Y el valor de la corriente varía entre 2 y 5 mili Amperios.

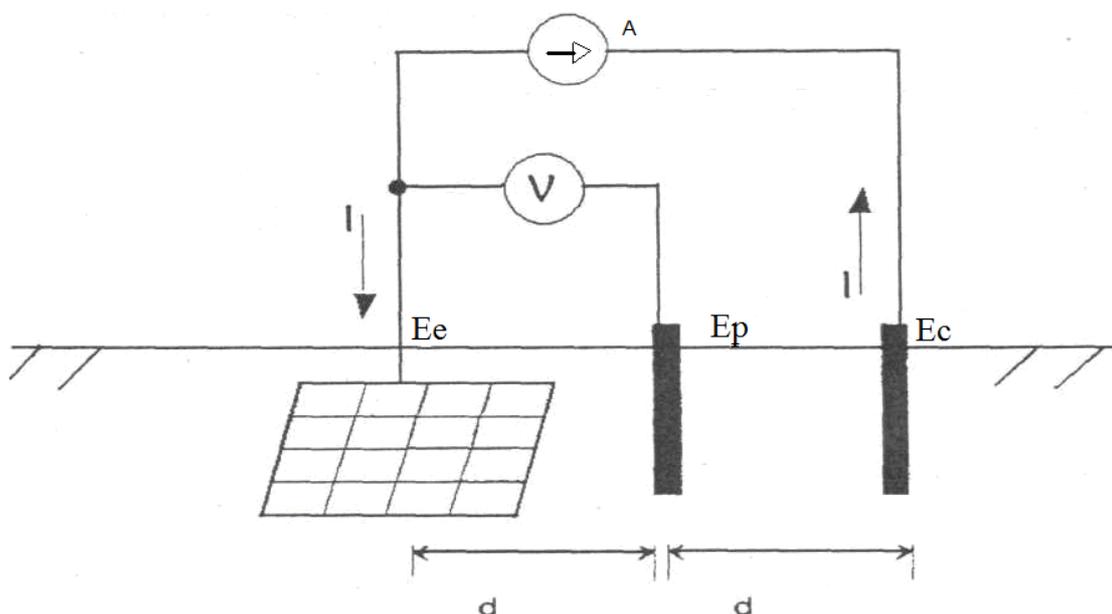


Fig. 3.2 MÉTODO DE LA CAÍDA DE POTENCIAL

E_p y E_c son electrodos auxiliares. E_e es el electrodo de tierra con resistencia desconocida.

I es la corriente que circula a través del amperímetro A .

V es el voltaje medido en el voltímetro a frecuencias mayores que la de la red.

Se desprecia la resistencia de los electrodos auxiliares E_p y E_c porque el valor del voltaje solo se considera entre los puntos E_e y E_p , y vale resaltar que los electrodos E_p y E_c son colocados a una distancia que debe ser 10 veces mayor que el radio del electrodo que se tiene en el punto E_e . Una vez determinada la corriente I se asume como constante.

Al graficarse los resultados, estos deberán corresponder a una curva ascendente (Véase figura 3.3).

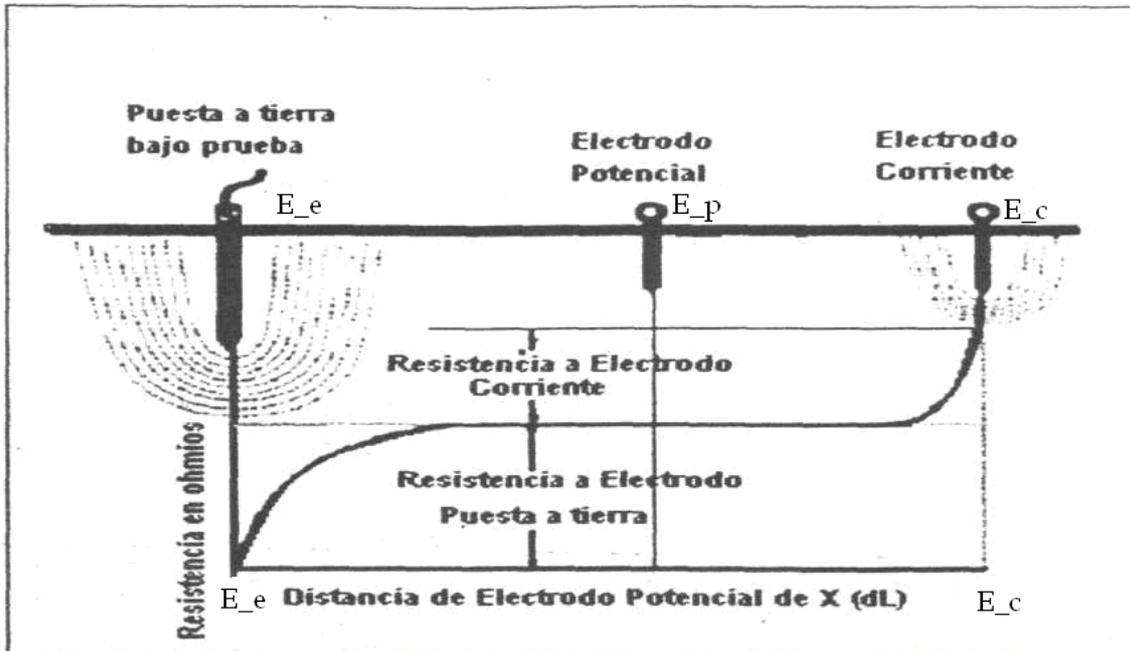


Fig. 3.3. Curva característica de la toma de datos

E_p y E_c son electrodos auxiliares. E_e es el electrodo de tierra con resistencia desconocida.

Las diferencias entre los distintos métodos de resistividad vienen dadas por la distinta disposición geométrica de los electrodos, pero la mayoría de los instrumentos empleados en la medición de resistencia a tierra se basan en el método de caída de potencial. A continuación se describe las configuraciones más comunes.

3.3.1.1 MÉTODO DE WENNER

En 1915, el Dr. Frank Wenner del *U.S. Bureau of Standards* desarrolló la teoría de este método de prueba, y la ecuación que lleva su nombre.

La configuración de Wenner (véase figura 4) es una disposición común para las mediciones de la resistividad. Cada electrodo de potencial está separado del electrodo de corriente adyacente una distancia a , igual a un tercio del espaciado de los electrodos de corriente.

Con la finalidad de medir la resistividad del suelo se hace necesario insertar los 4 electrodos en el suelo. Dichos electrodos se colocan en línea recta y a una misma profundidad de penetración, las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, y por el contrario no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra.

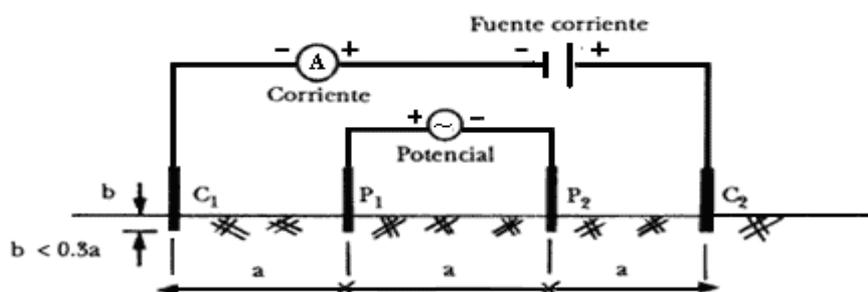


Fig. 3.4 Medición de la resistividad del suelo por el método de Wenner o de los cuatro electrodos. La distancia (**b**) o sea la profundidad a la que está enterrada la varilla (electrodo de cobre o acero) debe ser pequeña comparada con la distancia (**a**) entre electrodos. **C₁** y **C₂** son electrodos de corriente. **P₁** y **P₂** son electrodos de potencial. La fuente de corriente suministra un voltaje en DC igual a 22 voltios.

La ecuación exacta para el cálculo es:

$$\rho = \frac{4\pi a R}{\left(1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right)}$$

El Doctor Wenner encontró que, si la distancia enterrada (**b**) es pequeña comparada con la distancia de separación entre electrodos (**a**), la siguiente fórmula se puede aplicar:

$$\rho = 2\pi aR$$

Donde

ρ : Resistividad promedio en ohm-m

π : 3,1416

a : Distancia entre electrodos adyacentes en metros

b : Profundidad de enterramiento de los electrodos en metros

R : Resistencia eléctrica medida en ohms, dada por el instrumento

Nota: Se recomienda usar una relación de $a = 20b$

Como ejemplo, si la distancia entre electrodos a es de 3 metros, b es 0.15 metros y la lectura del instrumento es de 0.43 ohms, la resistividad del terreno a una profundidad de 3 metros, es de 8.10 ohms-m.

En este método se emplea corriente alterna para la medición, a una frecuencia de 133 Hz y el voltaje en circuito abierto es de 22 Voltios.

Los detalles de la operación varían de acuerdo con el instrumento particular empleado, pero el principio es común a todos. Se entierran cuatro varillas de cobre equiespaciadas, y se conectan las dos externas (C_1 y C_2 en la figura 3) a las terminales de la fuente de corriente, y las dos internas (P_1 y P_2 de la misma figura), varillas de potencial, a un voltímetro. El principio básico para este método es la inyección de una corriente directa o de baja frecuencia a través de la tierra entre dos electrodos C_1 y C_2 mientras que el potencial que aparece se mide entre dos electrodos P_1 y P_2 . Estos electrodos están enterrados en línea recta y a igual separación entre ellos.

