



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

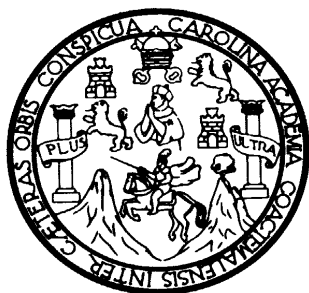
ATERRIZADO Y BLINDAJE PARA AUDIO

Marco Antonio Mendoza Leonardo

Asesorado por: Ing. MSc. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Guatemala, abril de 2,001

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ATERRIZADO Y BLINDAJE PARA AUDIO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR

MARCO ANTONIO MENDOZA LEONARDO

Asesorado por: Ing. MSc. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ABRIL DE 2001

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

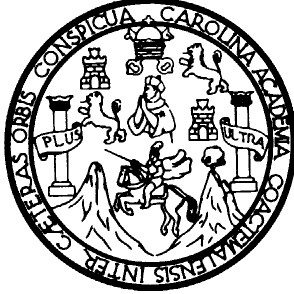


NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL III	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL IV	Br. Mónica Gabriela Palma Cajas
VOCAL V	Br. Sergio Fernando Juárez Pernillo
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. José Luis Herrera Gálvez
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Adolfo Villeda Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ATERRIZADO Y BLINDAJE PARA AUDIO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Eléctrica con fecha 19 de mayo de 2,000 Ref. EIME. 101.2000

Marco Antonio Mendoza Leonardo

DEDICATORIA

A DIOS

”Hijo mío, está atento a mí sabiduría, y a mí inteligencia inclina tu oído, para que guardes consejo, y tus labios conserven la ciencia” Prov. 5: 1-2

A MIS PADRES

Marco Antonio Mendoza González

Gloria Esperanza Leonardo de Mendoza

A MIS FAMILIARES

En general, por su apoyo y comprensión desde mis inicios

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de San Carlos de Guatemala por los conocimientos académicos que me permitió adquirir, en especial al personal docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica, por su dedicación a la enseñanza y a la formación profesional.

A Iglesia Cristiana “Verbo” Z.16 , Grupo de ancianos y personal de mantenimiento. Por su apoyo profesional y espiritual durante la realización del estudio aplicado en sus instalaciones y el tiempo de conocernos. De manera especial a el Ing. Milton Echeverría.

A Escuela Cristiana “Verbo” Z.16, Departamento administrativo y personal de mantenimiento. Por el apoyo y la confianza, que me brindaron al realizar los trabajos.

A el Ing. Jorge Arana, a Rolando López Orizabal y personal de SISELEC, por su atención y asesoría profesional durante la realización de los trabajos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VI
RESUMEN.....	X
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
1. PERSPECTIVA DEL RUIDO EN SISTEMAS DE AUDIO.....	1
1.1 Aproximación al sistema.....	1
1.2 Interferencia electromagnética o EMI.....	1
1.2.1 ¿Qué es la EMI?.....	1
1.2.2 Controlando la EMI.....	3
1.2.2.1 Blindaje.....	3
1.2.2.2 Balanceo y entorchado.....	3
1.2.2.3 Separación y ruteo.....	8
1.2.2.4 Aislamiento.....	9
1.2.2.5 Aterrizado y enlace.....	9
1.3 Receptáculos IG.....	9
2. TEORÍA DE ATERRIZADO Y SOLUCIONES.....	23
2.1 La estrella de tierra aterrizada.....	23
2.1.1 Circuito de tierra.....	24
2.1.2.1 Blindaje de tierra.....	24
2.1.2.2 Tierra de equipos.....	24
2.1.2.3 Bus maestro de referencia a tierra.....	25

2.1.3	Bus de referencia para tierra local.....	25
2.2	Acoplamiento de impedancia común.....	25
2.3	Anillos de tierra.....	26
2.4	Áreas anulares e impedancia.....	30
2.5	Impedancia del conductor.....	30
2.6	Ondas estacionarias.....	31
2.7	Planos de tierra.....	32
3.	BLINDAJE.....	35
3.1	El blindaje y cómo trabaja.....	35
3.1.1	Ondas planas.....	36
3.1.2	Campos eléctricos.....	36
3.1.3	Campos magnéticos.....	36
3.2	Tipos de blindaje.....	37
3.2.1	Materiales para blindaje.....	38
3.3	Manteniendo la integridad del blindaje.....	38
3.3.1	Penetraciones.....	38
3.3.2	Aberturas.....	39
3.3.3	Aterrizando el blindaje.....	39
3.4	El experimento “Kaufmann”.....	40
3.5	Rayos y consideraciones para aterrizado.....	41
4.	TIERRA E IMPLEMENTACIÓN DE CABLEADO PARA EDIFICIOS EN A/C.....	47
4.1	Estrella A/C y tierra.....	47
4.2	Conductores.....	49
4.2.1	Especificaciones técnicas.....	49
4.2.2	Seguridad y requerimientos de código.....	49
4.3	Terminación del conductor.....	50

4.4	Separación y rutas.....	51
5.	IMPLEMENTACIÓN DE ALAMBRADO PARA CABLES DE SEÑAL EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS.....	53
5.1	Blindajes.....	53
5.1.1	Disposición fija de sistemas.....	55
5.1.2	Disposición flexible de sistemas.....	56
5.2	Otras consideraciones.....	56
5.2.1	Segregación de equipos.....	56
5.2.2	Tierras agrupadas.....	57
5.3	Terminación del blindaje.....	57
5.4	El problema del PIN-1.....	62
5.5	Probando el PIN-1.....	63
5.5.1	Circuitos balanceados, no balanceados y flotantes.....	64
5.5.2	Consolas mezcladoras para audio.....	65
5.5.3	Micrófonos.....	67
5.6	Inyecciones directas o DI.....	67
5.7	Equipos de alimentación principal.....	69
5.8	Cajas directas.....	73
5.8.1	Caja directa pasiva.....	73
5.8.2	Caja directa activa.....	73
5.8.3	Caja directa activa con preamplificador.....	74
5.8.4	Caja directa para bocinas.....	74
5.8.5	Transformadores para acoplamiento de línea.....	74
5.8.6	Forma correcta de ensamblar un cable para señal.....	76
6.	MEDICIONES Y ESTRUCTURA DEL ATERRIZADO.....	79
6.1	Método de los cuatro polos para medir la resistividad del suelo.....	79
6.2	Método de tres polos para caída de potencial.....	81
6.2.1	Ajuste de las estacas.....	83

	6.2.2	Método de tres polos para rejillas y anillos de tierra.....	85
6.3		Prueba de resistencia en tierra con abrazadera selectiva.....	86
	6.3.1	Medición selectiva de torre para alto voltaje.....	88
	6.3.2	Medición de resistencia en sistemas paralelos multiaterrizados.....	89
	6.3.3	Prueba de la resistencia a tierra con dos polos.....	91
6.4		Medición de la resistencia a tierra en subestaciones.....	92
6.5		Midiendo la resistencia de tierra en oficinas.....	96
6.6		Midiendo la resistencia en torres de radio y celdas celulares.....	99
6.7		Midiendo la resistencia en sitios de conmutación remotos.....	103
6.8		Midiendo la resistencia de tierra para protección contra rayos.....	105
7.		CRITERIOS DE DISEÑO Y ANÁLISIS ECONÓMICO.....	109
7.1		Criterios básicos para aterrizado seguro.....	109
7.2		Tierras paralelas.....	110
7.3		Equipo para aterrizado.....	112
	7.3.1	Forro.....	112
	7.3.2	Conductores de aluminio y cobre.....	113
	7.3.3	Mordazas para aterrizado.....	113
	7.3.3	Reglas para aterrizado.....	114
	7.3.4	Ensamblajes.....	114
	7.3.5	Soportes para aterrizado.....	115
7.4		Calculando el tamaño de la tierra y su ampacidad.....	115
	7.4.1	Determinando la corriente máxima.....	118
	7.4.2	Tamaño de los cables.....	119
	7.4.2	Determinando voltajes.....	120
7.5		Conexión a tierra.....	123
7.6		Potencial de paso.....	124
7.7		Potencial de contacto.....	127

7.8	Circuitos para retorno de fallas.....	131
7.9	Situaciones comunes de choque eléctrico.....	132
7.10	Condiciones de peligro.....	134
7.11	Mitigación en A/C.....	136
7.12	El concepto completo.....	139
7.13	Entrada de servicio.....	143
7.14	Paneles para equipos.....	143
7.15	Estanterías y unidades técnicas.....	143
7.16	Receptáculos en las paredes.....	144
7.17	Ruteo de cables, tubería y pruebas.....	146
7.18	Equipo para audio.....	147
7.19	Análisis económico.....	151
	CONCLUSIONES.....	154
	RECOMENDACIONES.....	155
	BIBLIOGRAFÍA.....	158

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

No.	Título	Página
1.	Conexión para audio estándar no balanceada.....	4
2.	Interconexión no balanceada de audio utilizando cables balanceados.....	6
3.	Interconexión estándar de audio balanceada.....	7
4.	Interconexión balanceada de audio con blindaje levantado en la entrada.....	8
5.	Comparación entre el receptáculo IG y el estándar.....	10
6.	Aterrizado convencional y receptáculos estándar.....	11
7.	Falla a tierra con receptáculos estándar.....	11
8.	Sistema de potencia con alambrado IG.....	12
9.	Falla a tierra con alambrado IG.....	13
10.	Alambrado IG para equipo con conexión directa.....	14
11.	Incorrecta interpretación del IG.....	14
12.	Tierra dedicada y aislada.....	15
13.	Corrientes de frente escarpado afectando la referencia de tierra para cargas sensitivas.....	17
14.	Con alambrado IG las corrientes de frente escarpado no afectan la referencia de tierra en cargas sensitivas.....	18
15.	Posición relativa del conductor para aterrizado.....	19
16.	Corrientes inducidas en sistemas interconectados que utilizan técnicas de alambrado IG.....	19
17.	Flujo de corrientes inducidas hacia tierra, utilizando técnica estándar sin alambrado IG.....	20
18.	Anillo de tierra.....	26
19.	Aterrizado de punto singular.....	27
20.	Aterrizado de punto múltiple.....	28

21.	Aterrizado por punto flotante.....	29
22.	Aterrizado con blindajes telescópicos.....	30
23.	Experimento “Kaufmann”.....	41
24.	Distribución del sistema para aterrizado.....	42
25.	Punto común en forma de “L”.....	43
26.	Aterrizado “Hamshack”.....	44
27.	Conector GDT.....	45
28.	Terminaciones de conductores.....	59
29.	Conexiones de conductores blindados I.....	60
30.	Conexiones de conductores blindados II.....	61
31.	Circuitos balanceados, no balanceados y flotantes.....	65
32.	Telar de aterrizado para una consola mezcladora.....	66
33.	Evitando los DI.....	68
34.	Equipo de alimentación principal.....	70
35.	Rompiendo anillos de tierra con entradas balanceadas.....	71
36.	Rompiendo anillos de tierra con entradas no balanceadas.....	72
37.	Forma correcta de aterrizar el PIN-1 por medio transformador.....	75
38.	Ensamblaje correcto de cables para señal.....	38
39.	Forma adecuada para instalar las tierras de señal y chasis.....	77
40.	Conexión del GEO para medir la resistividad del suelo.....	81
41.	Forma de conectar el GEO para medir la resistencia de un electrodo.....	82
42.	Esfera de influencia del electrodo.....	83
43.	Forma correcta e incorrecta de colocar las estacas para tierra.....	84
44.	Método de tres polos para rejillas y anillos de tierra.....	85
45.	Conexión del GEO para evitar desconectar un dispositivo aterrizado.....	87
46.	Medición de bases individuales con el GEO.....	88
47.	Medición del patrón general de la torre con el GEO-X.....	89
48.	Principio de operación del GEO-X.....	90
49.	Patrón de tierra individual medido con las abrazaderas.....	91

50.	El GEO realizando prueba de continuidad y resistencia.....	92
51.	Rejilla de tierra.....	93
52.	Conexión del GEO para medir una rejilla de tierra.....	94
53.	Conexiones al MGB.....	96
54.	Conexión del GEO para medir resistencia de anillo.....	97
55.	Conexión del GEO para medir la resistencia en cada parte del MGB.....	99
56.	Partes de una celda celular.....	100
57.	Medición de resistencia en las bases de la torre.....	101
58.	Medición de continuidad en las bases de la torre.....	102
59.	Medición de la resistencia total del sistema.....	102
60.	Estacas para tierra en un concentrador digital de líneas.....	103
61.	Prueba para caída de potencial con tres polos en sitio remoto.....	104
62.	Medición de aterrizado individual en sitio celular.....	104
63.	Prueba de continuidad en lugares con protección contra rayos.....	105
64.	Medición de la resistencia del sistema en sitios con protección contra rayos...	106
65.	Medición individual de aterrizado con método por abrazadera selectiva en sitios con protección contra rayos.....	107
66.	Componentes de resistencia en las juntas.....	116
67.	Malla eléctrica para circuito cerrado.....	120
68.	Malla eléctrica para circuito abierto.....	122
69.	Distancia desde la varilla de referencia.....	125
70.	Cilindros concéntricos o caparazones.....	126
71.	Voltaje de paso en función de la distancia.....	127
72.	Potencial de contacto.....	128
73.	Operación de interruptor con y sin plataforma de operación.....	129
74.	Circuitos eléctricos equivalentes para falla en torre sobre el trabajador.....	130
75.	Circuito para retorno en una línea aérea.....	131
76.	Situaciones básicas para choque eléctrico.....	133
77.	Corrientes y contornos equipotenciales de una rejilla para aterrizado.....	134

78.	Método para ligar los aterrizados a las barras.....	135
79.	“Plattline” utilizado para mitigar voltajes alternos.....	136
80.	Conexiones “Plattline” en la tubería.....	137
81.	Vista en planta de la maraña en espiral para el control del gradiente.....	138
82.	Vista en perfil de la maraña en espiral para el control del gradiente.....	138
83.	Bosquejo de la instalación.....	142
84.	Equipos para audio.....	148

TABLAS

No.	Título	Página
I.	Materiales para blindaje.....	38
II.	Tamaños del conductor.....	49
III.	Tamaño mínimo del conductor.....	49
IV.	Distancia aproximada entre sondas auxiliares.....	84
V.	Espaciamiento entre rejilla de tierra y sondas.....	86
VI.	Espaciamiento entre sondas auxiliares.....	95
VII.	Capacidad de cables para corriente de falla, conforme a ciclos de falla.....	111
VIII.	Características de los conductores.....	117
IX.	Factores de espaciamiento.....	117
X.	Descenso de voltaje máximo a 20° C en cables de aluminio.....	118
XI.	Descenso de voltaje máximo a 20° C en cables de cobre.....	119
XII.	Elementos de una red para aterrizado y costos.....	151
XIII.	Equipo básico para audio.....	152

RESUMEN

En los equipos electrónicos que son sensibles a efectos electromagnéticos se dan dos tipos de interferencias llamadas: **EMI o Interferencia Electromagnética** y **RFI o Interferencia por Radio Frecuencia**, las cuales producen zumbido y charleo en los equipos de audio.

El blindaje es una parte esencial para la protección contra la interferencia electromagnética y la interferencia de radio frecuencia, por lo tanto se han diseñado diversas formas para blindar las líneas para transmisión de señales, las cuales interconectan diversos módulos de equipos en un sistema integrado.

El aterrizado es una forma de proveer un camino para las señales de ruido en un sistema y además para protección durante fallas eléctricas o descargas electroatmosféricas, lo que exige el conocimiento de las técnicas existentes para aterrizar los equipos de audio en una instalación.