Se recomienda que se tomen lecturas en diferentes lugares y a 90 grados unas de otras para que no sean afectadas por estructuras metálicas subterráneas, para después obtener el valor promedio.

3.3.1.2 MÉTODO DE SCHLUMBERGER

El método de Schlumberger es una alteración del método de Wenner (véase figura 3.5), ya que también emplea 4 electrodos, pero en el método de Schlumberger el operador expande el espaciamiento de los electrodos, aumentando la distancia entre los electrodos de corriente durante el transcurso de las mediciones. Y la distancia a la que se mueven los electrodos de potencia es pequeña.

La configuración, así como la expresión de la resistividad correspondiente a este método de medición se muestra en la figura 3.5

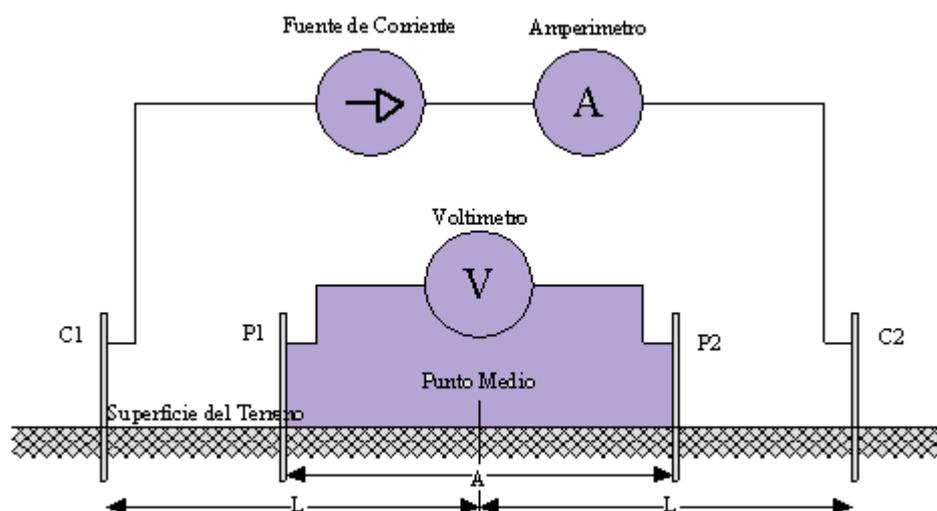


Fig. 3.5 Medición de la resistividad del suelo por el método de Schlumberger. Donde C_1 y C_2 son electrodos de corriente. P_1 y P_2 son electrodos (pequeñas varillas de cobre de 16 mm de diámetro 0.60 mm de longitud) de medición potencia eléctrica, inducido por la corriente inyectada. La fuente de corriente es de 120 voltios a frecuencia de 25 Hz.*

El punto medio **A** que es el centro de medición, se debe ubicar en el centro del terreno. La profundidad de enterramiento "**h**" de los electrodos **C1** y **C2**, y **P1** y **P2** no será mayor que 10 cm. En el caso que "**L**" sea igual o menor que 10 m. Pero, para valores de "**L**" mayores que 10 m, la profundidad de enterramiento "**h**" debe

ser mayor que 10 cm, no sobrepasando los 20 cm. La separación “L” entre el centro de medición y los electrodos de corriente “C1” y “C2”, y la separación “A” entre los electrodos se irán variando, y tomando las lecturas respectivas, de acuerdo al tamaño del terreno.

Se debe calcular la resistencia en cada medida, a partir de la ley de Ohm

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

Donde:

R : Resistencia medida en Ohm (Ω)

ΔV : Diferencia de potencial entre P1 y P2, medida en Voltios (V).

I : Corriente que circula entre C1 y C2, medida en Amperios (A).

Y para obtener el valor de la resistividad, para este método se usa la fórmula:

$$\rho = R \times \pi \times A \times \left[\left(\frac{L}{A} \right) - 0.25 \right]$$

Donde:

ρ : Resistividad aparente (Ohm-m).

R : Resistencia medida en Ohm (Ω)

L : Distancia de los electrodos de corriente con respecto al punto central.

A : Distancia de los electrodos de potencia con respecto al punto central.

El método de Schlumberger es de gran ventaja cuando se requieren conocer las resistividades de capas más profundas, sin necesidad de realizar muchas mediciones como con el método Wenner. Se utiliza también cuando los aparatos

de medición son poco inteligentes, para mediciones de la resistividad aparente. Solamente se recomienda hacer mediciones a 90° para que no resulten afectadas las lecturas por la presencia de estructuras subterráneas.

3.3.1.3. MÉTODOS CON DIPOLOS

Los métodos con dipolos son más recientes en comparación con las configuraciones de Schlumberger y de Wenner.

Método dipolo-dipolo

En la configuración de 2 dipolos, llamada configuración dipolo – dipolo (véase la figura 3.6) los electrodos de corriente usualmente están en distancia larga con respecto al par de los electrodos de potencial. Si el espaciamento de los electrodos de corriente ***a*** es igual al espaciamento de los electrodos de potencial ***b*** y la distancia entre los centros de los pares de los electrodos es $(n + 1) * a$, la resistividad aparente determinada por esta configuración se obtiene a través de la fórmula siguiente:

El producto $(n * a)$ entrega la distancia entre los dos pares de electrodos y $((n + 1) * a)$ es la distancia entre los centros de los dos pares de electrodos.

En la figura 3.6 se ilustra la posición de electrodos utilizado para llevar a cabo calicatas eléctricas manteniendo fija la separación entre electrodos pero moviendo todo el conjunto sobre el área de interés para detectar los cambios laterales de resistividad que pueden existir en un espesor determinado de terreno. De esta manera se obtienen datos suficientes para poder dibujar una pseudosección de resistividades aparentes del terreno, uniendo mediante líneas que formen 45° con la horizontal los puntos medios de los dipolos de cada posición.

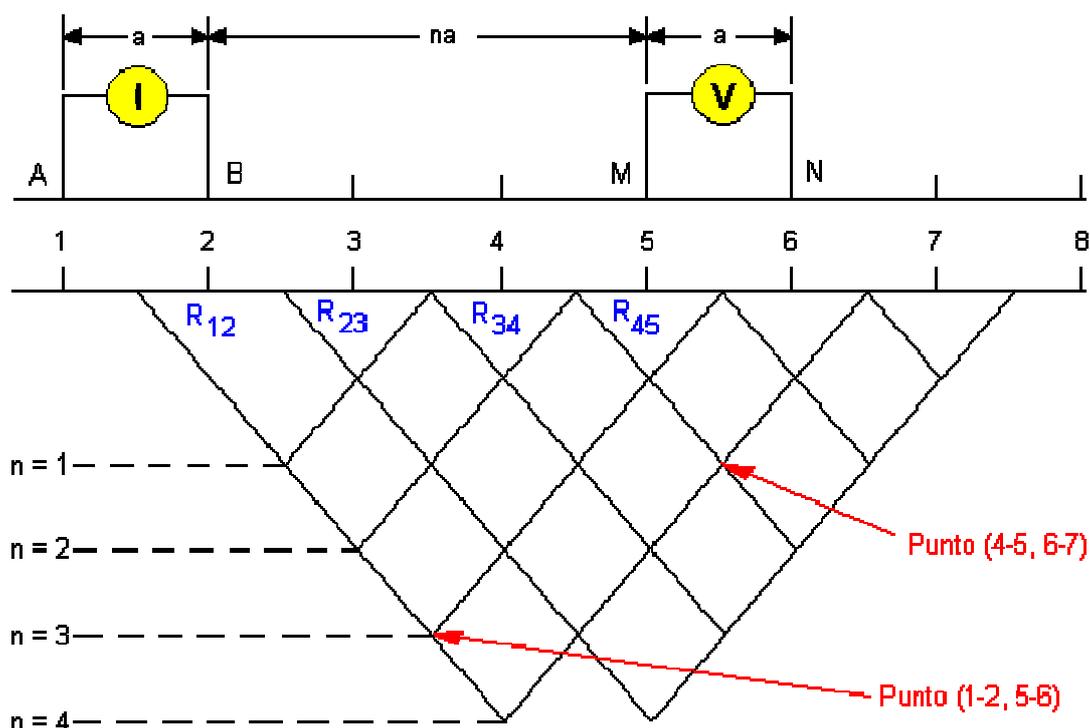


Fig. 3.6 Disposición de electrodos para la configuración Dipolo-Dipolo.

Donde V es el voltaje a 60 voltios Cuando la distancia de medidas es corta ($a < 1m$)

Método de dos dipolos

En la configuración de 2 dipolos, llamada configuración dipolo – dipolo (véase la figura puesta arriba) los electrodos de corriente usualmente están en distancia larga con respecto al par de los electrodos de potencial. Si el espaciamiento de los electrodos de corriente a es igual al espaciamiento de los electrodos de potencial b y la distancia entre los centros de los pares de los electrodos es $(n + 1) * a$, la resistividad aparente determinada por esta configuración se obtiene a través de la formula siguiente:

El producto $(n * a)$ entrega la distancia entre los dos pares de electrodos y $((n + 1) * a)$ es la distancia entre los centros de los dos pares de electrodos.

Todas las configuraciones de dipolos poseen las siguientes características comunes:

- Todas emplean unas fuentes y receptores similares.
- Todas responden a las estructuras más profundas en función del espaciamiento (de los electrodos) incrementándose en la misma manera.
- Todas tienden a responder más agudamente a las anomalías resistivas como en contrario a las anomalías conductivas.

CAPITULO 4

CONSTRUCCIÓN DE UN APARATO PARA MEDIR LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

El aparato construido mide la resistencia de tierra con relación a la puesta a tierra de la instalación. Como se sabe, para garantizar la seguridad de la instalación, todos los componentes de un sistema deben tener una misma tensión de referencia por eso la resistencia de tierra debe ser lo más baja posible, para protección de conexiones de pararrayos, edificios, instalaciones industriales, conexiones a tierra de componentes y equipos eléctricos en general.

Con el desarrollo de técnicas de Innovación, Investigación, Tecnología y Desarrollo (I & I & T & D), los elementos componentes de este aparato fueron elaborados en conformidad con los datos obtenidos en el manual ya existente.

4.1 DATOS TÉCNICOS

Voltaje a circuito abierto: 60 Vpp aproximado AC.

Frecuencia de operación: 100-125-150-175-200 Hz (a elegir).

Potencia de operación: 1 W máximo

Alimentación de la fuente: 1 batería de 12 V DC.

4.2 CARACTERÍSTICAS

4.2.1 ESPECIFICACIONES

- ✓ 2 Display LCD (1 de corriente y 1 de frecuencia)
- ✓ Alimentación: batería 12 V- corriente 3 A

- ✓ 2 pulsadores elegibles de frecuencia
- ✓ 3 conductores de cobre desnudo (externos)

4.2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Fuente:

Alimentación: 12 V DC

Frecuencia: 100-125-150-200 Hz

Voltaje: 60 Vpp

Voltímetro:

Escala: 0-60 V (presición 1 V)

Amperímetro:

Escala: 0-1A

El galvanómetro construido es de baja sensibilidad ya que mide la corriente desde 5 mA.

4.3 GENERALIDADES

Este instrumento se basa en el método de caída de potencial, la corriente (I) que se genera se inyecta por el electrodo E_e y se hace regresar por el electrodo auxiliar de corriente E_c . Al pasar la corriente por la tierra, existirá una caída de voltaje (V) entre E_e y E_p , y finalmente se halla la resistencia desconocida por medio de la ley de ohm ($V=IR$). Este método requiere que exista un espaciamiento entre los electrodos E_e y E_c de 4 m, y entre E_e y E_p de 2m.

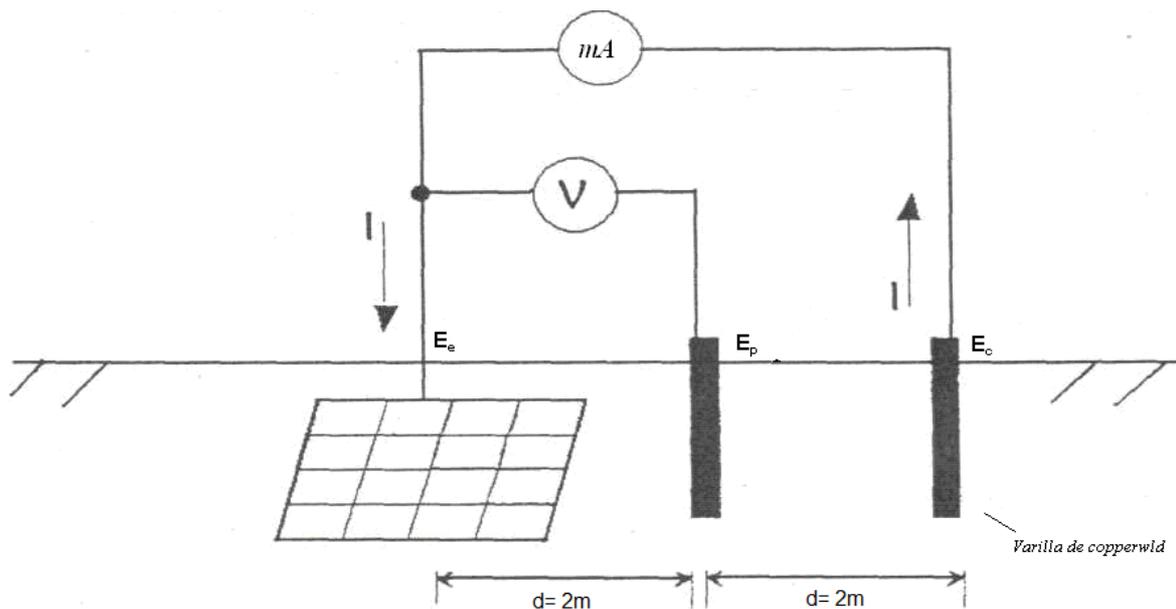


Fig. 4.1 Principio de funcionamiento

Para la medida de la resistencia de tierra, el factor más importante es la ubicación de los electrodos E_e y E_p (electrodo de tierra y electrodo auxiliar), estos deben ubicarse siempre a igual distancia. Es insignificante el diámetro de los electrodos, pero el electrodo de tierra E_e y el electrodo auxiliar E_c deben estar colocados en una línea recta mientras que el electrodo auxiliar E_p debe colocarse entre el electrodo de tierra y el electrodo auxiliar.

La distancia entre electrodos se considera como un valor promedio aplicado a casos prácticos, pudiendo ser cambiada si la distancia elegida no es conveniente.

Las medidas no deben realizarse con corriente continua, debido a que el resultado puede ser erróneo por efectos de polarización. Y, se debe evitar influencia de corrientes parásitas y sus armónicos, de modo que se eligen frecuencias diferentes a la frecuencia de la red que oscila entre 100 y 200 Hz.

4.4 PRINCIPIO DE MEDIDA

El instrumento construido trabaja con una fuente que es alimentada con una batería de 12 voltios, debido a que las baterías usuales de 3 voltios no

generaban la corriente de 1 amperio requerida. Desde el generador de corriente, que es la fuente a utilizar en corriente alterna circula a través del electrodo de tierra E_e una corriente I . Dicha corriente se consigue gracias a la técnica SPWM (método para convertir una señal DC en AC) que genera una señal sinusoidal, para luego elevar el voltaje a 60 Vpp en AC a la salida del transformador. Usa un micro-procesador AT89C51 (ATMEL 89C51) que por medio de logaritmos genera la señal emitida por los tips. Los capacitores que forman parte del circuito permiten mejorar la señal sinusoidal (filtros).

4.4.1 TÉCNICA SPWM

El Hardware de este circuito consta de un microcontrolador AT89C52 el cual cumple la función de generar los pulsos mediante la técnica SPWM que es el método de control electrónico para la conversión de una onda continua a una onda alterna sinusoidal con variaciones en frecuencia. La frecuencia de la onda moduladora determina el índice de modulación. Y cambiando el índice de modulación se puede variar el valor rms del voltaje de salida y mejorar significativamente los factores de distorsión de la señal.

4.4.2 DISEÑO ELECTRONICO

Para el diseño electrónico se consideraron el circuito de acondicionamiento para la señal sinusoidal de la fuente y el microcontrolador.

4.4.2.1 MICROCONTRALADOR AT89C52

El desarrollo del sistema está hecho en el microcontrolador AT89C52 (Figura AT89C52), este se encargara de guardar toda la información de los datos que componen una señal seno común y se almacenara el programa que permite la manipulación de estos datos para generar la señal seno con variaciones de frecuencia.

Las características más relevantes por las que se eligió este microcontralador son las siguientes:

- Comunicación serial
- Gran capacidad de memoria
- Cantidad de puertos disponibles para trabajar como entrada o salida

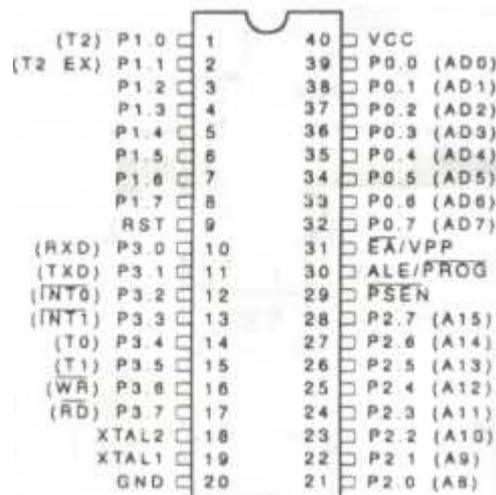


Fig. 4.2 Microcontralor AT89C52

4.4.2.2 APLICACIONES DEL MICROCONTROLADOR

Una de las funciones más importantes, es en bioingeniería donde se utilizan los generadores de señales y otras aplicaciones como para la generación de señales sinusoidales, que tienen aplicación en:

- En experimentos con ADN, donde se usan ondas sinusoidales a ciertos genes y se comparan con otros tipos de onda, ejemplo las ondas cuadradas.
- En experimentos psiquiátricos, en pacientes con esquizofrenia a los cuales se les coloca como tarea seguir ondas sinusoidales suaves y se encontró que existe una deficiencia en estos pacientes para hacer seguimientos a este tipo de ondas.
- Usados en test oculares. Se usa frecuencia especial baja para adaptar detección del rojo-verde.

4.4.2.3 PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR

En el diagrama ilustrado se muestra el diagrama de flujo del programa principal, y el diagrama de flujo de interrupción existente en el microcontrolador.