El blindaje efectivo y el aterrizado de baja resistencia son técnicas útiles para el mejoramiento de la relación de señal a ruido en un sistema que maneja señales, que como en este caso son analógicas. Estas últimas, por no estar digitalizadas son mas perceptivas a el ruido que se induce en el sistema por diversos medios como lo son las líneas de potencia paralelas a líneas de señal, la iluminación y la temperatura de los equipos.

OBJETIVOS

- **GENERAL**

Ampliar el conocimiento adquirido sobre **blindaje y aterrizado**, aplicado a equipos electrónicos sensibles, como lo son los equipos para audio y video, por medio de explicar configuraciones de conexión para diversos tipos de enlaces entre equipos electrónicos sensibles.

- **ESPECÍFICOS**

1. Dar a conocer las ventajas de utilizar los receptáculos IG durante fallas eléctricas, en comparación a los receptáculos estándar (OUTLET).
2. Explicar la diferencia entre circuitos balanceados, no balanceados y flotantes o cuasiestacionarios, cuando se están acoplando líneas para transmisión de señal entre módulos electrónicos sensibles en una instalación.
3. Dar a conocer la aplicación de dispositivos comunes para el blindaje y aterrizado de equipos electrónicos sensibles, así como las mediciones que se deben hacer dependiendo del lugar de instalación y el tipo de equipo que se utilizará.

INTRODUCCIÓN

El ruido y el zumbido en equipos de audio es un fenómeno que no se puede erradicar en su totalidad, pero si se puede controlar implementando técnicas que permitan un fácil drenaje de dichos niveles de voltaje aleatorios a través de una red para aterrizado bien estructurada y un blindaje firmemente aterrizado, que da como resultado el mejoramiento de la señal transmitida y recibida.

Este trabajo presenta a lo largo de sus siete capítulos, diversas técnicas para el aterrizado y el blindaje, así como los parámetros a considerarse antes de implementar una instalación con equipo electrónico sensible a fenómenos electromagnéticos.

El primer capítulo da un panorama general de los fenómenos comunes que se dan en un sistema de audio, así como, algunas técnicas que nos permiten mitigar dichos efectos y proteger los equipos durante una falla eléctrica en el sistema.

El segundo capítulo da a conocer las diversas formas de segregar un equipo y los errores comunes cometidos durante el aterrizado del mismo, mostrándonos diversas topologías de redes para aterrizado, por ende sus ventajas y desventajas.

El tercer capítulo hace énfasis en como trabaja un blindaje, así como las fallas que se pueden dar por un mal ensamblaje, también nos da una idea general de los materiales utilizados para construir blindajes en cables para señal.

El cuarto capítulo da una idea general de cómo se debe implementar el cableado en A/C para edificios, así como la determinación técnica de los conductores para el alambrado en la instalación.

El quinto capítulo da los parámetros para poder ensamblar cables para señal de audio y nos enseña las diferencias entre los circuitos balanceados, no balanceados y flotantes, así como los puntos sensibles en una instalación integrada por una diversidad de equipos electrónicos para procesamiento de señal y alimentación de potencia.

El sexto capítulo se enfoca en las mediciones que se deben realizar para garantizar la fiabilidad y confiabilidad en una red para aterrizado, tomando en cuenta los conocimientos concernientes para realizar las mediciones dependiendo del lugar y los parámetros a medir, utilizando para ello equipo digital para medición.

El séptimo capítulo da las reglas de seguridad que se deben seguir, cuando se implementa una red para aterrizado, tomando en cuenta que el factor humano siempre está presente, además, nos da un bosquejo económico sobre la evaluación de costos para una red para aterrizado dependiendo del área a cubrir.

1. PERSPECTIVA DEL RUIDO EN SISTEMAS DE AUDIO

1.1 Aproximación al sistema

La complejidad del problema de ruido en sistemas de video y audio requiere que se tome un acercamiento metódico y organizado para controlar o minimizar los efectos. El problema del ruido en las señales electrónicas es universal y afecta las computadoras, industrias aeroespaciales y manufactureras, tanto como a las industrias de audio y video. Los problemas que se encararan respecto al ruido en sistemas de señal son causados por la interferencia electromagnética o EMI. Es posible quebrar el problema del EMI con un número de componentes individuales que pueden ser estudiados y tratados uno a la vez desde el concepto de desarrollo, diseño, instalación y pruebas en los sistemas de audio y video.

1.2 Interferencia electromagnética o EMI

1.2.1 ¿Qué es la EMI?

Para que la EMI ocurra, tres elementos deben estar presentes: el primero, una fuente de ruido electromagnético, es decir cualquier dispositivo eléctrico, el segundo, un medio de transmisión para la propagación del ruido eléctrico, el tercero, un receptor que es sensible a la naturaleza de la energía eléctrica que es radiada por la fuente. Cualquiera de estos tres elementos afecta el desempeño del receptor, pero hay varias formas de controlarlo, el truco para el diseño apropiado de un sistema para audio y video, es seleccionar los medios de control que van a tratar efectivamente con el

problema sin afectar mucho el costo del mismo. Específicamente hay cuatro medios de transmisión para el ruido eléctrico. Es importante identificar como el ruido está siendo transmitido hacia el receptor, ya que es el factor clave en la determinación efectiva para controlarlo.

La primera forma de transmisión es referida al acople común de impedancia. Esta forma de transmisión ocurre cuando hay un conductor compartido entre la fuente y la víctima; esto es obviamente el caso cuando dos piezas del equipo están alambradas a través de líneas para señal, aterrizado o corriente alterna. La siguiente forma de transmisión es el acoplamiento del campo eléctrico. Este tipo de acoplamiento es determinado por la capacitancia entre la fuente y el receptor, y es proporcional a el área que la fuente y el receptor comparten entre cada uno, la frecuencia, la amplitud del ruido y la permitividad del medio entre éstos. Además, es inversamente proporcional a el cuadrado de la distancia entre ellos. El acoplamiento de campo eléctrico está en función del voltaje de la fuente el cual crea un voltaje en los conductores víctimas.

La tercera forma de transmisión es el acoplamiento del campo magnético. Este tipo de acoplamiento es determinado por la inductancia mutua entre la fuente y el receptor, es una función del área anular del circuito receptor, la frecuencia, la corriente de la fuente y la permeabilidad del medio entre la fuente y el receptor. Además, inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos. El acoplamiento del campo magnético está en función de la corriente de la fuente la cual crea una corriente en los conductores afectados.

La forma final de transmisión del EMI es la radiación electromagnética. Este tipo de acoplamiento ocurre cuando la fuente y el receptor están localizados aparte por lo menos a $1/6$ de longitud de onda, poniendo al receptor en lo que se conoce como el campo lejano. El campo lejano es definido como la distancia en donde el frente de la onda es una plano y fuerza promedio de los campos electrostáticos y electromagnéticos

es una constante igual a 377. Un ejemplo de radiación electromagnética es la interferencia de radio frecuencia o RFI, producida por las estaciones de radio y transmisores de potencia.

1.2.2 Controlando la EMI

1.2.2.1 Blindaje

Como el nombre implica, el blindaje consiste en la colocación de material conductor entre la fuente y el receptor. Este puede ser colocado cerca de la fuente o en las proximidades del receptor; es una técnica muy común y su aplicación se puede ver en los forros conductores en el exterior de los cables de audio y video.

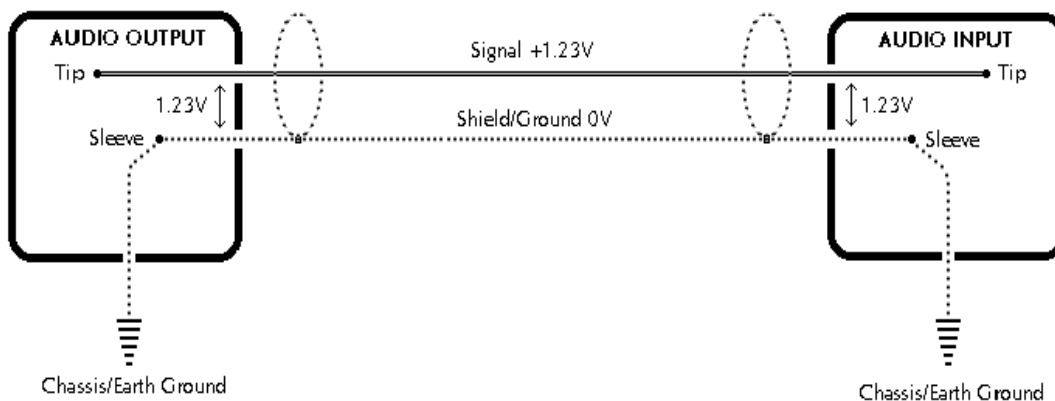
1.2.2.2 Balanceo y entorchado

Las interconexiones de audio utilizan una referencia de aterrizado. En las interconexiones de audio no balanceadas, hay una señal de modo directo entre un conductor de señal y la tierra de señal, en un circuito de audio balanceado, hay una señal de modo común entre dos conductores que están inversamente en fase con la tierra de señal. En ambos casos la tierra de audio es parte de una referencia para señal de audio que es conectada a el chasis de los equipos, el cual es referenciado por si mismo con el aterrizado en tierra. Cuando conectamos la tierra de audio entre dos piezas de equipo para audio, un patrón de aterrizado es creado, si hay un incremento de potencial en cualquier chasis, entonces corriente reactiva o ruido se introducirá en la referencia de señal de la cual la tierra para audio forma parte, esto es llamado un **anillo de tierra**.

Un anillo de tierra no es realmente un anillo sino una indicación del flujo de corriente en los circuitos de señal resultante de los voltajes que están viajando en la referencia de tierra. Algunos métodos se ha diseñado para tratar con éste problema,

tales como cables para audio cortos, transformadores aislados para audio, aterrizado de punto singular, rejillas de referencia lineal para señal, aterrizado en estrella, levantado de las tierra de audio del chasis y blindaje telescópico. Otra práctica común envuelve el uso de adaptadores para el levantado de la tierra A/C en utensilios con tres puntas, en cables para A/C, pero es peligroso, ya que si algún componente está en corto con la tierra del chasis, el tocar dicho chasis puede poner el cuerpo de alguien en el patrón de aterrizado.

Figura 1. Conexión para audio estándar no balanceada



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo, 2000

El fenómeno del anillo de tierra no había sido bien definido aún, hasta el advenimiento de la potencia en A/C balanceada. Dicha tecnología provee un nuevo punto de referencia y un nuevo entendimiento para el aterrizado, cuando el chasis y la tierra para audio están conectados a una toma central de un transformador aislado y balanceado para A/C. Ellos están referidos al voltaje diferencial promedio en A/C, el cual es el punto de cruce por cero en la señal senoidal de A/C, no hay corriente o voltaje en dicha toma central, por lo tanto es un punto de referencia de tierra para el audio. Todo chasis, tierra para audio y blindaje puede referirse a éste punto, luego la toma

central de dicho transformador es aterrizada por seguridad y para derivar cualquier interferencia electromagnética o de radio frecuencia en el blindaje y chasis de cada equipo.

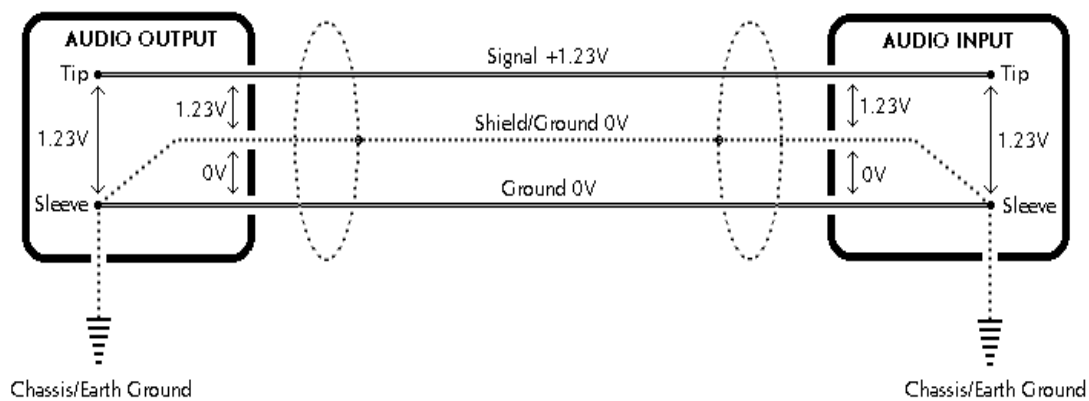
En casi todos los casos, los adaptadores para levantado de tierra en A/C pueden ser removidos de los aparatos que tienen tres cables para A/C. En su lugar se aterriza el chasis de cada aparato con solamente dos cables, sin introducir zumbido y ruido en el sistema, como se da en el caso de la potencia A/C no balanceada. La mayoría de los blindajes que fueron levantados en un extremo ahora pueden ser conectados y aterrizados en ambos extremos, debido a que ya no hay diferencia de potencial entre cada chasis, las tierras para audio pueden ser conectadas a un punto singular en el sistema de A/C.

Ocasionalmente habrá un pieza del equipo que tendrá un chasis sucio o ruidoso debido a una fuente de poder que no tiene el estándar mínimo. En otros casos hay equipos que son no balanceados con dos cables de A/C, la mejor manera de tratar con éstos equipos es dejar los dos cables conectados y luego aislar el chasis de cualquier estantería. Seguido de esto se debe balancear el audio con un transformador de aislamiento para audio y conectar dicho transformador a las consolas de otros equipos balanceados; por último se levanta la tierra de audio o el blindaje de la línea balanceada en las entradas, a manera de no contaminar la tierra de audio con el chasis que tiene ruido.

En una interconexión estándar no balanceada no hay conductor de señal ni blindaje. El blindaje es comúnmente una parte integral de la referencia de señal, una cosa que se ha venido haciendo para alterar esta configuración de alambrado estándar no balanceada mostrada en la figura 1, es utilizar cables para audio balanceados con dos conductores y un blindaje como en la figura 2, se usa un conductor para la señal y el otro para la tierra. El blindaje algunas veces se levanta en un extremo del cable,

usualmente en la entrada. Otro método es insertar varios filtros en el cable, incluyendo capacitores a una distancia dada en el cable de tierra con el fin de remover el zumbido y el ruido del sistema, pero los filtros en cadena pueden alterar la señal y los capacitores son peligrosos en el patrón de aterrizado ya que pueden provocar choques eléctricos.

Figura 2. Interconexión no balanceada de audio utilizando cables balanceados

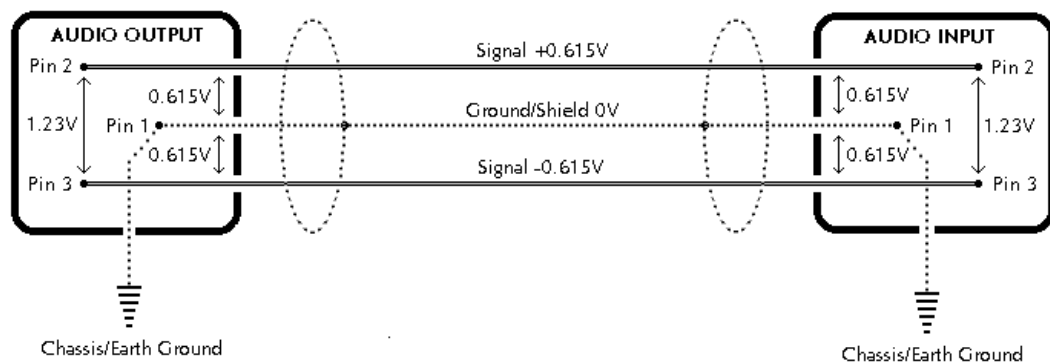


Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

En la mayoría de los casos en los que se usa potencia balanceada, el audio no balanceado puede ser interconectado en una forma estándar, utilizar cable balanceado con un blindaje de calidad es todavía una buena práctica, ya que solo se aterriza el blindaje en ambos extremos del cable. La única excepción es cuando se presenta un chasis ruidoso, el balanceo del audio no balanceado en la fuente con un transformador aislado para audio o con una caja directa, reducirá el ruido del sistema. Un ejemplo sería utilizar una caja directa a la salida de un teclado para balancear la señal y enviarla dentro de un amplificador balanceado en la consola. La regla es mantener al equipo balanceado, ya que el audio balanceado y potencia balanceada, ambos rechazan el ruido de modo común.