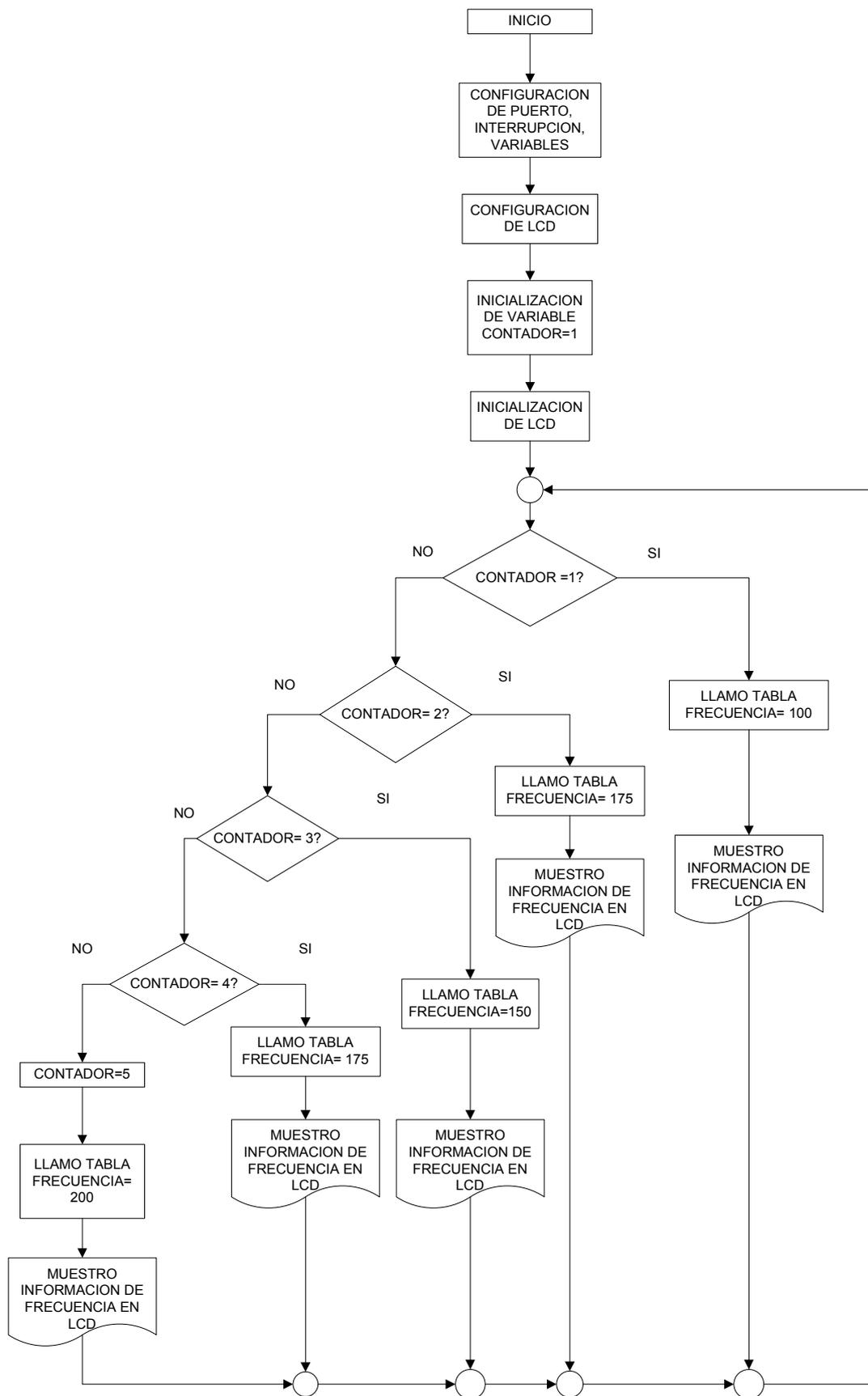


Fig. 4.3 Diagrama de flujo principal

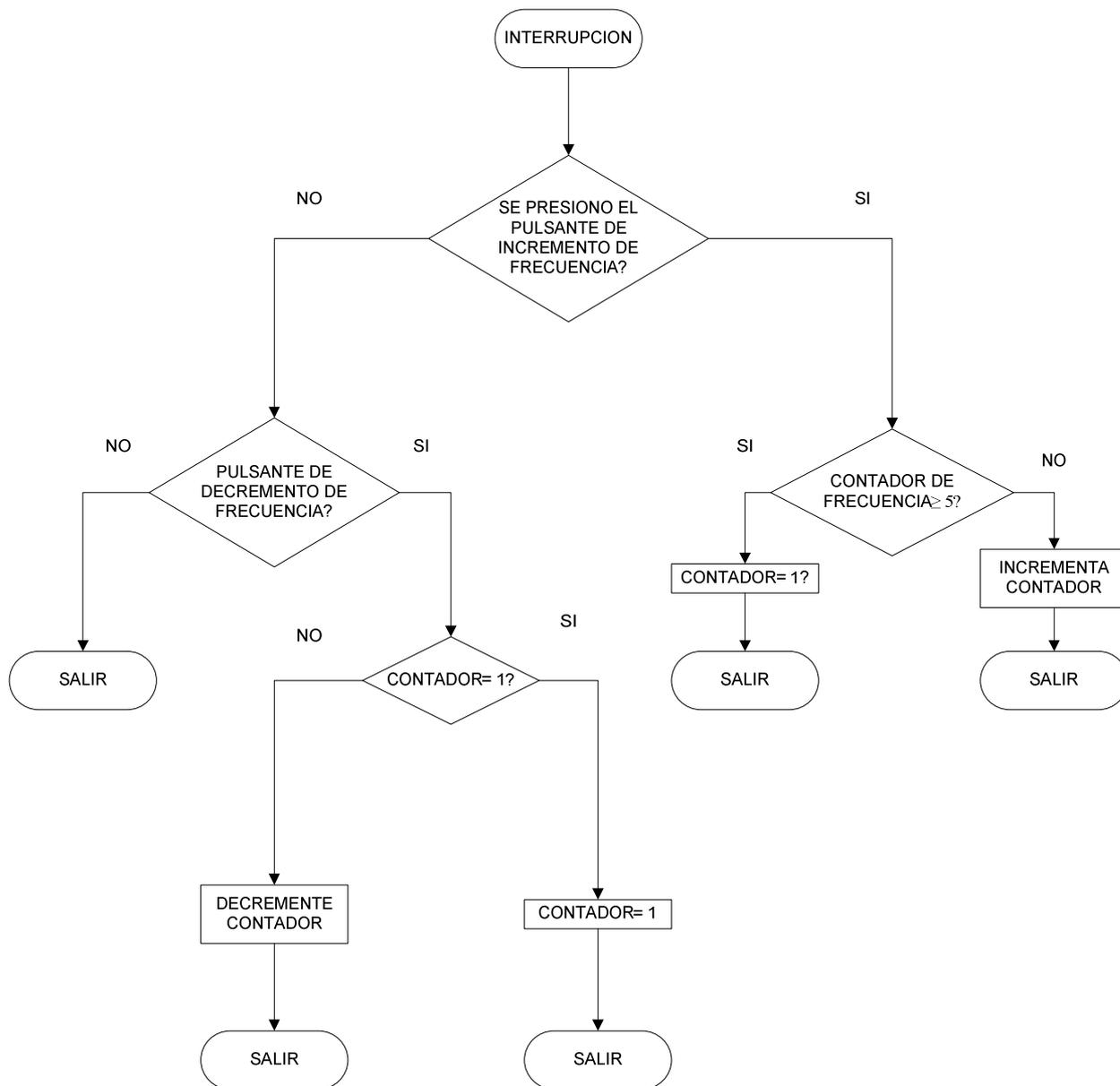


Fig. 4.4 Diagrama de flujo de interrupción

4.4.2.4 CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO PARA LA SENAL SINUSOIDAL DE LA FUENTE

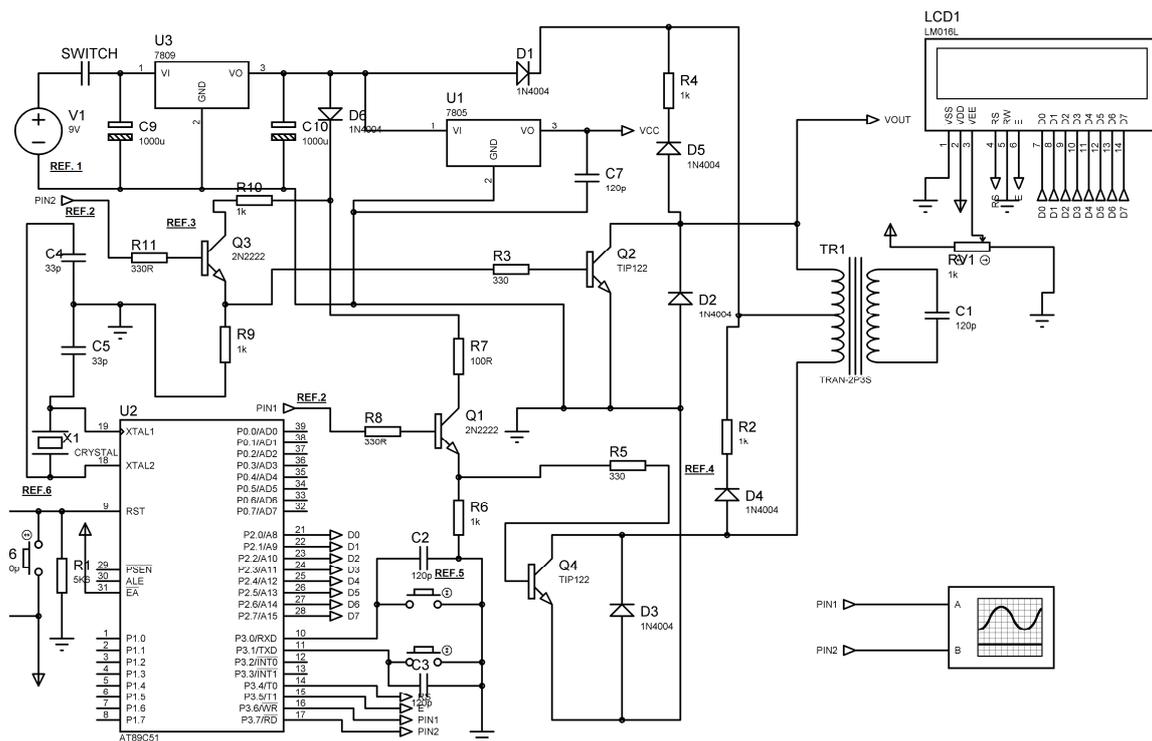


Figura 4.5 Esquema general de conexión del microcontrolador

Fuente de alimentación

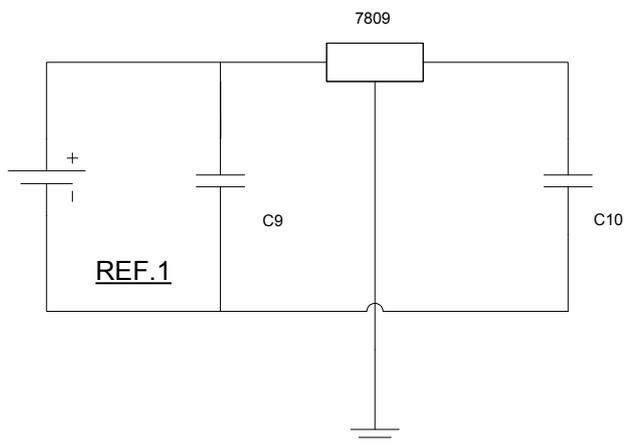


Figura 4.6 Acondicionamiento para la fuente

Este diagrama representa la fuente de alimentación de 9 V. El regulador de tensión 7809 permite obtener una señal continua. El valor de los capacitores es de $1000\mu\text{F}$ debido a que con valores mayores a $470\mu\text{F}$ se mejora el rizado. C9 filtra la tensión de posibles transitorios y picos indeseables, mientras que C10 disminuye la tensión de rizado de salida y evita oscilaciones.

Acondicionamiento para el transformador

El circuito de la figura muestra el acondicionamiento usado para una parte de la bobina del transformador, debido a que se trabaja con un transformador con tap central. Esta forma de conexión garantiza que, en el momento en que la base de Q3 o Q1 (transistores de potencia), es 1 lógico se recibe la señal del PIC y switchea controlando al transistor de potencia Q2 que es el encargado de enviar una señal al transformador. La corriente que fluye viene determinada por:

$$I_c = 0,8A \rightarrow (\text{Valor máximo de datasheet})$$

$$I\beta > \frac{I_c}{\beta}$$

$$I\beta > \frac{0,8A}{300}$$

$$I\beta > 2,6mA \rightarrow \text{Mínima corriente en base de 2N222 para su funcionamiento.}$$

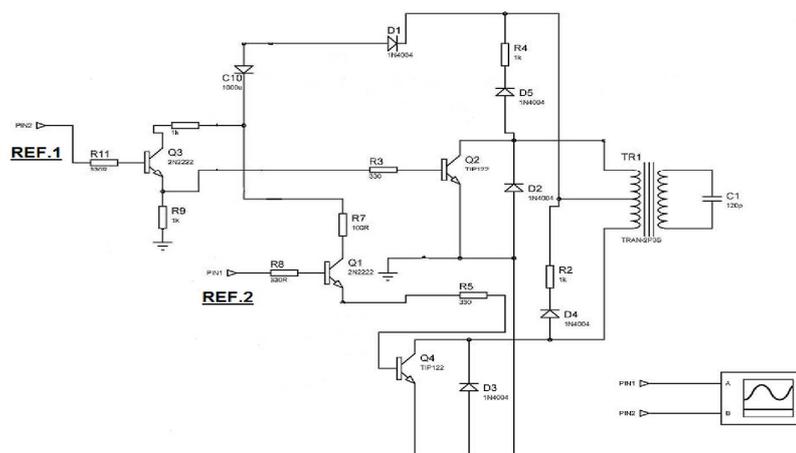


Figura 4.7 Acondicionamiento para el transformador

Por lo tanto se elige una corriente que este dentro del requisito: 15 mA.