En interconexiones balanceadas estándar hay dos conductores de señal y un blindaje como en la figura 3. El blindaje es normalmente referenciado a tierra en uno o ambos extremos, muchas veces el blindaje es levantado en un extremo, usualmente en la entrada para eliminar los anillos de tierra o el ruido. El problema con este enfoque es que mientras el mismo reduce el zumbido, los blindajes actúan como antenas de radio y captan interferencia de radio frecuencia del ambiente, como se muestra en la figura 4.

Figura 3. Interconexión estándar de audio balanceada



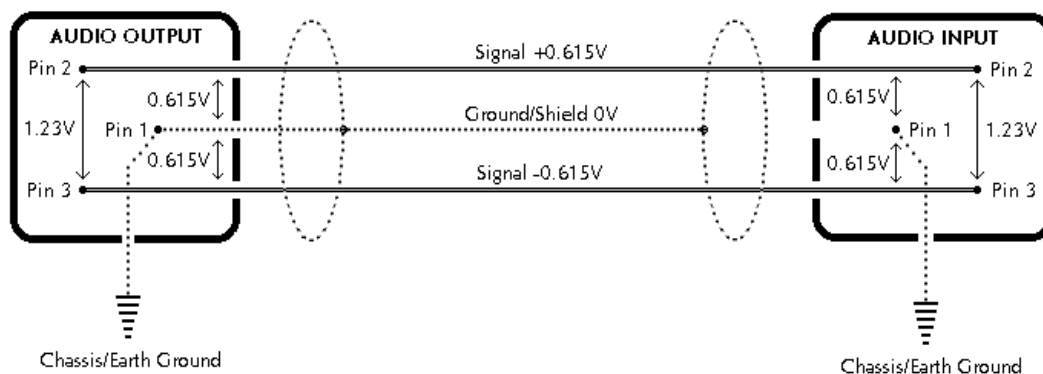
Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Todavía no se ha llegado a una conclusión sobre que extremo del blindaje de la línea se debe conectar, algunos piensan que debe ser en la entrada, pero de esta forma el blindaje está conectado a la tierra para audio en la salida del dispositivo en donde el EMI y el RFI es menor que el adquirido en la entrada. Con potencia balanceada, el audio balanceado puede ser interconectado de una manera estándar con el blindaje en ambos extremos, la única excepción es cuando la pieza de un aparato tienen un chasis ruidoso el cual requiere de aislamiento del resto del sistema de aterrizado. Esto puede lograrse usualmente por medio de levantar la tierra para audio en la entrada y aislando

el chasis ruidoso de los demás. Un chasis ruidoso es el resultado de un mal aterrizado o una fuente de poder que no cumple con los estándares del sistema.

El entorchado se utiliza para dar inmunidad contra el EMI en líneas de audio reduciendo el área anular e induciendo señales de modo común las cuales son rechazadas por los equipos balanceados, ya que estos solo admiten señales diferenciales.

Figura 4. Interconexión balanceada de audio con blindaje levantado en la entrada



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

1.2.2.3 Separación y ruteo

Por medio de la separación adecuada y ruteo, el efecto de la fuente de EMI sobre la víctima puede ser reducido por el simple hecho que la fuerza del EMI se reduce con la distancia. Por esta razón, la separación y ruteo cuidadoso de equipos electrónicos y cables para audio y video, respecto a fuentes de ruido es un simple y efectivo medio para reducir los problemas causados por el EMI, ya que la fuerza del campo de una fuente puntual cae 6 dB cada vez que se dobla la distancia, mientras que en una línea son 3 dB.

1.2.2.4 Aislamiento

En cualquier momento, un conductor entre la fuente de ruido y su víctima, es una gran oportunidad para el EMI, a través del acople común de impedancia. Una técnica común y exitosa, es proveer aislamiento eléctrico entre los dos, el aislamiento lo proveen, transformadores, optoaisladores y mas recientemente la conexiones por fibra óptica.

1.2.2.5 Aterrizado y enlace

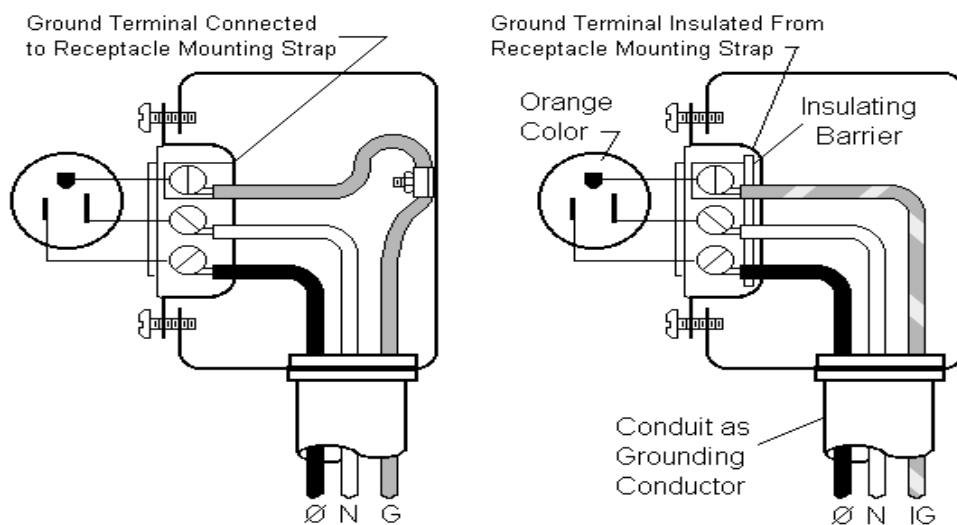
El aterrizado y enlace consiste en el uso de conexiones conductivas entre los equipos y la tierra. La conexión a tierra provee un sumidero infinito para la energía electromagnética. El efecto de esto es mantener todos los equipos conectados a la tierra con un potencial estable; el efecto del enlace por medio de conexiones conductivas entre equipos es mantener a los equipos comúnmente conectados y al mismo potencial, pero tienen una desventaja, deben tener una impedancia muy baja para evitar el acople común de impedancia.

1.3 Receptáculos IG

Los receptáculos IG difieren de los estándar en dos formas como lo muestra la figura 5. Primero, con un receptáculo IG, las terminales están eléctricamente aisladas de la montura del receptáculo, la cual aísla el circuito de aterrizado del receptáculo de los tubos metálicos, cuando el mismo ha sido instalado en una caja para tomacorriente de metal. Segundo, para diferenciar a los receptáculos IG de los estándar, la cara del mismo está coloreada de anaranjado o marcado con un triangulo anaranjado, el aislamiento de la terminal de tierra respecto a la montura del receptáculo es la diferencia eléctrica, lo cual permite reconocerlo como una conexión para equipo electrónico altamente sensitivo.

Las razones básicas para aterrizar los sistemas de poder alterno son el limitar los voltajes del circuito, estabilizar los voltajes del circuito a tierra y facilitar la operación de los dispositivos protectores de sobrecorriente o OPD, en caso de una falla a tierra. Para esto, el NEC o Código Nacional Eléctrico requiere que todos los recintos metálicos estén efectivamente aterrizados para minimizar el potencial de choque. El NEC define el aterrizado efectivo como un patrón de aterrizado que es permanente y continuo. Además, tiene alta capacidad de llevar corriente para manejar potenciales a tierra durante fallas, e impedancia baja para permitir la operación rápida de los OPD.

Figura 5. Comparación entre el receptáculo IG y el estándar

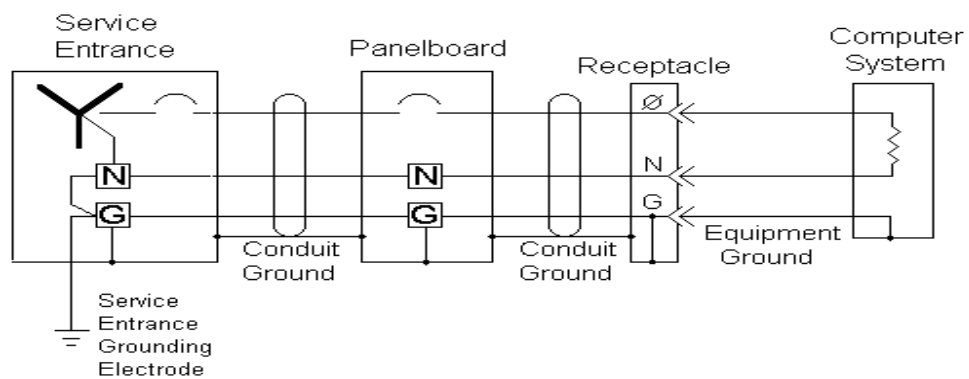


Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Estos requerimientos necesitan que un conductor que aterriza un equipo esté permanente conectado a todas las estructuras metálicas de un sistema. A manera de facilitar la operación de un OPD, para limpiar la falla, los conductores de aterrizado deben estar conectados a un punto común de aterrizado. Un ejemplo es la figura 6, si una falla de tierra ocurriera en un equipo con carga eléctrica como en la figura 7, el

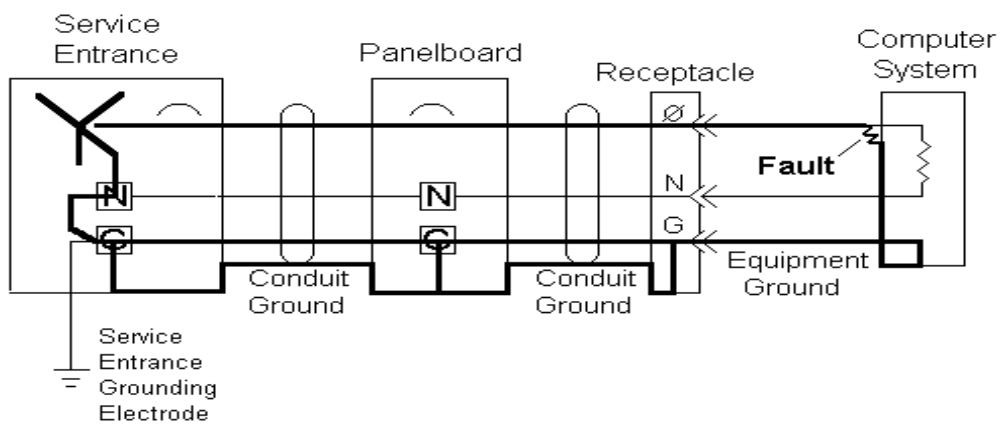
sistema de tierra debe proveer un patrón efectivo de aterrizado. Esto requiere que los conductores para aterrizado del equipo sean convenientes, que sean permanentes y continuos. Deben ser dimensionados de acuerdo a el NEC, tener gran capacidad de corriente durante fallas para manejar los potenciales a tierra de las fallas; además, deben tener baja impedancia para auxiliar a los OPD.

Figura 6. Aterrizado convencional y receptáculos estándar



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Figura 7. Falla a tierra con receptáculos estándar

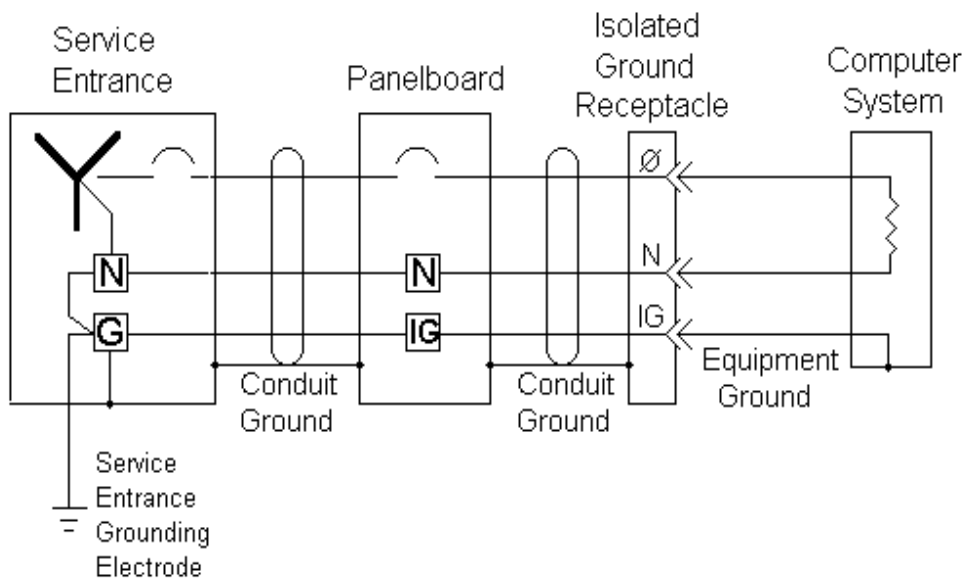


Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Es importante que el alambrado IG provea un patrón de aterrizado efectivo para las fallas, desde los equipos conectados hasta la fuente de poder. La figura 8, da un ejemplo de un sistema de bajo voltaje típico utilizando receptáculos IG, como lo requiere el NEC. Nótese que la terminal de tierra de los receptáculos no está conectada a el sistema de aterrizado, en su lugar un alambre IG es conectado en la terminal de tierra del receptáculo y es ruteado con los conductores de poder, pasando a través de uno o más paneles, permaneciendo aislado de los tubos de metal y el sistema de tierra hasta su terminación en el punto de tierra.

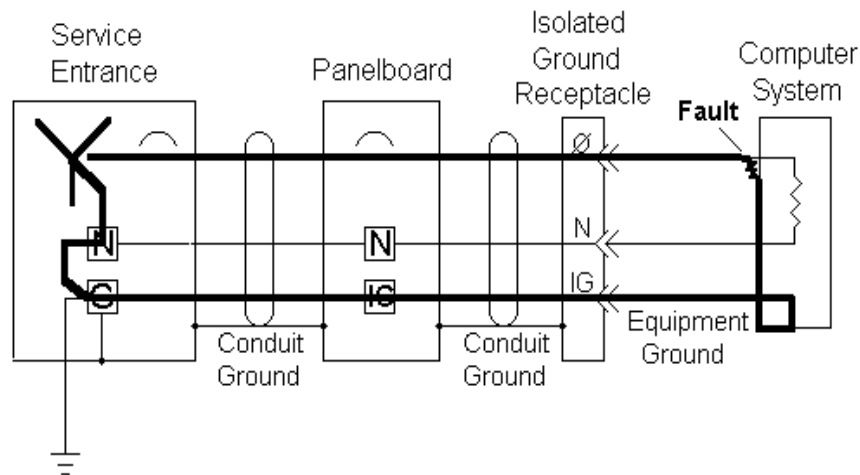
Si una falla ocurriera en los equipos con carga eléctrica, el sistema de aterrizado IG debería proveer un patrón de aterrizado como el mostrado en la figura 9, en el cual el conductor IG es permanente y continuo; además posee capacidad amplia de transporte de corriente de acuerdo al NEC, y tiene baja impedancia para auxiliar a los OPD.