R11 y R8:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5V}{15mA} = 330\Omega_{aprox.} \Omega$$

El circuito de la figura 4.8 corresponde al circuito equivalente en el momento de cierre de Q3, el cual permite el cálculo de la resistencia de base para el tip 122 Q2.

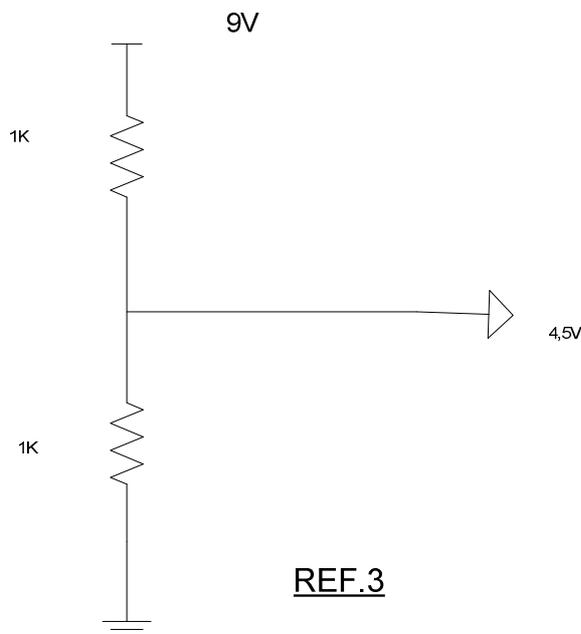


Figura 4.8 Salida del transistor Q1

Circuito que funciona como limitador de corriente y divisor de voltaje.

Los transistores NPN 2N2222 de potencia suministran el voltaje adecuado a las bobinas del transformador elevador. La corriente que fluye por Q1 (transistor de potencia) viene dada por:

$$I_c = 4A \rightarrow \text{Valor mínimo de datasheet}$$

$$\beta = 2500$$

$$I\beta > \frac{4A}{2500}$$

$$I\beta > 1,6mA \rightarrow \text{Mínima corriente en la base para el funcionamiento del tip 122.}$$

Por lo tanto se elige una corriente que este dentro del requisito: 15 Ma.

R3 y R5:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{4,5V}{15mA} = 330\Omega \text{aprox.}$$

4,5 V \rightarrow salida de transistor de switches (Q3 y Q1).

En el circuito mostrado de la figura 4.9, R2 permite que la corriente almacenada en la bobina tenga un camino para circular, y la carga para que se desenergice.

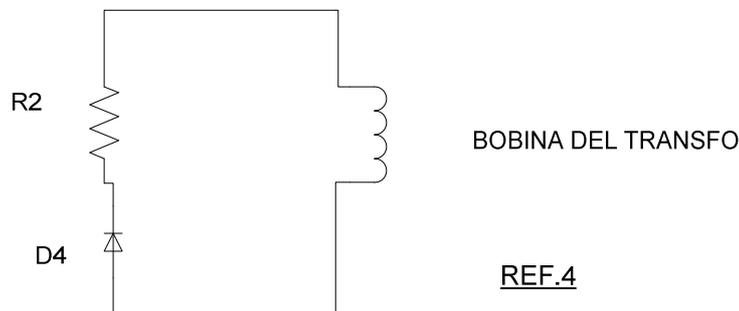


Figura 4.9 Acondicionamiento de protección para la bobina

Los diodos D2 y D3 protegen los transistores de los picos de voltaje generados por las bobinas al momento de desenergizarlos.

En la entrada del PIC la corriente que puede sacar el μC es de 25 mA.

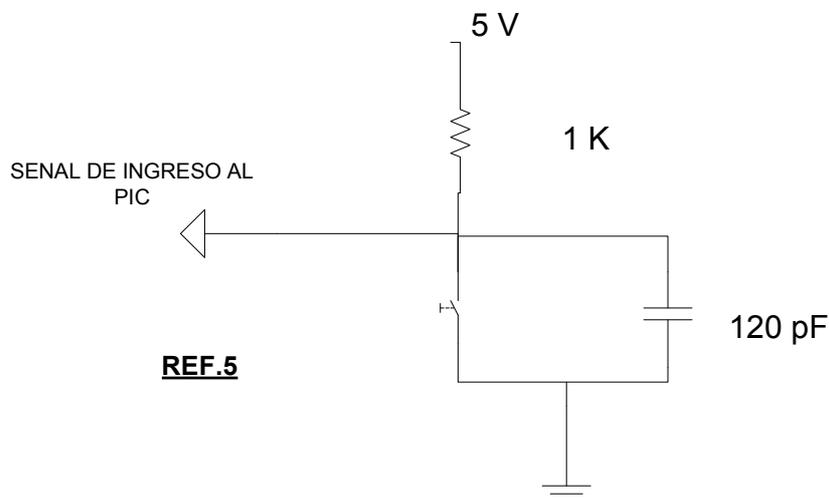


Figura 4.9 Acondicionamiento del pulsante

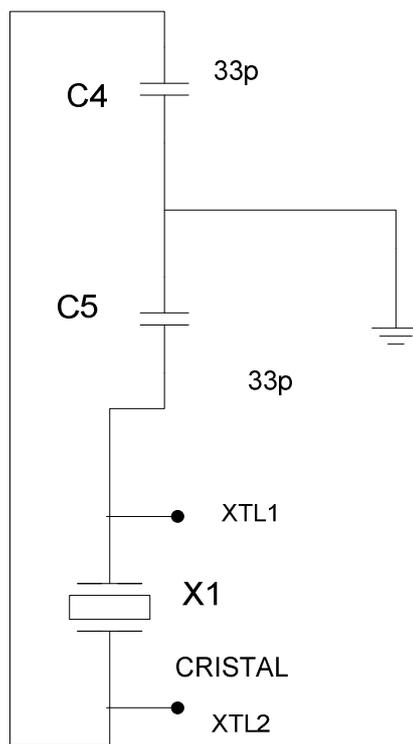
$$I = \frac{V}{R} = \frac{5V}{1K} = 25mA$$

Por tanto esta corriente esta dentro de los límites permitidos.