Figura 8. Sistema de potencia con alambrado IG



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Figura 9. Falla a tierra con alambrado IG



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

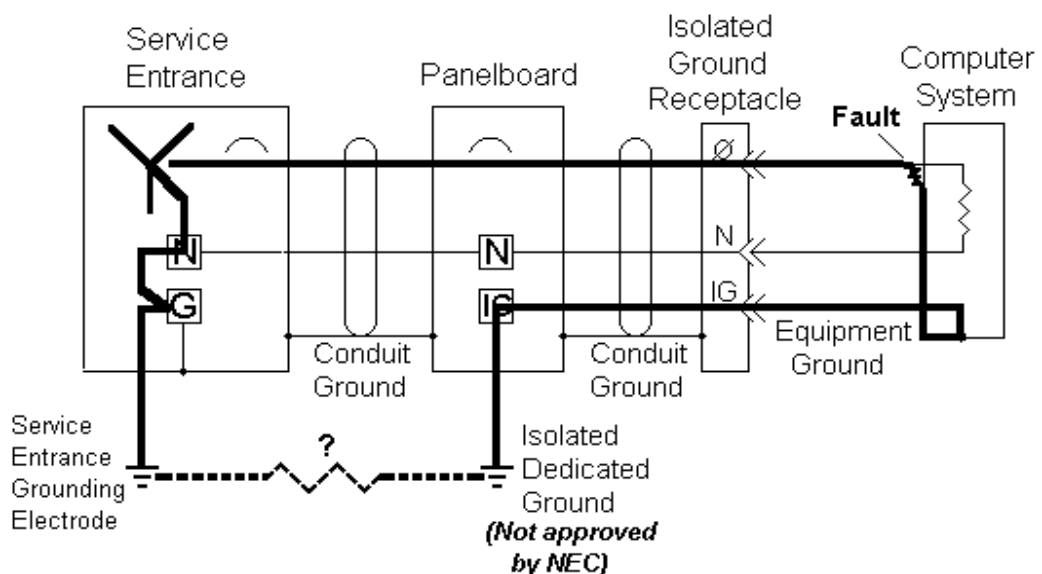
Otra forma de realizar cableado IG, es cuando se tienen equipos, que están directamente conectados, sin receptáculo y conector. Puesto que no tienen un receptáculo IG para aislar el conductor para aterrizado del equipo de los recintos y el conduit, se necesita un forro no conductor o un accesorio de conduit, los cuales deben ser insertados en la terminación del conduit o canaletas con la carcasa del equipo. De esta manera la tierra del equipo está aislada del conduit de metal y las canaletas, pero todavía está efectivamente aterrizado como lo muestra la figura 10. Hay algunas controversias sobre si el alambrado IG es efectivo en la reducción del ruido de modo común, ya que para lograr el aislamiento de equipos aterrizados, los marcos de metal del equipo deben estar aislados, para evitar potenciales de choque.

Algunas veces los requerimientos del alambrado IG son mal interpretados, llegando a pensar que los circuitos IG están verdaderamente aislados. La figura 11 es una incorrecta interpretación del IG, puesto que las terminales de tierra en los

A pesar de las buenas intenciones del aislamiento IG, mostrado en la figura 11, existe falla, al no conocer los requerimientos básicos en un sistema de aterrizado utilizados por el NEC, lo cual da como resultado condiciones peligrosas e inseguras.

Consideremos ahora la posibilidad de una falla a tierra ocurriendo en los equipos, los cuales se muestran en la figura 12. Nótese que un patrón efectivo de tierra no ha sido provisto entre la tierra aislada y el sistema de electrodos de tierra en la fuente de poder, no se sabe si el patrón de aterrizado entre éstos dos electrodos de tierra es permanente y continuo o si tiene amplia capacidad de corriente. Además, el patrón de aterrizado seguramente no tiene suficiente baja impedancia para permitirles a los OPD limpiar una falla rápidamente y la impedancia de las conexiones de los electrodos a tierra es medida en ohmios, mientras que el patrón de impedancia para falla a tierra requerido debe ser medido en milésimas de ohmio.

Figura 12. Tierra dedicada y aislada



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

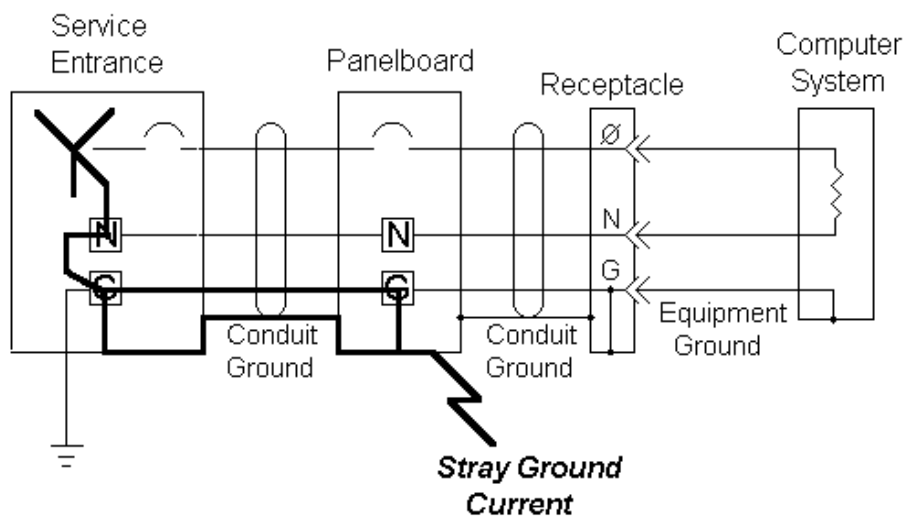
Adicionalmente, que diferencia de potencial entre el aislamiento, los electrodos de tierra y el sistema de tierra, aparecerá como voltaje de modo común en el equipo. La intención original del aislamiento IG es reducir el ruido eléctrico, el resultado es un incremento en el ruido de modo común en cargas sensitivas. Una observación interesante de las prácticas incorrectas e inseguras de aterrizado es que el equipo puede operar aún cuando no esté bien aterrizado, aumentando el riesgo, quizás el nombre de **tierra aislada** contribuya a la mala interpretación de las técnicas para alambrado IG. Un mejor nombre sería **tierra acoplada**, puesto que la intención del IG no es aislar la tierra en equipos sensitivos de la tierra en sistema de potencia, sino el acoplarlos y controlar como la conexión en los sistemas de potencia es hecha.

Muchos ingenieros se resisten en implementar el cableado IG, como el mostrado en la figura 8, debido a que ellos no ven un patrón de aislamiento en los equipos electrónicos sensibles, ya que se preguntan que tiene de bueno, con respecto a la seguridad cuando está conectado a tierra.

La respuesta es que el conduit y los recintos metálicos proveen blindaje contra el EMI y el RFI, en los conductores de potencia e IG contenidos dentro de ellos, pero un beneficio mas práctico es que el alambrado IG controla las conexiones de aterrizado en los equipos electrónicos sensibles para minimizar los problemas asociados con las corrientes forzadas a tierra. Consideremos el ejemplo en la figura 13. Para una configuración estándar que no es IG las corrientes de frente escarpado fluyen hacia el sistema de aterrizado causando cambios en los potenciales de tierra a través del sistema. Dichas corrientes existen bajo una diversidad de condiciones dinámicas: pueden ser el resultado de una descarga electrostática en las carcasas, fallas a tierra y hasta picos de corrientes por acople capacitivo cuando una carga es energizada.

La figura 13, muestra que cualquier corriente forzada causará potenciales de tierra en los recintos de paneles para instrumentos elevándolos sobre la referencia de tierra y con esto todos los equipos que estén conectados a ellos variarían. La configuración IG alternativa es mostrada en la figura 14. La referencia de aterrizado en el equipo sensible, esta aislada del conduit de metal y de los recintos en el sistema de tierra, las corrientes de frente escarpado fluyen sobre el conduit y lo recintos del sistema causando que el potencial de tierra cambie. Puesto que dichas corrientes no fluyen en un alambrado IG, éstas no afectan a los equipos electrónicos sensibles que tiene su propia referencia a tierra.

Figura 13. Corrientes de frente escarpado afectando la referencia de tierra para cargas sensitivas

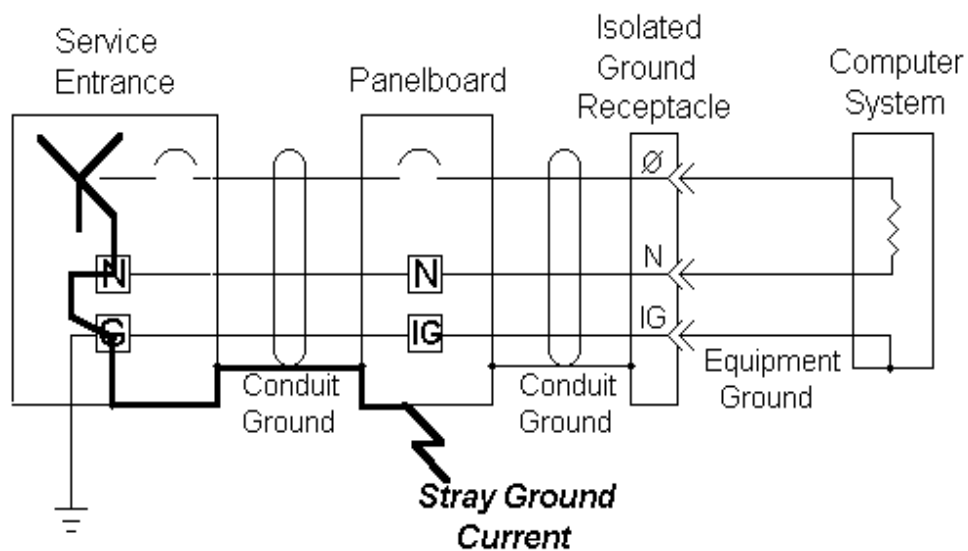


Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Una desventaja potencial del alambrado IG envuelve las corrientes inducidas por los conductores de potencia. Consideremos las posición relativa del conductor de tierra o IG, respecto a los de potencia. La figura 15, muestra la sección de las dos posibles configuraciones, la posición del conductor de tierra respecto a los conductores

de potencia es aleatoria, ya que varios alambres son utilizados en vez de uno, con lo cual se podría controlar su posición.

Figura 14. Con alambrado IG las corrientes de frente escarpado no afectan la referencia de tierra en cargas sensitivas



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Como sea, el conductor de tierra no está igualmente espaciado entre los conductores de potencia. Los campos magnéticos asociados con las corrientes fluyendo en los conductores, no estarán balanceadas en el conductor de tierra. Este campo magnético de la red, inducirá corriente en el conductor de tierra si dicho conductor es parte del patrón completo en el flujo de corriente o sea un anillo de tierra.

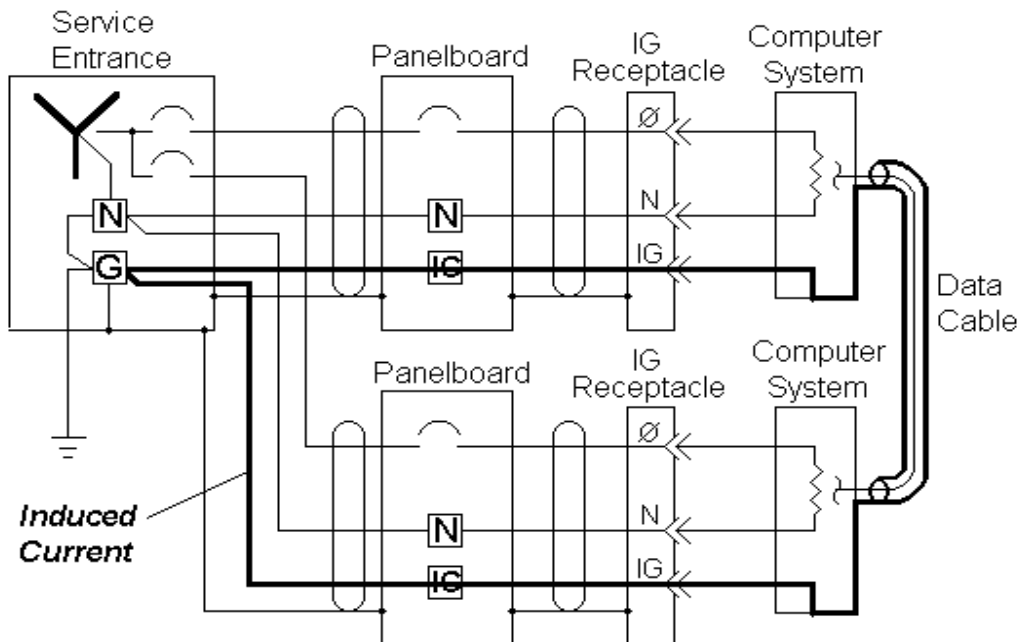
Los circuitos IG deberían ser considerados como una solución a las corrientes inducidas hacia la tierra, puesto que los conductores IG son terminados en tierra, en un solo extremo y no forman un anillo a través del cual la corriente pueda fluir. Pero es cierto, si y solo si, los equipos no tienen otras conexiones a tierra.

Figura 15. Posición relativa del conductor para aterrizado



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

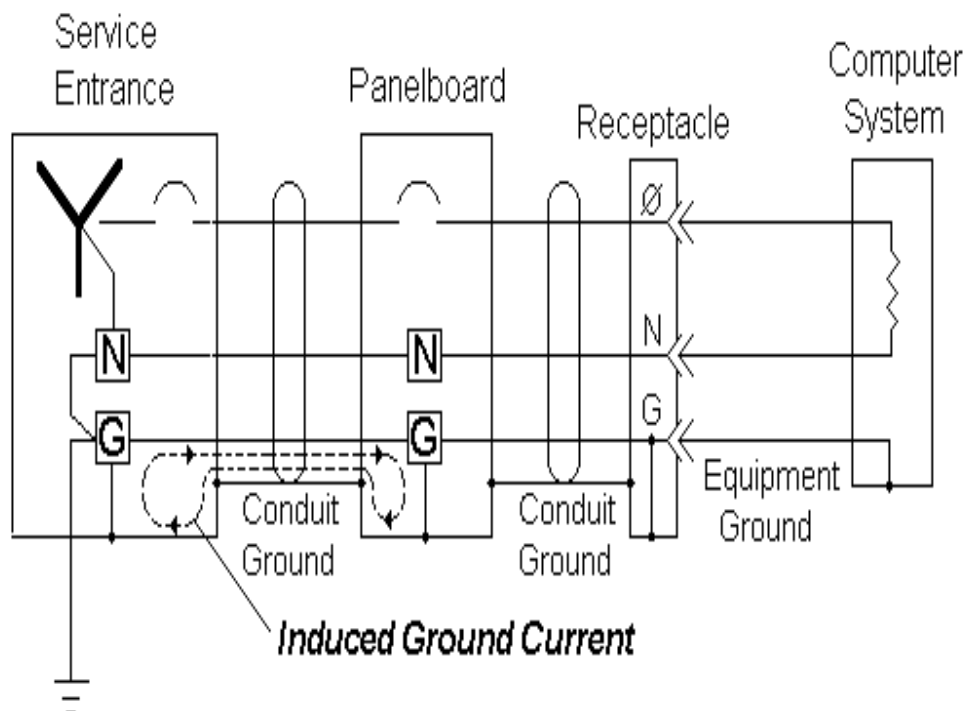
Figura 16. Corrientes inducidas en sistemas interconectados que utilizan técnicas de alambrado IG



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Ahora consideremos el sistema interconectado mostrado en la figura 16: un anillo para las corrientes inducidas en el conductor IG es completado por los cables interconectados de datos, comunicaciones o control, las corrientes inducidas por los conductores de potencia son forzadas a fluir sobre los cables interconectados en donde hay una gran oportunidad de dañar las cargas sensibles. Debido a esto se ha dado la necesidad de aterrizar el blindaje en las interconexiones de cables, en un solo extremo, con ello logrando romper el potencial disruptivo de los anillos de tierra; pero con la posibilidad de daño debido a voltajes inseguros durante las fallas a tierra, rayos o picos de corriente.

Figura 17. Flujo de corrientes inducidas hacia tierra, utilizando técnica estándar sin alambrado IG



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Las técnicas estándar para aterrizado, que utilizan un conductor de tierra aislado conectado a todos los recintos metálicos, tienen menos problemas con las corrientes inducidas causadas por los conductores de potencia, como se muestra en la figura 17.

Si un conductor de tierra es ruteado junto a los conductores de potencia, el campo magnético resultante en la red inducirá corrientes en cualquier anillo que envuelva a el conductor de tierra aislado. Con técnicas de aterrizado estándar, el conduit de metal o canaleta esta eléctricamente en paralelo con el conductor de tierra aislado, entonces la corriente de tierra resultante fluirá sin ninguna consecuencia en el conductor de tierra y el conduit del sistema, evitando con ello el flujo de dicha corriente hacia los anillos de alta impedancia en los cables para datos, comunicaciones o control.

A veces las técnicas de cableado IG son inadvertidamente implementadas, como el caso del conduit no metálico. Debido a los ambientes corrosivos, y ha que las canaletas no proveen un patrón efectivo de aterrizado es utilizado un conductor de tierra aislado. Los sistemas con canaletas no metálicas comparten algunas de las características para el alambrado IG, ya que los conductores para aterrizado aislados, tienen una sola conexión con la tierra en el sistema de potencia. Estos sistemas tienen los mismos problemas con las corrientes inducidas en sistemas interconectados, tanto como el alambrado IG.

Una diferencia significativa en sistemas con canaletas no metálicas, respecto a las técnicas para alambrado IG, es que los sistemas con canaletas no metálicas, no proveen blindaje contra el EMI y el RFI, lo cual si hacen las canaletas de metal.

2. TEORÍA DE ATERRIZADO Y SOLUCIONES

2.1 La estrella de tierra aterrizada

El sistema aislado de tierra en estrella es un enfoque para aterrizado que tiene un mínimo de compromisos técnicos y que emplea los requerimientos para el aterrizado de equipos, proveyendo un equipo fácil de instalar, mantener y de detectar fallas. Consiste de un punto central en el cual se concentran varios puntos locales en un área dada. Los conductores en el sistema de aterrizado y las barras de tierra están aislados de otros sistemas con la excepción de un punto singular en el centro del sistema de tierra; el cual, según los requerimientos del NEC, debe estar conectado a otros sistemas dentro de la instalación.

Hay puntos clave que se deben reconocer no importando el esfuerzo entre estos. Todo el equipo electrónico dentro de un área dada debe tener un conductor, el cual provea referencia; lo que significa que el acoplamiento de impedancia común es eliminado de las piezas en los equipos dentro de un área común. Cada pieza del equipo dentro de un área tiene una referencia de tierra al mismo nivel, o sea que todos los equipos en un área dada tendrán una referencia similar, puesto que están conectados al mismo punto. Esto reduce la impedancia de acoplamiento común y los efectos del ruido de modo común sobre líneas diferenciales, además cualquier anillo de tierra en dicha área debe tener un área anular mínima.

Cada pieza del equipo debe tener un patrón hacia tierra, o sea que no deben existir anillos de tierra, sino sólo un patrón, ya que los anillos de tierra no se crean en el diseño de un sistema para aterrizado, sino que la interconexión de cables los crea y esto

se debe evitar, además; una resistencia a tierra similar, lo cual significa que cada sistema toma cierta cantidad de interferencia electromagnética y drena el ruido a tierra, lo cual implica, que cada equipo debe tener el mismo potencial de referencia respecto a tierra.

2.1.1 Circuito de tierra

Todos los equipos electrónicos requieren un aterrizado el cual es encaminado a través de los paneles de circuitos. Cada panel de circuitos es alojado dentro de una carcasa que tiene una tierra para equipos, en un punto dentro de la carcasa la tierra para circuitos es aterrizada con la tierra para equipos. Dicho punto es el correspondiente al punto en la estrella de tierra para la unidad en uso.

2.1.2 Blindaje de tierra

Cada pieza electrónica tendrá cables interconectados para sus entradas y salidas de señal. El blindaje de dichos cables está normalmente aterrizado a una terminación común; el lugar más común para aterrizar el blindaje es en la unidad en donde todos tienen su terminación. No obstante es necesario poner el pin del conector de entrada y salida aterrizados a un punto en la carcasa de los equipos; también se pueden aterrizar las cajas para enchufes de los equipos, pero se requiere de un alambre especial.

2.1.3 Tierra de equipos

La tierra de equipo se refiere a la referencia de tierra para cada pieza individual de un equipo electrónico dentro de un sistema para audio y video. Esta tierra es parte de la tierra de seguridad en un sistema eléctrico y entra al equipo a través de un cordón para poder alterno por medio de una horquilla, debido a que es un requerimiento del

NEC. La intención es que cuando una pieza del equipo esté conectada y energizada deba estar conectada a el mismo punto de conexión, de ésta forma, no es posible que se tenga un pieza energizada sin aterrizar.

2.1.4 Bus maestro de referencia a tierra

Este es el eje central para todos los conductores para aterrizado. Hay sólo uno dentro de cada instalación dada y es el punto que conecta el sistema de aterrizado del edificio con el sistema de electrodos de tierra; este punto también aterriza al conductor del neutral para la distribución de potencia.

2.1.5 Bus de referencia para tierra local

Este punto está conectado a la referencia maestra de tierra por un conductor único y de uso pesado. Generalmente hay uno o más de estos conductores dentro de una instalación y están localizados cerca de las centrales de equipos, tales como: cuartos de control, cuartos de máquinas, cuartos de amplificación remota y localidades para móviles.

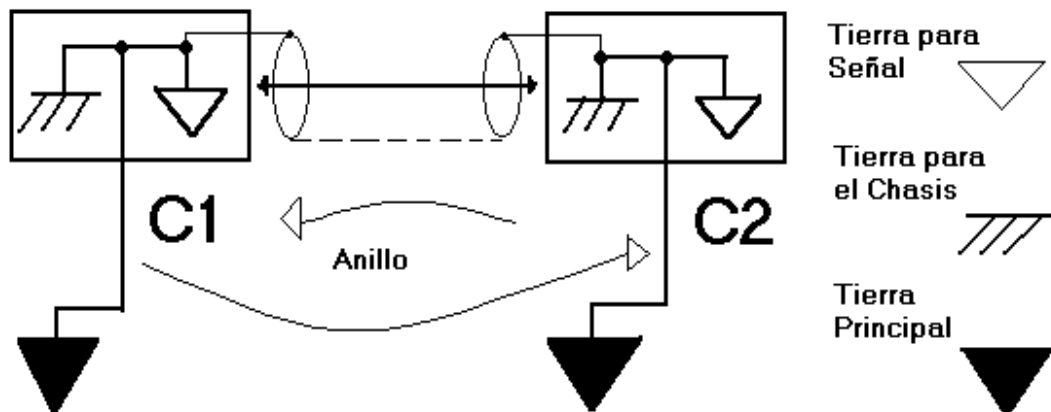
2.2 Acoplamiento de impedancia común

El acoplamiento de impedancia común puede ocurrir entre cualquier par de piezas de un equipo electrónico, cuando dichas piezas comparten un conductor común que tiene una impedancia en medio de ellos. Un ejemplo de esto es un conductor de tierra compartido utilizado por más de una pieza de equipo. Esta es una de la razones principales del porqué un sistema de estrella aterrizada es empleado. La relación entre el área anular y el acoplamiento de impedancia común se debe considerar, dicho acoplamiento se puede dar a través del neutral entre dos equipos.

2.3 Anillos de tierra

Un anillo de tierra ocurre cuando hay más de un patrón de conexión a tierra entre dos piezas de equipo. Los patrones de tierra duplicados hacen el equivalente de una antena circular, la cual capta corrientes debidas a la interferencia. Luego, la resistencia de dicha antena transforma éstas corrientes en fluctuaciones de voltaje. Como consecuencia de los voltajes inducidos en anillos de tierra la referencia de tierra en el sistema no está a un potencial estable, de tal manera que las señales de audio viajan sobre el ruido y éste pasa a formar parte del sistema. En los equipos de sonido los anillos de tierra ocurren dentro de la carcasa, aunque dicho equipo tenga salidas y entradas balanceadas. Se debe evitar equipo no balanceado en un sistema, la excepción son los equipos conectados muy cerca y en la misma toma de un sistema.

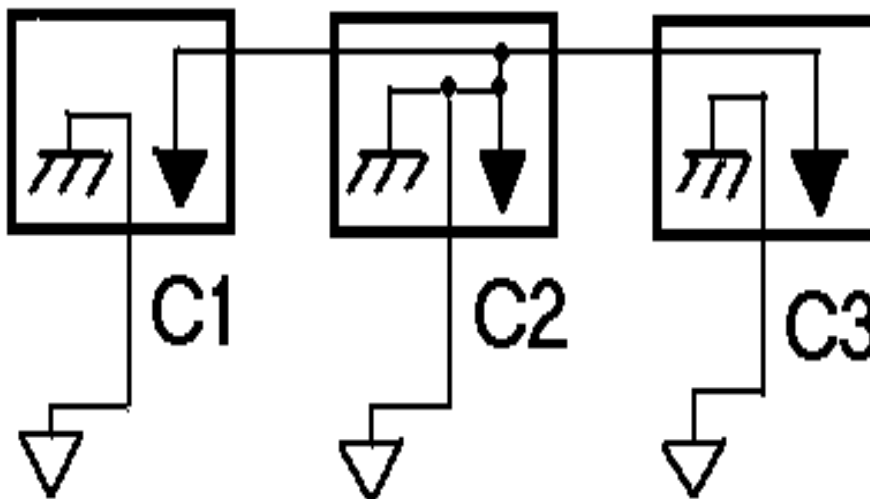
Figura 18. Anillo de tierra



La figura 18, muestra una situación típica con anillos de tierra, dos piezas interconectadas de equipo han sido conectadas a una toma común de AC en lugares distintos, y la tierra de señal está conectada a tierra en uno de los mismos, el patrón de aterrizado del suelo y el patrón de aterrizado de señal forman un anillo el cual puede captar interferencia. Si el equipo no ha sido apropiadamente construido, las corrientes circulantes debidas al anillo, viajan en forma de señales no entendibles para los dispositivos. A su regreso modulan el potencial en alambres portadores de señal, produciendo zumbidos y voltajes de ruido, que no pueden ser separados fácilmente de las señales propias del equipo. Luego dicho ruido y zumbido es amplificado junto con las señales de audio.

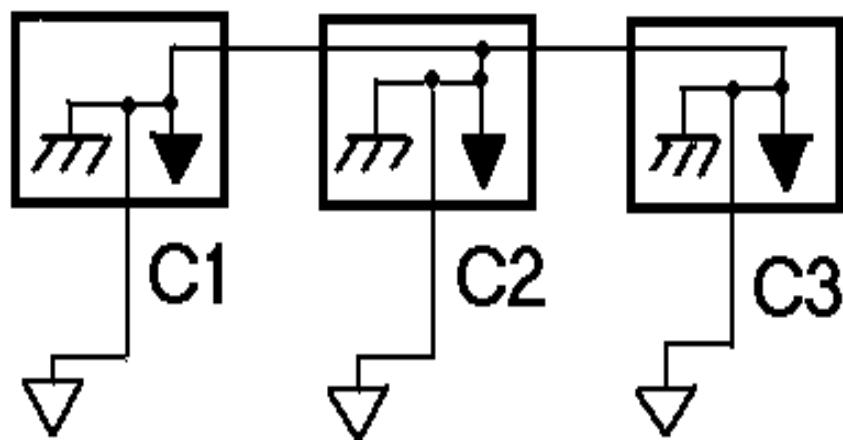
Hay cuatro enfoques básicos para tratar con el aterrizado dentro de un equipo de audio, entre estos, el punto singular, el cual se ilustra en la figura 19. Este consiste en aterrizar cada componente individual; la tierra de señal es llevada entre los componentes y conectada a tierra en un punto central. Dicha configuración es muy efectiva en la eliminación del zumbido en líneas, además fácil de usar en equipos permanentemente instalados, como los estantes en los teatros e instalaciones de iglesias.

Figura 19. Aterrizado de punto singular



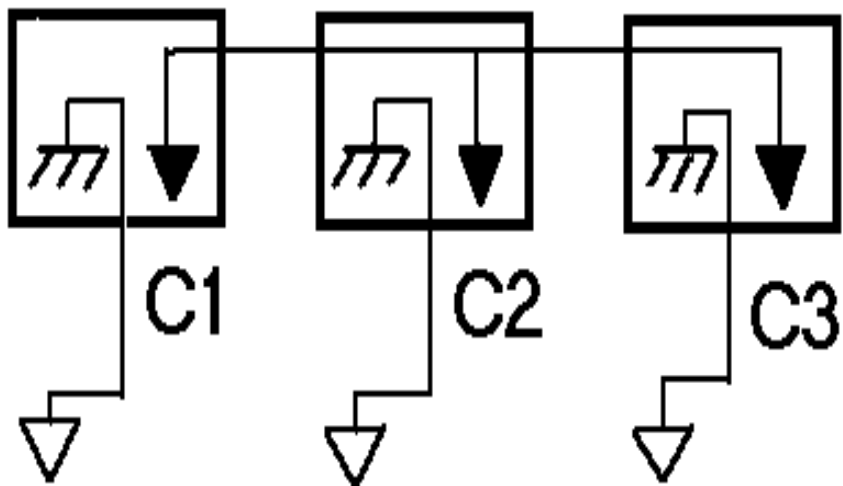
El aterrizado por punto múltiple, como se muestra en la figura 20, es el que se encuentra en equipos no balanceados en los cuales la carcasa está conectada a la tierra de señal. En la práctica es simple, pero no es muy confiable, especialmente en configuraciones de sistemas que cambian frecuencia, un buen ejemplo es una estantería para guitarra, una ventaja de un sistema de estanterías es que la carcasa está sobre los mismo rieles que dan referencia a todo el sistema en un punto común, los sistemas de aterrizado por punto múltiple que utilizan circuitos balanceados no presentan mayores problemas.

Figura 20. Aterrizado de punto múltiple



La figura 21 muestra, el principio del aterrizado por punto flotante. Nótese que el aterrizado está completamente aislado de la tierra. Este sistema es útil cuando la puesta a tierra lleva una cantidad significativa de ruido, pero depende de las entradas de los equipos para rechazar la interferencia inducida en los blindajes de los cables, o sea que las entradas a los amplificadores deben ser muy buenas.

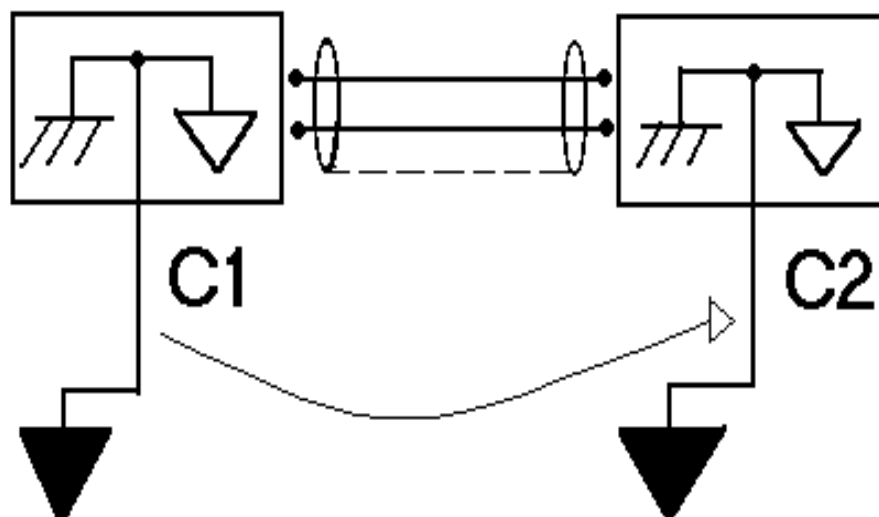
Figura 21. Aterrizado por punto flotante



La figura 22, ilustra el principio de los blindajes telescópicos. Dicho esquema es muy efectivo en la eliminación de los anillos de tierra; cuando el ruido entra solamente a una conexión blindada puede formar el patrón de señal. Implementar dicho enfoque requerirá líneas balanceadas y transformadores, puesto que la tierra no se lleva entre los conductores, con solamente un patrón a tierra puede haber un anillo de tierra, por ejemplo un cable de audio junto a la consola de un amplificador. Una manera típica de romper el anillo es el levantar la tierra de AC en una pieza del equipo, regularmente el amplificador; pero esto hará que el sistema dependa del cable de audio para proveer el aterrizado.