El capacitor funciona como un anti rebote permitiendo amortiguar los golpeteos mecánicos realizados por el pulsante al ser presionado el switch.

El circuito completo trata de un inversor de voltaje, es decir convierte el voltaje DC en AC. El transformador fue elegido para elevar el voltaje tal que llegue al voltaje de línea de 60 V. Y se requería que fuera mínimo de 3 A debido a que el transistor que lo controla (tip 122) requiere a la salida hasta 4 A.

CARACTERISTICAS DEL CRISTAL



REF.6

Figura 4.10 Acondicionamiento del cristal

De los terminales del cristal llega al PIC, XTAL1 que es entrada y XTAL2 que es salida para la inversión del amplificador, ambos pueden ser usados desde un pulso externo de la fuente. El valor de los capacitores para el cristal fue elegido según las especificaciones establecidas por el fabricante.

4.4.3 AMPERIMETRO

El mili amperímetro fue construido debido a que en el mercado no se encuentra a la venta un amperímetro de estas características (escala en mA). La corriente

medida está en un rango de 5 mA a 1 A, que se obtiene gracias a un amplificador y una resistencia de entrada muy baja de modo que esta resistencia limita el paso de la corriente de entrada al amplificador.

4.5 MANUAL DEL USUARIO

El instrumento construido inicia su funcionamiento a través de un PULSATE ON-OFF/Fuente colocado en la placa de montaje el cual enciende la fuente de corriente, permitiendo al operador comandar el sistema. Al aplastar dicho pulsante seguidamente, se observa que se enciende el display y el mensaje PROYECTO-FREQ. Mientras que en el voltímetro conectado en serie con la fuente, se inducirá un voltaje debido a la corriente emitida por la fuente.



Fig. 4.5 Instrumento para medir la resistividad del suelo

Luego de encender la fuente, se deberá encender el Amperímetro mediante el pulsante ON-OFF/Amperímetro.

4.6 LCD (DISPLAY DE CRISTAL LÍQUIDO)

4.6.1 Introducción a LCD

Antes de aparecer los módulos LCD, los diseños electrónicos utilizaban los Displays de siete segmentos para poder mostrar la información, en la actualidad existen los módulos LCD o pantallas de cristal líquido la cual tiene la capacidad de mostrar cualquier carácter alfa numérico. Estos dispositivos ya vienen con su pantalla y toda la lógica de control pre-programada en la fábrica y su ventaja radica en que, el consumo de corriente es mínimo y no se tendrán que organizar tablas especiales como se hacia anteriormente con los displays de siete segmentos.

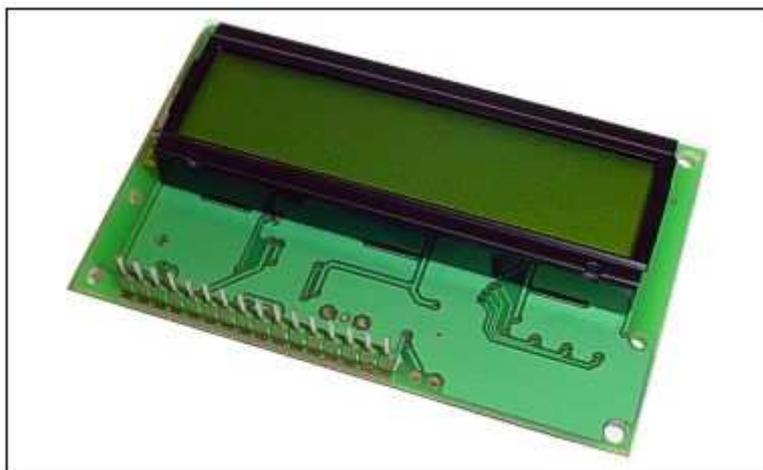


Fig. 4.5 Módulo LCD

4.7 CONTRASTACION

Para este proceso acudimos al laboratorio de Circuitos Eléctricos de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, y procedimos a usar resistencias en escala decimal usado para contrastación de equipos. Donde obtuvimos los siguientes resultados:

Resistencias bajas

$R_{(\text{patrón})}$	$I_{(\text{medida})}$	$V_{(\text{medido})}$	$R_{(\text{calculado})}$	Error $_{(\text{calculado})}$
30 Ω	0,06 A	1,74 V	29 Ω	33 %
43 Ω	0,32 A	13,52V	42 Ω	23 %
56 Ω	0,34 A	18,4 V	54 Ω	35%
89 Ω	0,37 A	32,2 V	87 Ω	22%
94 Ω	0,36 A	33,21V	92 Ω	21%

Resistencias altas

$R_{(\text{patrón})}$	$I_{(\text{medida})}$	$V_{(\text{medido})}$	$R_{(\text{calculado})}$	Error $_{(\text{calculado})}$
98 Ω	0,33 A	33,4 V	101 Ω	29 %
114 Ω	0,31 A	34,72 V	112 Ω	17 %
123 Ω	0,32 A	38,52 V	120,4 Ω	24%
122 Ω	0,36 A	45,12 V	125,3 Ω	24,6%
150 Ω	0,34 A	50,0 V	147,1 Ω	15%

4.7.1 Teoría de errores

Se producen siempre errores de medición al usar dispositivos para medir y comparar magnitudes, las causas de estos errores son:

- a) Errores de fabricación
- b) Errores ambientales
- c) Errores de montaje
- d) Errores personales

Errores de aparatos de medida:

Todo aparato de medida tiene cierto error o inexactitud que se debe a la construcción del aparato, y otras veces al desgaste durante el funcionamiento del aparato.

Condiciones normales de funcionamiento de un aparato:

Todos los equipos son fabricados para su funcionamiento óptimo, pero los constructores de aparatos de medida no garantizan la tolerancia ni exactitud de dichos aparatos.

Condiciones anormales de un aparato de medida:

Los más importantes errores adicionales son los que se expresan a continuación:

1. Error por temperatura: Se produce cuando el aparato funciona fuera de los límites de temperatura, en estas condiciones varían las propiedades de los aparatos usados en la construcción.
2. Error de forma de onda: Depende de la deformación de forma de onda sinusoidal, y aparece en los aparatos cuyo momento motor depende del valor medio de los valores de la corriente alterna que miden.
3. Error de posición: Se produce cuando se desplaza el centro de gravedad de los aparatos. Este error puede resultar importante en aparatos cuyo eje de orientación es horizontal.
4. Error por influencia de campos magnéticos exteriores: Este error depende de los campos magnéticos presentes en el exterior del aparato, y por tanto de las intensidades, frecuencias, direcciones de dichos campos, etc.

4.8 VALORES OBTENIDOS DE RESISTIVIDAD EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA

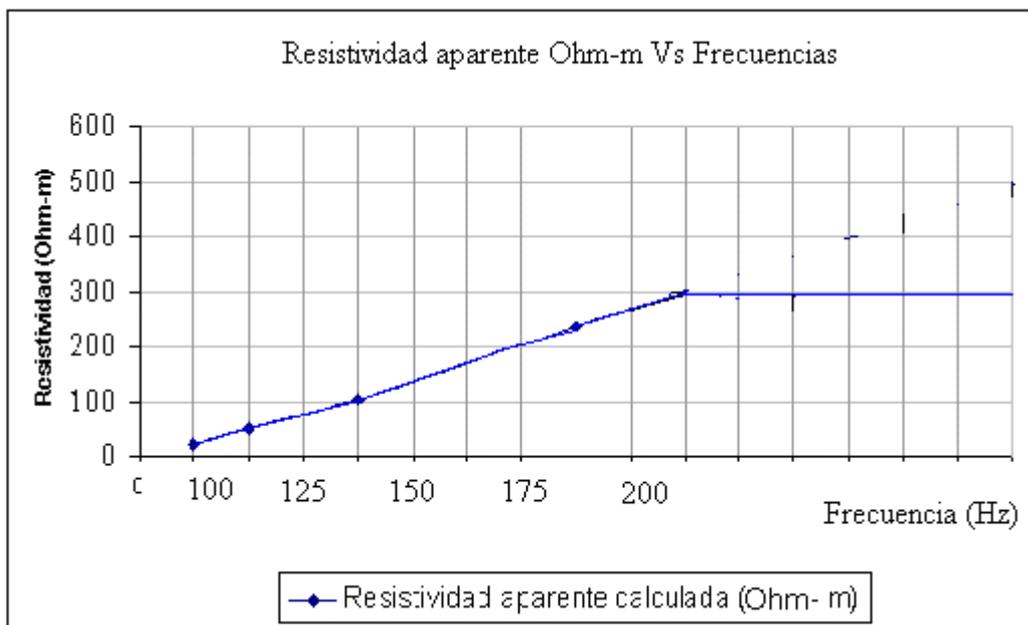


Fig. 4.6 Gráfica de la resistividad en diferentes valores de frecuencia

La gráfica mostrada en la figura 4.4 indica valores de la resistividad que detalla:

- A frecuencia de 100 Hz, se midió la resistividad a las 9:00 am, y se obtuvo una resistividad de 60Ω-m.
- A frecuencia de 125 Hz, se midió la resistividad a las 10:30 am, y se obtuvo una resistividad de 100Ω-m.
- A frecuencia de 150 Hz, se midió la resistividad a las 11:30 am, y se obtuvo una resistividad de 140Ω-m.
- A frecuencia de 175 Hz, se midió la resistividad a las 1:30 pm, y se obtuvo una resistividad de 200Ω-m.
- A frecuencia de 200 Hz, se midió la resistividad a las 2:30 pm, y se obtuvo una resistividad de 300Ω-m. Y al llegar a este valor la resistividad se estabilizó.