Otra forma es levantar el blindaje en el extremo de un cable para audio. Normalmente las salidas y eliminar con ello los patrones que portan corrientes provenientes de anillos de tierra, pero dicho método toma en cuenta que los blindajes no llevan señales de audio. Con un extremo levantado se rechaza la estática y la interferencia del patrón de audio, pero es algo que se debe tratar de abolir, ya que se debe tratar de conectar la mayoría de los equipos a una toma común para reducir el riesgo de los anillos de tierra y de choque eléctrico.

Figura 22. Aterrizado con blindajes telescópicos



2.4 Áreas anulares e impedancia

La idea de un área anular es importante para los sistemas de aterrizado ya que cuando un anillo conductor se forma, un campo magnético inducirá corrientes dentro del anillo, y dicha corriente estará en función del tamaño de dicho anillo y la fuerza del campo magnético. Oobviamente el problema de interferencia asociado con esto, incrementa con el área del anillo o la fuerza del campo.

2.5 Impedancia del conductor

La impedancia es definida como la resistencia en AC para el flujo eléctrico de corriente. La impedancia describe la resistencia de una pieza de alambre en la presencia de una corriente alterna o AC, pero la impedancia variará con la frecuencia de la corriente en dicho cable. A mayor frecuencia, más impedancia. Hay dos efectos mayores que causan el incremento de la impedancia en una pieza en función de la frecuencia, cuando es en el rango de los MHz, ya que determina la habilidad del cable para drenar el ruido eléctrico.

Los dos efectos principales son, el efecto piel y la inductancia mutua entre conductores. Una explicación del efecto piel es que la inductancia interna de los cables incrementa en el centro del conductor haciendo que la corriente fluya más fácilmente en las orillas del conductor, como consecuencia a muy altas frecuencias la mayor parte de la corriente fluirá alrededor del exterior del conductor y consecuentemente el conductor tendrá un área pequeña, causando el incremento de la resistencia.

El incremento de la inductancia de un pedazo de cable está en función de su longitud y el radio del mismo en centímetros, un pedazo de cable con una curva tendrá

mayor inductancia que uno recto, por lo tanto es necesario hacer una ruta para los cables con un mínimo de curvaturas y vueltas.

Debido al efecto piel es muy común utilizar conductores trenzados o piezas planas de cobre, la razón de esto es que ellos tienen una gran área superficial y por ello se reduce el efecto piel, pero bajo condiciones normales para el EMI no se necesitan trenzados o bandas de metal.

2.6 Ondas estacionarias

Conforme la frecuencia de las señales alternantes incrementa, la manera en la cual las señales se propagan a través de un cable es gobernada por la teoría de líneas de transmisión. Podemos considerar a las ondas viajando en un canal o río, si hay un obstáculo en el canal las ondas se quebrarán y podrían ser reflejadas de regreso en el canal. El caso extremo de esto es una pared al final del canal donde las ondas serán reflejadas completamente de regreso. Es posible bajo estas condiciones tener ondas estacionarias en el canal en donde las ondas viajando hacia abajo del canal y las reflejadas interactúan entre sí creando ondas que no se mueven longitudinalmente en el canal hacia arriba y abajo.

Uno de los efectos de las ondas estacionarias es que a ciertas frecuencias de excitación, un cable se comporta como un circuito abierto, en otras palabras, no hay energía eléctrica transmitida a través del cable, en el caso donde el cable es usado como conductor de aterrizado, el aterrizado no toma lugar.

La frecuencia a la cual las ondas estacionarias se dan, está en función de la longitud del cable, entonces para una frecuencia dada siempre hay una longitud para el cable en la cual habrá discontinuidad, reflejando energía de regreso en la línea cambiando las características de impedancia de la misma.

Una solución para esto, es proveer patrones múltiples de aterrizado de longitudes variantes, pero el problema es que podría causar anillos de tierra, y esta es una de las razones por las que un buen aterrizado cuando se usa alta frecuencia es muy difícil de lograr.

2.7 Planos de tierra

Dado que a ciertas frecuencias un conductor de una longitud dada actúa como un circuito abierto o por lo menos su impedancia incrementa, las rutas múltiples de aterrizado son deseables.

Un plano de tierra consiste de una superficie conductora larga, obviamente cualquier par de puntos entre la superficie pueden ser conectados a través de un largo número de patrones en el plano de tierra, esto significa que a cualquier frecuencia la impedancia entre un par de puntos sobre el plano de tierra, será siempre baja, por ésta razón los planos de tierra son una técnica muy común utilizada en paneles de circuitos en donde son fácilmente implementados.

El concepto de planos de tierra puede aplicarse al aterrizado de equipos de audio y video, como sea, debe tenerse en cuenta que la implementación de los planos de tierra es considerablemente más difícil que la implementación discreta de conductores aislados para aterrizar. Consideremos por ejemplo, un estudio de grabación con un zócalo conductivo puesto por debajo del piso, en el cual cada pieza del equipo puede ser aterrizada, en un punto inmediato y debajo de dicho equipo, lo cual debe dar baja impedancia entre las piezas del equipo.

3. BLINDAJE

3.1 El blindaje y cómo trabaja

Hay dos principios para el blindaje, estos son, reflexión y absorción, cuando una onda electromagnética viaja atravesando el espacio se encuentra con un blindaje y dos cosas pasan, primero mucha energía es reflejada y segundo algo de la energía que no es reflejada es absorbida por el blindaje. Solamente la energía residual emerge del otro lado del blindaje: estos dos efectos de reflexión y absorción son independientes pero ellos se combinan para dar efectividad al blindaje.

Un tercer factor llamado reflexión secundaria ocurre en blindajes muy delgados, la reflexión secundaria ocurre en la frontera del blindaje en el lado lejano del material de blindaje, pero dicho factor es justamente menor y es frecuentemente ignorado.

La mayoría de los problemas de blindaje en alta frecuencia son causados por aberturas en el material del blindaje y no por el material en si mismo, la mayoría de materiales conductores como aluminio, cobre y acero, proveen un substancial blindaje eléctrico.

Por ejemplo, a frecuencias de 30 a 100 MHz, las laminas de aluminio exceden 90 dB en la efectividad del blindaje, desafortunadamente, las mismas laminas de aluminio son extremadamente inadecuadas para los campos magnéticos de baja frecuencia en donde se necesita un acero espeso o materiales altamente permeables para el blindaje adecuado.

3.1.1 Ondas planas

Las ondas planas existen a una distancia alrededor de $1/6$ de la longitud de onda, desde la fuente, en éstas condiciones la relación del campo eléctrico contra el magnético es igual a 377 en el espacio libre o aire, el campo es conocido como campo lejano o campo de radiación. Ejemplos de esto son, las ondas de radio, ya que a 30 MHz la longitud de onda es 10 metros, entonces cualquier transmisor más allá de $10/6$ o 1.6 metros, está en el campo lejano.

3.1.2 Campos eléctricos

Si estamos a menos de $1/6$ de la longitud de onda con respecto a una fuente de alta impedancia, la impedancia de la onda es mayor a 377 ohmios. Esto es conocido como el campo cercano y la energía capacitiva predomina, en el campo cercano las pérdidas son grandes debido a la impedancia alta de la onda, a esto se debe, el porqué es posible hacer un blindaje efectivo contra el campo eléctrico.

Otra forma de ver éste fenómeno es que el campo eléctrico produce voltajes en los circuitos. Si se sospecha que una interconexión análoga tiene EMI, se debe intentar desconectarla de los cables del circuito, luego se deben acortar los cables para señal, con esto cualquier voltaje diferencial será reducido. Como resultado, las entradas y salidas de señal se volverán silenciosas, confirmando el acople del campo eléctrico.

3.1.3 Campos magnéticos

Si estamos cerca de una fuente de baja impedancia, en otras palabras una fuente de corriente, la impedancia de la onda es menor a 377 ohmios. También éste es un campo cercano en el cual la energía inductiva predomina, las pérdidas de reflexión son mucho menores aquí debido a la baja impedancia de la onda y este problema empeora

conforme la frecuencia cae. Esta es la razón por la cual el blindaje es inefectivo contra los campos magnéticos de baja impedancia, lo cual requiere de circuitos balanceados y alambres trenzados.

Otra forma de verlo, es que el campo magnético produce corrientes en los circuitos. Si se sospecha que una interconexión análoga tiene EMI, intente desconectarla de los cables del circuito y luego deje los cables en circuito abierto, con esto cualquier corriente será detenida y la entrada de señal se volverá silenciosa, lo cual quiere decir que el campo magnético se acopló.

3.2 Tipos de blindaje

El aluminio y el acero son los materiales mas comúnmente utilizados, ya que pequeñas capas de dichos materiales proveen un blindaje adecuado para campos eléctricos de alta frecuencia, pero el blindaje para campos magnéticos debe ser hecho con acero, ya que el aluminio es virtualmente transparente para los campos magnéticos de baja frecuencia o sea menores a 1000 Hz.

La efectividad del blindaje puede ser comparada con un balde de agua, ya que hasta un pequeño agujero en el balde afectará su utilidad bajo ciertas condiciones. Es muy importante procurar crear un blindaje en el cual la superficie sea conductiva y continua, por ejemplo, en el caso de una lamina para blindaje de un cable. Es importante que la forma en la cual el cable fue envuelto provea una lazo circunferencial de conducción continuo.

3.2.1 Materiales para blindaje

Tabla I. Materiales para blindaje

Blindaje de las vías de propagación					
Tipo de vía	Espesor	Atenuación del campo magnético a 60 Hz		Atenuación del campo eléctrico a 100 kHz	
		relación	dB	relación	dB
Aire libre		1 : 1	0	1:1	0
Conduit de aluminio de 2 pulgadas.	0.154	1.5 : 1	3.3	2150 : 1	66.5
Bandeja de aluminio No. 16 ga.	0.060	1.6 : 1	4.1	15550 : 1	83.9
Bandeja de acero No. 16 ga.	0.060	3 : 1	9.4	20000 : 1	86
Bandeja de hierro tipo lingote galvanizada No. 16 ga.	0.060	3.2 : 1	10	22000 : 1	86.8
Tubería IPS de cobre de 2 pulgadas	0.156	3.3 : 1	10.2	10750 : 1	80.6
Bandeja de aluminio No. 16 ga.	0.060	4.2 : 1	11.5	29000 : 1	89.6
Bandeja de acero galvanizado No. 14 ga	0.075	6 : 1	15.5	23750 : 1	87.5
Entubado metálico para electricidad o EMT de 2 pulgadas.	0.065	6.7 : 1	16.5	3350 : 1	70.5
Conduit rígido galvanizado de 2 pulgadas.	0.154	40 : 1	32	8850 : 1	78.9
Relación = campo eléctrico / campo magnético					

3.3 Manteniendo la integridad del blindaje

3.3.1 Penetraciones

Cada vez que un material conductor atraviesa un blindaje, por ejemplo, cuando un conductor atraviesa un recinto metálico, la efectividad del blindaje es considerablemente disminuida, esto se debe a los campos incidentes en el blindaje, ya

que son conducidos a través del blindaje del conductor y luego radiados nuevamente en el extremo lejano del blindaje, hasta una pequeña abertura a través del conductor es un problema significativo, esto explica el uso de filtros de línea A/C en el límite en donde los conductores entran a los equipos.

3.3.2 Aberturas

Cualquier abertura en el blindaje disminuirá su efectividad, lo más interesante acerca de las fugas electromagnéticas a través de las ranuras es que la longitud de la abertura es el factor crítico y no el área total. Por ejemplo, diez ranuras de 1/10 de pulgada tendrán alrededor de diez veces las fugas de un agujero de una pulgada cuadrada, a pesar de que tienen la misma área, las ranuras se deben mantener más cortas que 1/20 de la longitud de onda de la frecuencia más alta, como ejemplo, a 100 MHz la ranura debe ser menor a seis pulgadas, a 300 MHz menor a dos pulgadas y a 1 GHz alrededor de 2/3 de pulgada, de esta forma se asegurará que la atenuación sea por lo menos de 20 dB en la frecuencia más alta, para atenuaciones mayores a los 40 dB se deberán mantener las ranuras mucho más cortas que 1/200 de la longitud de onda.

3.3.3 Aterrizando el blindaje

La conexión a tierra no juega un papel importante en la efectividad del blindaje contra el EMI, el blindaje ideal contra el EMI es formar una capa conductora continua alrededor de los objetos a los que en realidad protege, en el caso de los cables que vienen en par trenzado normalmente terminados con un XLR, claramente hay una abertura en el blindaje del conector, si se conecta el blindaje en la tierra de la carcasa del equipo la continuidad del blindaje se mejora.

En el caso de conectores coaxiales o BNC, el blindaje hace una conexión circunferencial en el conector del cable y este de regreso hace una conexión

circunferencial en el conector montado en el panel proveyendo 100 por ciento de cobertura en el conductor interior, pero la desventaja es que se forman anillos de tierra entre los extremos transmisores y receptores, en el caso de equipo de audio, el blindaje nunca es aterrizado en los dos extremos para abolir el problema del anillo de tierra y en el caso de equipos de video debido a las altas frecuencias de operación es más importante mantener la impedancia de la línea que la integridad del aterrizado del equipo. Muchos blindajes son la carcasa del equipo en sí y requieren de aterrizado por razones de seguridad, por ejemplo, las estanterías de los equipos requieren de aterrizado junto con el conduit y las canaletas.

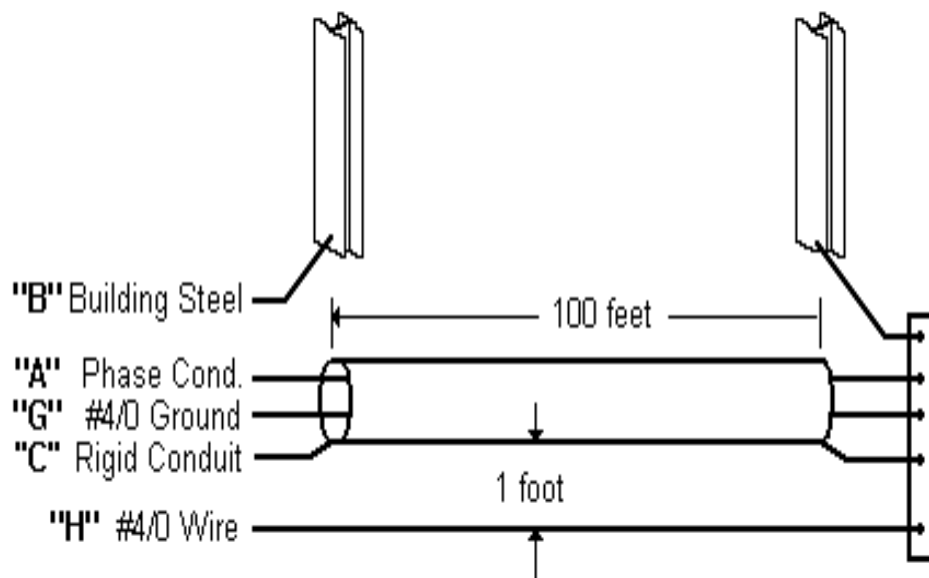
3.4 El experimento “Kaufmann”

El experimento Kaufmann, demostró la importancia de la forma en que se distribuyen los conductores de potencia y de aterrizado en la misma canaleta. El experimento básico es mostrado en la figura 23, una fuente de corriente ha sido conectada al conductor de fase y a posibles patrones de retorno a tierra, en comparación con las impedancias relativas de 100 pies de conduit de acero rígido contra un conductor aislado número 4 utilizado para aterrizar y alambrado por fuera del conduit.