De la gráfica y los valores obtenidos podemos concluir que, la propia tierra presenta una resistividad muy heterogénea, y el valor final de la resistencia del sistema dependerá fundamentalmente de las características que tenga el propio terreno.

CAPÍTULO 5.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Los resultados técnicos y económicos de este proyecto son satisfactorios ya que concuerdan con lo deseado y lo previsto al inicio de este proyecto ya que permite obtener valores de resistencia con errores casi normales.

Este proyecto es de fácil manejo por lo que permite que el prototipo pueda ser operado por cualquier persona sin necesidad que esta tenga conocimiento técnicos. Bajo un correcto manejo del prototipo se garantiza su buen funcionamiento del sistema de control durante largo tiempo ya que los fabricantes (ATMEL) del microcontrolador de la familia AT garantiza un perfecto funcionamiento de sus productos durante un tiempo estimado de 40 años.

Todos los terrenos presentan una resistividad muy heterogénea, y el valor final de la resistencia del sistema dependerá fundamentalmente de las características que tenga el propio terreno.

El factor más importante de la resistencia a tierra no es el electrodo en sí, sino la resistividad del suelo mismo, por ello es requisito conocerla para calcular y diseñar la puesta a tierra de sistemas.

Debido a que todos los instrumentos son electrónicos se nota que existen muchas interferencias por ruido electrónico.

RECOMENDACIONES

Es importante que los estudiantes de la ESFOT se interesen por elaborar nuevos temas de tesis relacionados con este tema, ya que es un aspecto técnico de relevada importancia y los diversos métodos que se pueden aplicar sugieren nuevas investigaciones. En caso, de que en el futuro se construyan nuevos

instrumentos similares a este, se recomienda obtener directamente los valores de resistencia para mejorar la precisión del instrumento. O construir un Ohmetro de mayor precisión.

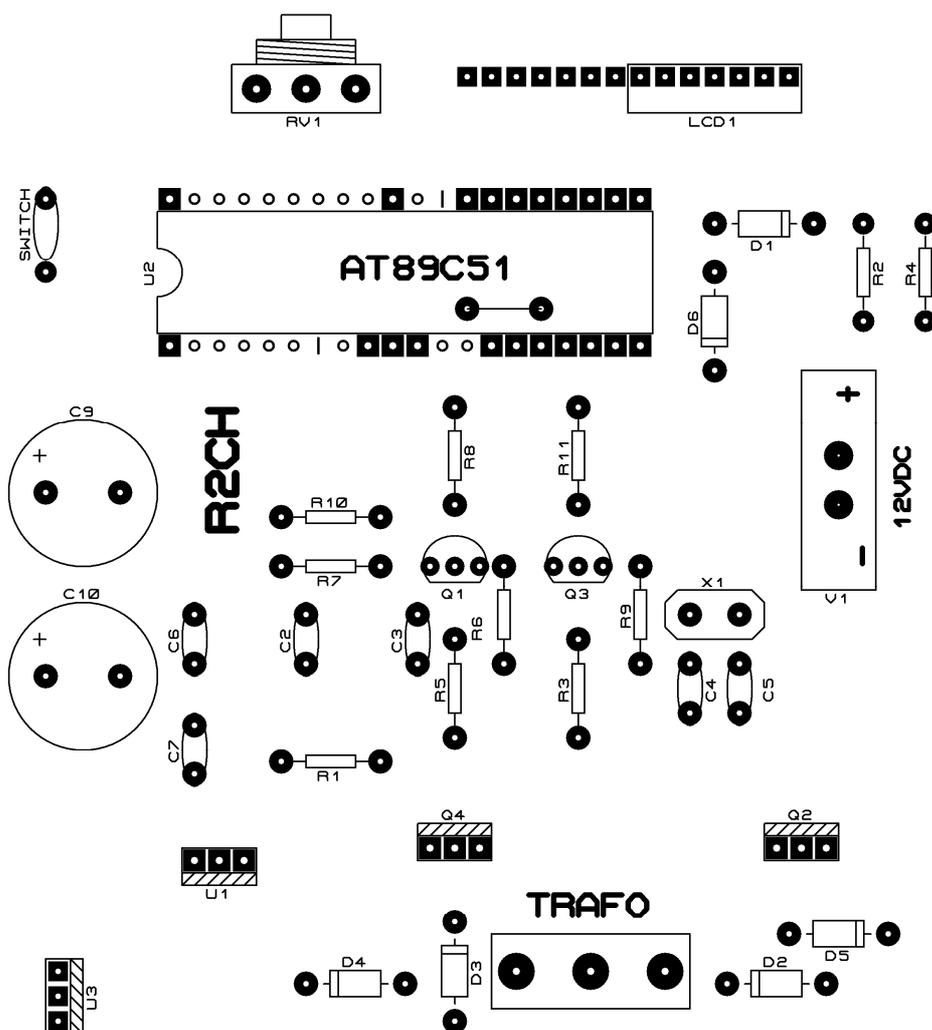
Este modulo por ningún motivo se lo debe hacer funcionar sin que los Tips y los reguladores de voltaje tengan su respectivo disipador de calor puesto que se pueden quemar.

ANEXOS

ANEXO 1.1

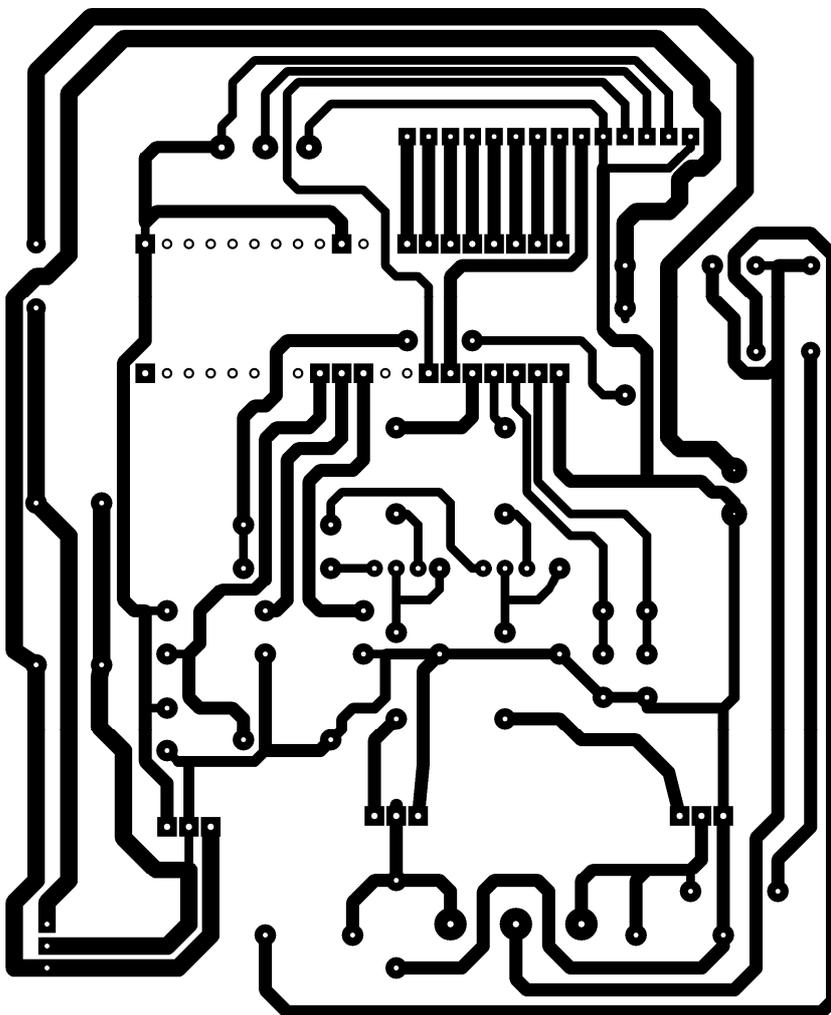
En la gráfica que se presenta a continuación se muestra de manera detallada el diagrama esquemático del circuito de la fuente, este circuito facilitará la elaboración de nuevas fuentes para uso profesional.

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO DE LA FUENTE



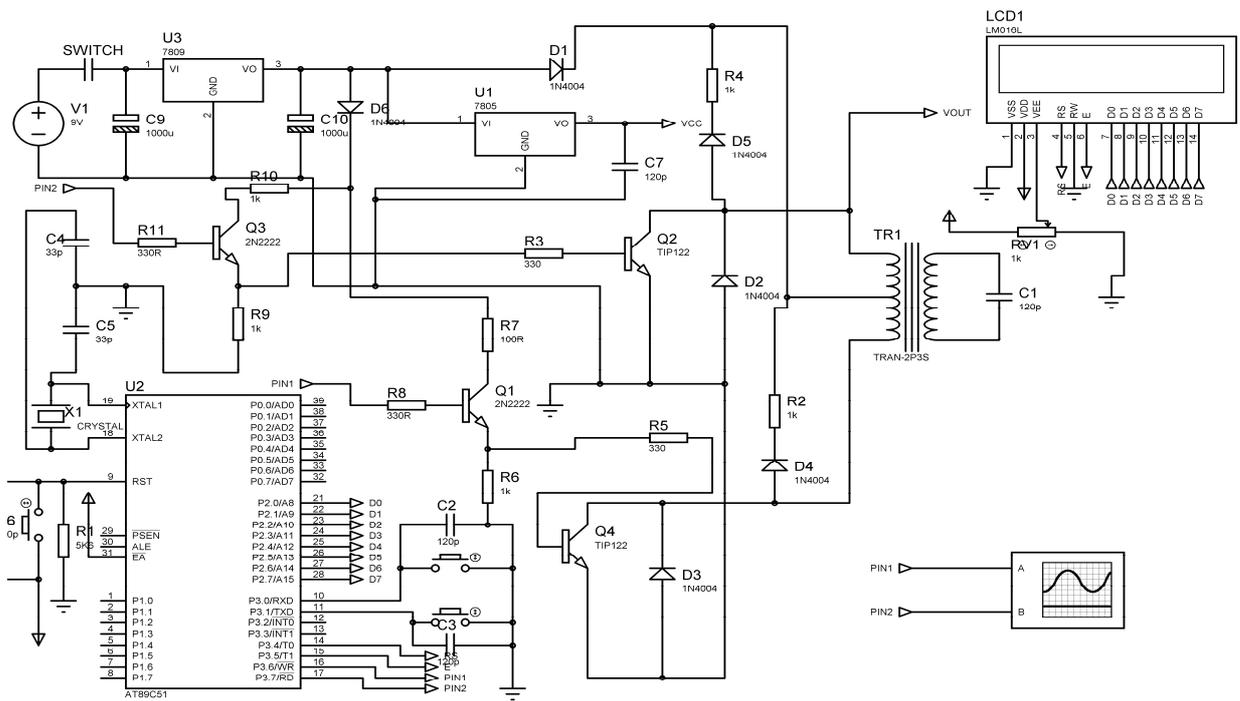
ANEXO 2

En la gráfica que se presenta el CIRCUITO IMPRESO DEL CIRCUITO DE LA FUENTE



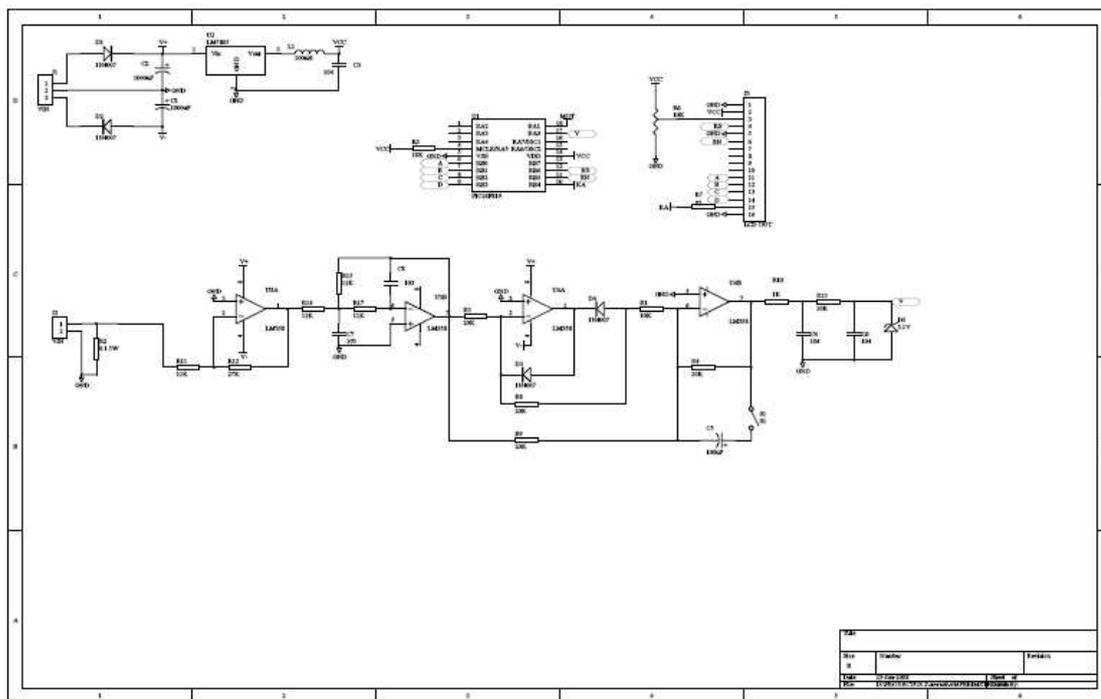
ANEXO 3

En la gráfica que se presenta el DIAGRAMA CIRCUITAL DE LA FUENTE



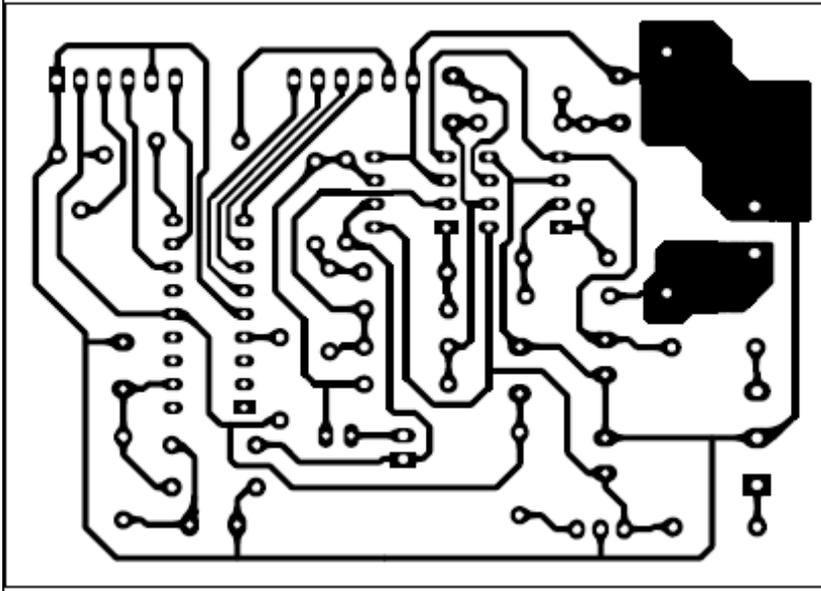
ANEXO 4

En la gráfica que se presenta el DIAGRAMA CIRCUITAL DEL AMPERÍMETRO



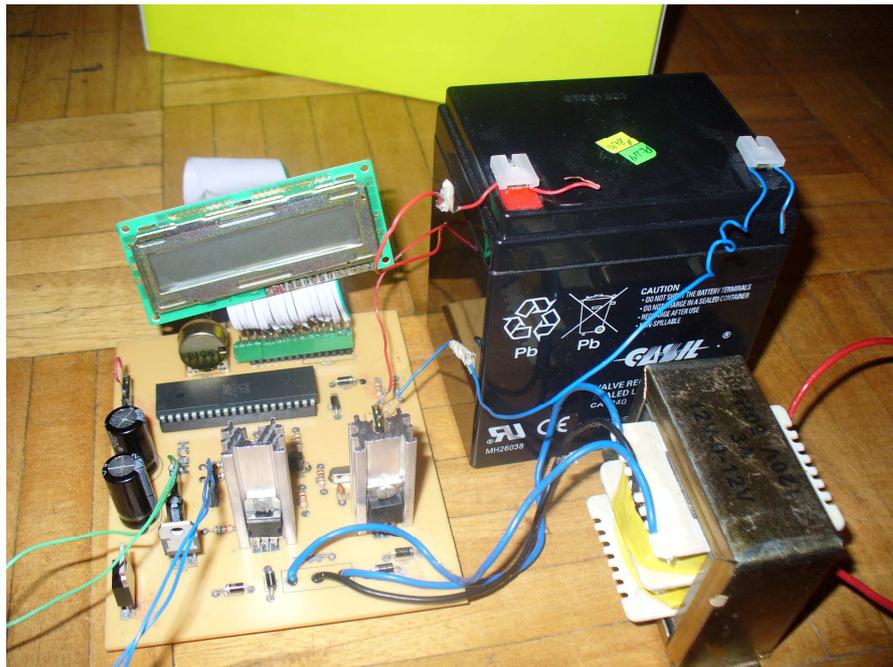
ANEXO 5

En la gráfica que se presenta el CIRCUITO IMPRESO DEL AMPERÍMETRO



ANEXO 5

En la gráfica que se presenta **FOTOGRAFÍA DE LA FUENTE**



ANEXO 6

En la gráfica que se presenta una **FOTOGRAFIA DEL INSTRUMENTO**

**FOTOGRAFIA DEL INSTRUMENTO**

BIBLIOGRAFÍA

- INSTALACIONES ELÉCTRICAS INTERIORES; José Ramírez Vásquez
- PUESTA A TIERRA EN EDIFICIOS Y EN INSTALACIONES ELECTRICAS; José C. Toledano Gasca, Juan J. Martínez Requema
- www.construmatica.com/construpedia; Instalaciones de Puesta a Tierra
- ESPECIALIDADES ELÉCTRICAS, LECTURA DE PLANOS, CÓDIGO, TEORÍA INSTALACIÓN; Mullin, Ray C.
- www.procobreperu.org/c_mallas.pdt.; Sistemas de Puesta a Tierra
- www.wikipedia.com, Puestas a tierra y resistividad del terreno
- TEORÍA DE ERRORES; Elena Vass