El 90 por ciento de la corriente de falla a tierra fluye sobre el conduit y sólo el 10 por ciento fluye sobre el conductor de aterrizado por fuera del conducto. La impedancia del conduit es nueve veces más baja que la impedancia del conductor para aterrizado externo al conducto, pero cuando el conductor para aterrizado es alambrado junto con los conductores de potencia, dentro del mismo conducto, el 80 por ciento de la corriente de falla fluye en el conductor para aterrizado y solo el 20 por ciento en el conduit.

La impedancia del conductor para aterrizar es cuatro veces más baja que la del conduit, de aquí resulta la recomendación de utilizar un conductor para aterrizado, el cual es aislado de los equipos y va junto a los conductores de potencia, con lo cual se quita la dependencia del conduit el cual está sujeto a corrosión y pérdidas de conexión. Para terminar la comparación, cuando el acero de la estructura del edificio es comparado con el conduit rígido, el 95 por ciento de la corriente de falla fluye por el conduit y solo un 5 por ciento por la estructura de acero del edificio.

Figura 23. Experimento "Kaufmann"



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo, 2000

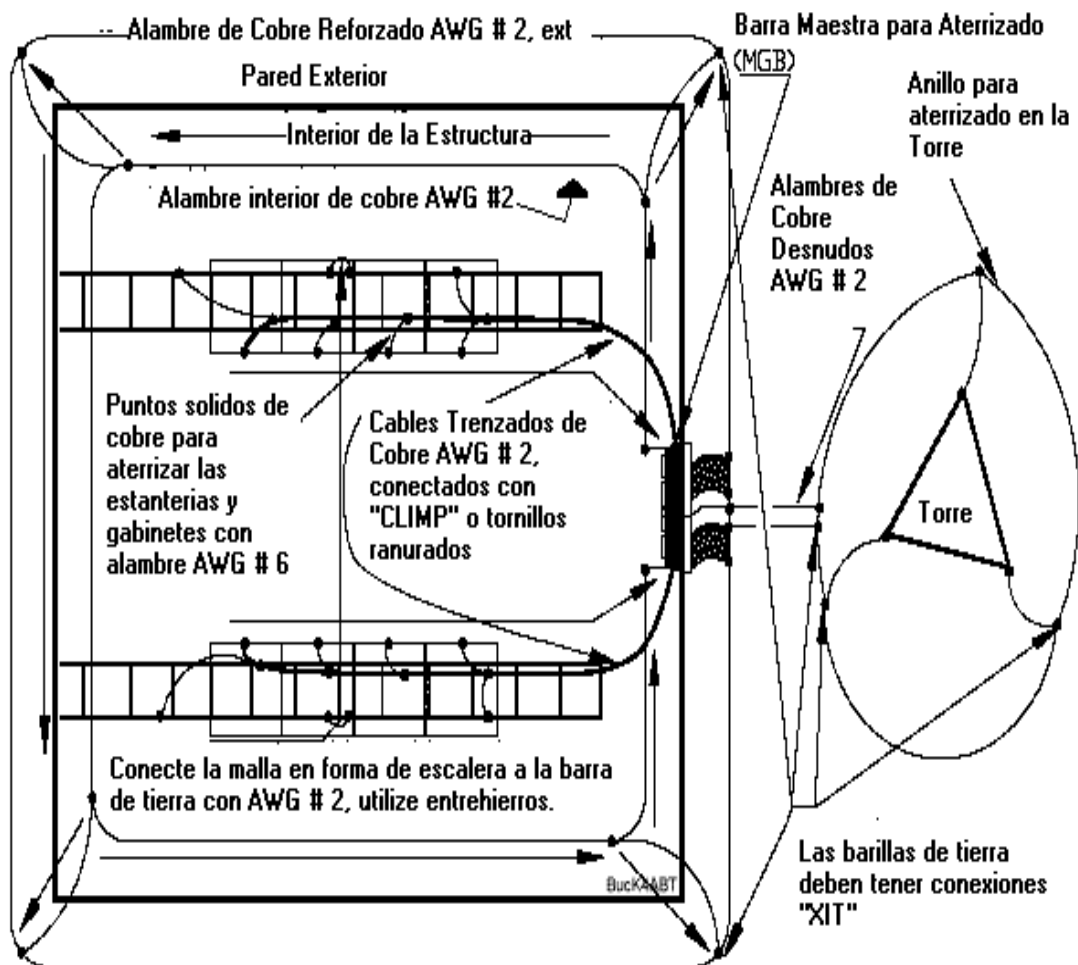
3.5 Rayos y consideraciones para aterrizado

Las estructuras metálicas de antenas que están ancladas en la tierra son inherentemente protegidas, los sistemas de radio pueden ser dañados por impactos directos de rayos, pero dichos rayos deberían estar limitados solamente en las

estructuras para eliminar los arcos eléctricos, pero si la habilidad de la antena de sobrellevar impactos directos de rayos es dudosa, entonces se deben instalar pararrayos en la parte más alta de la torre.

Los pararrayos deben ligarse directamente a la estructura metálica y resaltar los suficiente arriba de elementos vulnerables, para proveer un buen cono de protección, los accesorios para rayos también se pueden dañar si no están blindados, las torres de antenas y sus soportes, proveen un patrón de conducción excelente para las corrientes de golpe, pero la base y los anclajes de la estructura deben estar adecuadamente conectados a electrodos de tierra.

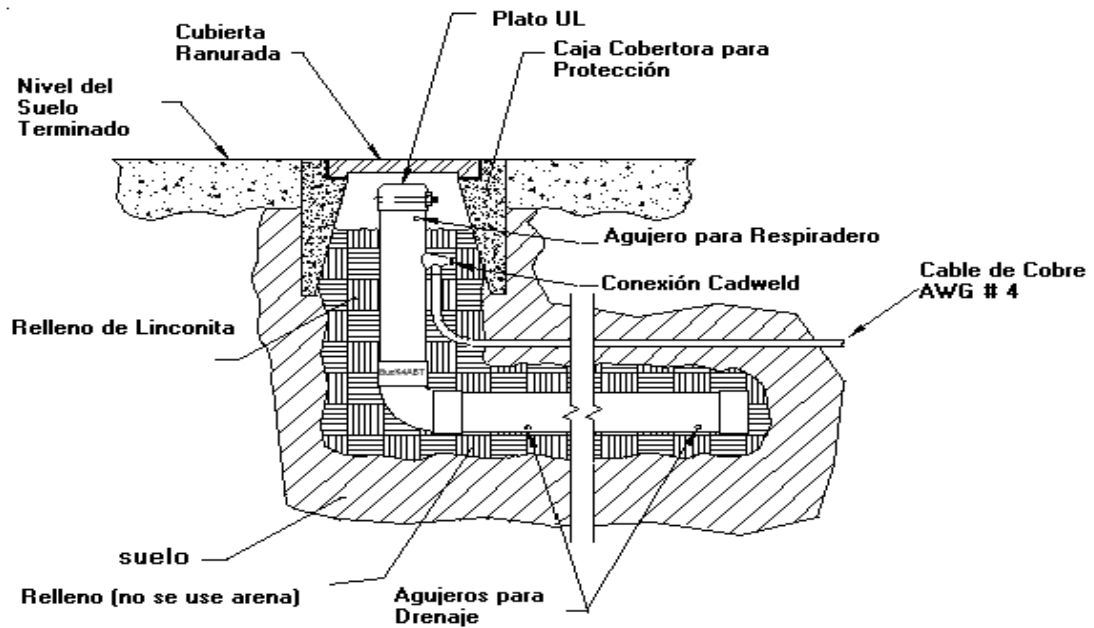
Figura 24. Distribución del sistema para aterrizado



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Cuando polos de madera son utilizados para soportar las antenas, entonces un pararrayos en la cima de la estructura debe ser provisto para interceptar las descargas, dicho pararrayos deberá tener un cable de aterrizado soldado al mismo y encaminado hacia un sistema de tierra. En configuraciones comunes los pararrayos son ligados en el polo con un extremo resaltando por encima del tope del polo para proveer un cono de protección conveniente, un alambre AWG # 6 sólido es conectado en el pararrayos y engrapado directamente en el polo en el lado opuesto de la línea coaxial de la antena, todos los circuitos, la antena y soportes deben ser conectados a dicho conductor.

Figura 25. Punto común en forma de "L"



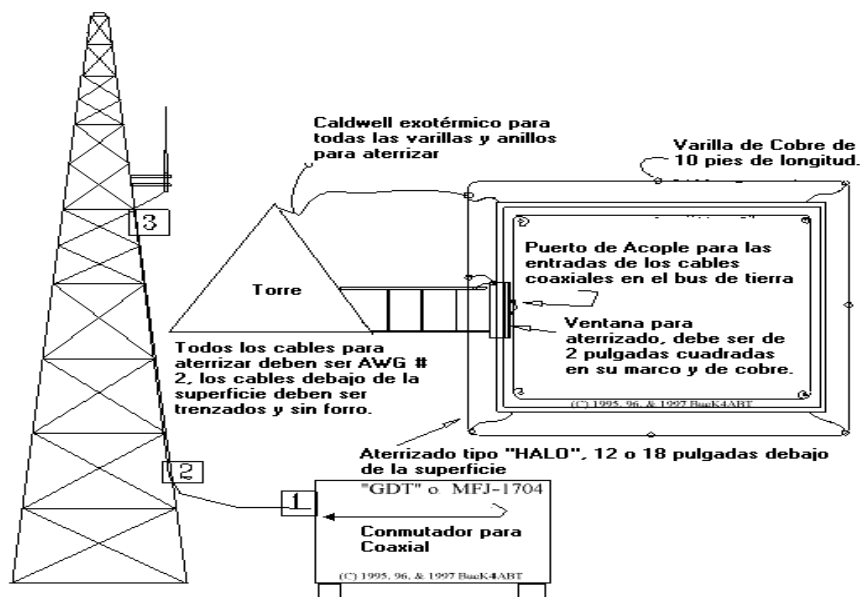
Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Las bases de los polos, los blindajes de líneas, gabinetes para equipo y otros objetos conductores deben enlazarse también a este conductor de bajada, el cual será conectado al sistema de tierra, similar al que se muestra en la figura 24.

El sitio para aterrizado no debe consistir de un sistema de tierra único, todos los sistemas de tierra deben conectarse juntos, como su muestra en la figura 24, un punto común, llamado barra maestra de aterrizado o MGB, como el mostrado en la figura 25, se debe implementar para lugares en donde un buen aterrizado es difícil de conseguir, en los cuales se podría utilizar tratamiento químico, el punto común previamente dicho es parte de un sistema llamado Lyncole "XIT-L".

Otro método para el aterrizado consiste en ligar la tierra en el punto de entrada de la estructura, ligue las tierras con los blindajes cuando una línea coaxial empieza su camino hacia arriba, también ligue el extremo superior del coaxial antes de la curvatura del mismo, como lo es el punto 3 en la figura 26, las curvaturas deben ser suaves no muy bruscas, los aterrizados en los puntos 1, 2 y 3 deben ser sellados para no ser afectados por el ambiente.

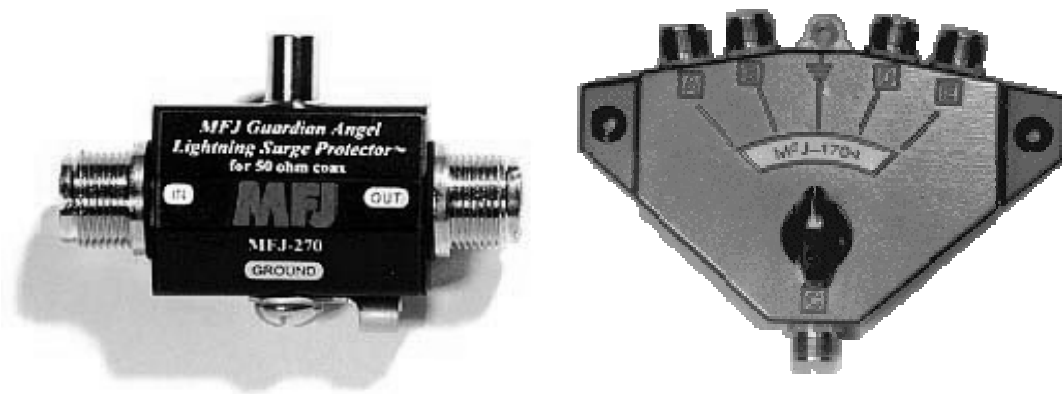
Figura 26. Aterrizado "Hamshack"



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo, 2000

Para evitar que un equipo de audio, o de radio sea destruido por un rayo, a través de las líneas coaxiales, se debe utilizar un GDT o tubo de descarga de gas, el cual es un supresor de rayos que previene el daño al equipo, dicho supresor tiene la capacidad de derivar 5000 amperios, por medio de una conexión que dicho GDT tiene conectada a tierra, presentan impedancias de 50 ohmios, tiene una relación de onda de choque o SWR de 1.1 : 1 y una pérdida de inserción típica de 0.1 dB, se pueden utilizar para manejar hasta 1 GHz y 400 vatios de potencia, en la figura 27 se muestran unos de ellos.

Figura 27. Conector GDT



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

4. TIERRA E IMPLEMENTACIÓN DE CABLEADO PARA EDIFICIOS EN A/C

4.1 Estrella A/C y tierra

En una estrella de tierra todas las conexiones básicas están ligadas a una barra neutral de tierra; tanto la tierra de los equipos como la del sistema están vinculadas una con otra, junto con la instalación del electrodo de tierra. Además, un cable adicional corre entre el punto central de aterrizado para el sistema y el punto de aterrizado maestro; el primero es el centro del sistema de aterrizado en estrella ya que desde este punto se distribuyen los centros de cada equipo en la red; esto puede incluir, por ejemplo, cada cuarto de control en un estudio o instalación de transmisión; en un teatro, esto sería el cuarto de amplificadores.

En la integración entre el sistema de potencia y el sistema de aterrizado, hay suficiente equipo electrónico para justificar un punto local de aterrizado, y se hace, también, debido a los centros de carga de la instalación; en otras palabras, los paneles A/C de distribución tendrán una barra aislada local para aterrizado. Cuando se implementa un sistema con este método se hace que los conductores de aterrizado vayan juntos con los conductores neutrales y de fase; esto es un punto crítico para algunos códigos eléctricos pues éstos requieren que los conductores de aterrizado corran junto a los conductores de fase y neutral a los cuales sirven.

Frecuentemente, cuando se instalan sistemas de aterrizado, hay un requerimiento llamado **potencia técnica**, es decir, que debido al uso de equipo electrónico sensible se necesitan: una fuente de poder limpia y un aterrizado efectivo, Mantener limpia la potencia requiere que no hayan cargas de equipo extensivas que generen ruido eléctrico en la línea de poder; por ejemplo: equipos de aire

acondicionado, motores que arrancan y paran regularmente, soldadoras, o iluminación de intensidad variable, todas estas producen transitorios y ruido.

Además la potencia técnica, debe ser continua, o sea, debe tener un respaldo de baterías en caso de una corte de potencia para mantener el voltaje de línea y la corriente, por lo menos, en lo que los equipos se apagan correctamente. Una forma lógica de organizar un sistema de aterrizado, es hacer que todas las terminaciones del sistema estén en lugares únicos.

En la entrada de servicio, la tierra del sistema se conecta con la tierra de los equipos, es decir el sistema de tierra con el sistema de electrodos de tierra en el edificio; los paneles son los puntos de distribución centrales de potencia y aterrizado para todo el sistema, en cada subsistema puede existir solamente un panel.

Cada equipo principal debe tener asignada un área en el edificio; dichos paneles de equipo pueden estar separados de 20 a 30 pies, como los que hay en un cuarto de control, y cientos de pies como en un teatro o estadio. Estos últimos tienen muchas estaciones remotas para equipo, solo se requiere que las conexiones de tierra estén correctas en dichos puntos para obtener una sistema aislado de aterrizado en estrella, pero se debe tener en cuenta el tamaño de los conductores y las rutas de los mismos.

4.2 Conductores

4.2.1 Especificaciones técnicas

Tabla II. Tamaños del conductor

Tamaño técnico del conductor para aterrizar en AWG y en mm²					
Salida del conductor (ruta entre dos puntos)	Rango dinámico	Rango dinámico medio (60 a 80 dB)		Rango dinámico alto (> 80 dB)	
		EMI baja	EMI alta	EMI baja	EMI alta
	bajo (<60 dB)				
Del electrodo de tierra a la barra principal.	6 13.3	2 33.63	00 67.45	00 67.45	0000 107.2
Del la barra principal a la barra local.	10 5.261	8 8.366	6 13.3	4 21.18	0 53.48
De la barra local a una estantería, unidad o receptáculo.	14 2.081	12 3.309	12 3.309	12 3.309	10 5.261
De la barra local a unidades múltiples o equipo mayor.	14 2.081	12 3.309	10 5.261	10 5.261	4 21.18
Máxima resistencia para los cables en ohmios(Ω).	0.5	0.1	0.001	0.001	0.0001

4.2.2 Seguridad y requerimientos de código

Tabla III. Tamaño mínimo del conductor

Tamaño mínimos del conductor para aterrizado de equipos según el NEC		
Relación de corriente en dispositivos automáticos de sobre corriente en la cabecera de los equipos (A)	Alambre de cobre AWG y mm²	Alambre de aluminio AWG y mm²
15	14 (2.081)	12 (3.309)
20	12 (3.309)	10 (5.261)
30	10 (5.261)	8 (8.366)
40	10 (5.261)	8 (8.366)
60	10 (5.261)	8 (8.366)
100	8 (8.366)	6 (13.3)
200	6 (13.3)	4 (21.18)

4.3 Terminación del conductor

En un sistema de aterrizado es importante que las terminaciones de los cables sean hechas para que aseguren una conexión de baja resistencia por un largo período de tiempo, pues hay una serie de factores que afectan la fiabilidad de las conexiones.

La corrosión galvánica ocurre cuando metales no similares están en contacto y expuestos a la humedad en una atmósfera de contenido salado ionizado, esto puede ser un problema en áreas cercanas al océano o a industrias pesadas, además los metales que pertenecen a las **series electromotoras** producen una reacción; el efecto de esta reacción es reducir el área de contacto y consecuentemente la integridad de la conexión; la mayoría de los problemas de corrosión ocurren con el aluminio, ya que éste se puede poner en contacto solo con aluminio o metales que tengan una aleación especial que permita la adaptación electronegativa entre los metales.

El hormigueo es otro factor que afecta la integridad del contacto, este es definido como el cambio dimensional que se da con el tiempo, en un material bajo carga; en otras palabras, ciertos materiales continuarán deformándose mientras se aplique presión; el ejemplo más importante de esto es el alambre de aluminio que después de varios años de estar bajo presión, eventualmente llega a aflojarse; para estos se utilizan técnicas de rizado especiales en la construcción de dichos cables y materiales selectos.

Respecto a la oxidación, ésta ocurre cuando los materiales se combinan con el oxígeno, cuando se oxidan por sí mismos ya no son conductivos y por esto se producen contactos de conductividad pobre, materiales como el oro, paladio y rodio, no se oxidan fácilmente, por lo tanto son buenos materiales para contacto; su desventaja es que son muy caros. Uno de estos metales es el cobre, pero se oxida fácilmente cuando se usa para contactos eléctricos, pues las altas tensiones usadas en la mayoría de contactos para potencia están habilitados para limpiar el área, esto quiere decir que el arqueado eléctrico

pasa a través del óxido; pero en circuitos de baja tensión como un sistema de aterrizado no son tan confiables.

Otra forma de limpiar contactos en las terminaciones para A/C, es insertar y sacar las conexiones en las tomas eléctricas, esto causa una acción de frotamiento que raspa el óxido de las superficies, pues con el tiempo, el óxido se vuelve a formar y por eso se deben utilizar receptáculos o tomas de calidad en lugares como hospitales; dichos receptáculos tiene altas presiones de contacto que previenen el óxido en las superficies de contacto.

4.4 Separación y rutas

La separación física de los cables tiene un efecto significativo en la interacción de uno respecto al otro; los efectos de la separación de cables paralelos son gobernados por la regla de los 3 dB por cada vez que la distancia se duplica y esto se aplica para ambos: campos eléctrico y magnético; por ejemplo, cuando espaciamos los cables a una unidad de distancia 2, 4, 8 ó 16, hay 3 dB menos de acoplamiento por cada paso, por esto se necesitan distancias grandes para mejorar dicha relación.

Cuando se hace la ruta de los cables, la compatibilidad electromagnética puede ser obtenida por medio de saber el recorrido de la ruta de dichos cables, es recomendado que los conductores para aterrizado no estén cerca de conductores de alta potencia en el edificio, por ejemplo, los alimentadores principales del servicio, y otros equipos como motores, luces reguladas y equipo industrial; estas líneas contienen campos magnéticos transitorios por a la conmutación de líneas de A/C; adicionalmente, las rutas de los cables deben ser alejadas de motores y transformadores que generan campos eléctricos y magnéticos considerables.

5. IMPLEMENTACIÓN DE ALAMBRADO PARA CABLES DE SEÑAL EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS

5.1 Blindajes

En los capítulos anteriores se describió cómo se deja el sistema de aterrizado en el equipo a través de las tomas de A/C en el sistema, utilizando el contacto de aterrizado en los equipos. Este viene en el cordón que le da poder a un equipo y se conoce como la tercera punta, con el sistema de aterrizado en su lugar es necesario implementar las medidas restantes en la tierra, los blindajes en los cables y otros elementos del sistema de audio o video.

Uno de los aspectos más interesantes, es que la corriente que fluye en el blindaje de un cable no es particularmente importante con respecto a la inducción de ruido en el alambrado para señal y las entradas de circuitos; para entenderlo se debe tomar en cuenta que cuando se crea un anillo de tierra, debido a que ambos extremos del blindaje tienen una terminación, esta corriente fluye en el anillo de tierra atravesando el blindaje y los conductores para aterrizado que forman parte de este sistema; se pensaba que la corriente en el blindaje inducía interferencia electromagnética en los conductores para señal contenidos dentro de él y que la corriente en los conductores para aterrizado también creaba ruido y que éste modulaba la referencia de aterrizado para los equipos.

Se han hecho pruebas que indican que para la mayoría de cables modernos, el ruido inducido en los conductores de señal de un cable debido a las corrientes del blindaje es insignificante, por lo menos para los equipos que tienen menos de 90 dB de rango dinámico. Esto significa que los anillos de tierra creados por los blindajes dañan debido a la corriente que ellos crean en otros conductores para aterrizado que forman parte del anillo; este es un aspecto importante, que evidencia como el blindaje de un

cable es de menor importancia con respecto a el EMI, un ejemplo son las compañías telefónicas que operan con pares trenzados no blindados con gran efectividad.

Es muy importante que no se introduzcan anillos de tierra en la implementación de esquemas de blindaje aterrizado, pues el aterrizado de blindajes no es de mucha importancia; de aquí que el criterio principal en la aplicación de técnicas para aterrizado de blindajes y métodos de terminación es que ellos eviten los anillos de tierra; en el caso de cable coaxial.

El blindaje sirve para varios propósitos: el primero es el proveer un línea de transmisión de características de impedancia constantes y específicas, usualmente 75 ohmios. El segundo es blindar el conductor de señal que lleva por dentro, y el tercero proveer el patrón de retorno para la corriente en un cable de señal.

Este sistema obviamente, crea anillos de tierra en cada vuelta o retorno donde el blindaje tiene una terminación o aterrizado, para de tener características constantes de impedancia y un patrón de retorno para señal; los sistemas de video actuales son bastante resistentes al zumbido de baja frecuencia, regularmente asociado con los anillos de tierra y hay técnicas utilizadas para sobrellevar los problemas debidos a los anillos en donde sea que ocurran, pero este no es el caso de los equipos de audio que operan en la cercanías de los equipos de video y que son afectados por los anillos de tierra. Una técnica para tratar con este problema se llama **segregación de equipo**.

Se debe recordar que cuando se analizan los problemas del par trenzado en esquemas de blindaje aterrizado, las conexiones de los blindajes en un par trenzado de cables tiene poco que ver con las conexiones de los conductores de señal dentro del cable, dependiendo del formato de la interconexión de audio, sea balanceada o no balanceada, electrónica o por transformador. Hay diferentes formas de hacer la terminación de los cables para señal, esto por supuesto, no tiene nada que ver con el

método usado para la terminación del blindaje; son dos problemas distintos y por lo tanto se requiere su análisis por separado.

Los anillos de tierra son problemáticos por las corrientes que ellos crean en los conductores para aterrizado y porque los mismos conductores serán compartidos por ciertas piezas de un equipo en un grupo de equipos. Un anillo de tierra creado por una sola pieza del equipo puede tener impacto sobre el ruido de otra pieza en el equipo; debido a esto, es frecuentemente difícil rastrear y corregir los problemas asociados con los anillos de tierra; por eso se deben guardar todas las precauciones en el escenario a alambrear, sean con el fin de eliminar la posibilidad de que un blindaje llegue a estar inadvertidamente a tierra, ya sea en la concha de un conector, el sistema de tubos metálicos o el sistema de aterrizado en sí.

5.1.1 Disposición fija de sistemas

La disposición fija de sistemas se define como aquellos que están permanentemente alambrados y no tienen la posibilidad de ser reconfigurados o compuestos, usualmente por el uso de una extensión con receptáculos o tomacorrientes. En el caso de sistemas de disposición fija la tarea es bastante sencilla con respecto a las conexiones del blindaje; la regla para aterrizar blindajes, es aterrizar el blindaje del cable en un extremo únicamente y es llamada la regla OEO; se recomienda aterrizar el conductor a la salida, como regla general, porque las salidas nunca están juntamente anilladas y, por lo tanto, se evita la posibilidad de un anillo de tierra. Las entradas, regularmente, se manejan en paralelo, particularmente en sistemas para fuentes de poder.

En el caso de conexiones de señal no balanceadas, como conectores de audio HI-FI o conexiones en cables para video, ambos utilizan cable coaxial, el blindaje también

lo forma el conductor de retorno para el conductor de señal, en este caso, obviamente, el blindaje no puede ser levantado y un anillo de tierra necesariamente se forma.

5.1.2 Disposición flexible de sistemas

Se define la disposición flexible de sistemas como aquellos que usan dispositivos que les permiten cambiar su configuración; en la práctica, el uso de dichas composturas en los sistemas complica el esquema de aterrizado para el blindaje, la razón de esto es que cuando un par de tomas de electricidad están conectadas a un par de entradas no existe un anillo de tierra, pero cuando una caja de enchufes se pone en medio de una salida y una entrada, se presenta el fenómeno del anillo; dicho fenómeno se da por la forma en que el aterrizado del blindaje es manejado en la caja de enchufes. Si la caja de enchufes se trata como una pieza del equipo en donde los blindajes están aterrizados o levantados, el anillo de tierra se evita y de hecho es la técnica recomendada.

5.2 Otras consideraciones

5.2.1 Segregación de equipos

Con el problema asociado con las conexiones coaxiales para video y los anillos de tierra, es frecuente segregar los equipos en estanterías separadas y proveer conductores individuales aislados para aterrizar dichas estanterías desde el panel principal de distribución en A/C. Por medio de esto, los anillos de tierra creados por los sistemas de video son aislados, tanto como es posible de los sistemas sensibles para audio; esta idea puede ser tomada más allá y segregar otros sistemas que quizás son menos sensibles como intercomunicadores y sistemas de señalización en otras estanterías.

Consecuentemente, en una instalación se podría tener estanterías conteniendo solo equipo para audio, otras estanterías conteniendo solo equipo para video y otras, para equipo de control e intercomunicación. Cada uno de estos tres sistemas de estanterías deberán estar parados sobre su propia base aislada y alimentados de poder con conductores dedicados para aterrizado desde el punto de distribución local de potencia. Obviamente, conforme se entra en la era digital, las diferencias entre todos estos tipos de señales disminuyen conforme han llegado a ser corrientes de bits, como sea, la sensibilidad de las señales digitales a el EMI causado por los anillos de tierra es menos crítica que en los sistemas análogos.

5.2.2 Tierras agrupadas

Como se mencionó, el área anular en un anillo de tierra determinará la extensión de la corriente que podría ser inducida por los campos magnéticos cercanos, pero si los cables para aterrizado asociados con el equipo en una estantería se agrupan juntos y se les hace correr en paralelo; entonces, el área anular será minimizada, estos cables pueden ser juntamente entorchados eliminando el área anular prácticamente a cero.

5.3 Terminación del blindaje


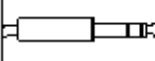

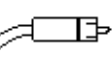


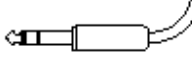
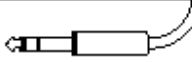
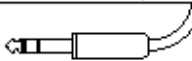

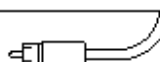
Se debe terminar el extremo aterrizado de un cable blindado con un manguito aislante sobre la cubierta de la terminación y una pieza de tubo sobre el cable de drenaje para prevenir la posibilidad de que el blindaje llegue a ser inadvertidamente puesto en corto circuito con otro dispositivo, blindaje o aterrizado. El blindaje debe estar completamente aislado y no aterrizado o puesto en corto con otro cable; ésta es otra razón para terminar el cable en un manguito aislante, en el caso de cables muy largos, por ejemplo, sobre los 1000 pies y que estén en áreas con un factor elevado de EMI, sería deseable partir el blindaje y el aterrizado en dos partes, esto es para reducir la longitud del blindaje.

Cuando se haga la terminación de cables blindados, siempre se debe mantener la porción del cable que no es blindada tan corta como sea posible, ya que dicha porción debe ser menor a 1 pulgada de largo, nunca debe darse terminación al blindaje de una línea balanceada para audio en ambos extremos, como una opción para romper los blindajes largos en piezas, se puede utilizar un capacitor en un extremo del cable blindado para aterrizar al mismo; en otras palabras, un extremo del cable se aterriza normalmente con una conexión directa hacia tierra y el otro extremo del blindaje es aterrizado vía el capacitor, esto provee aterrizado para alta frecuencia sin introducir un anillos de tierra en corriente directa, en áreas con alto coeficiente de EMI dicha técnica es útil con cables cortos.

Siempre se deben evitar o minimizar los quiebres en cables blindados, tales como cajas para unión, siempre debe buscarse la continuidad del blindaje y el aislamiento respecto a tierra a través de todas las cajas y conectores múltiples, también deben utilizarse cables blindados que tengan un patrón de conductividad continuo alrededor de la circunferencia; este no es el caso de algunos cables baratos en los cuales los arrollamientos se envuelven alrededor del cable y además ponen el aislamiento de mylar en contra de la laminilla de aluminio; generalmente un pliegue o doblez es necesario en el folio o laminilla para asegurar la conducción en el traslape, también el cable de drenaje debe dejarse contra el lado del blindaje en el folio haciendo contacto eléctrico, obviamente a mayor cantidad de arrollamientos en la envoltura del cable mejor es el blindaje esperado.

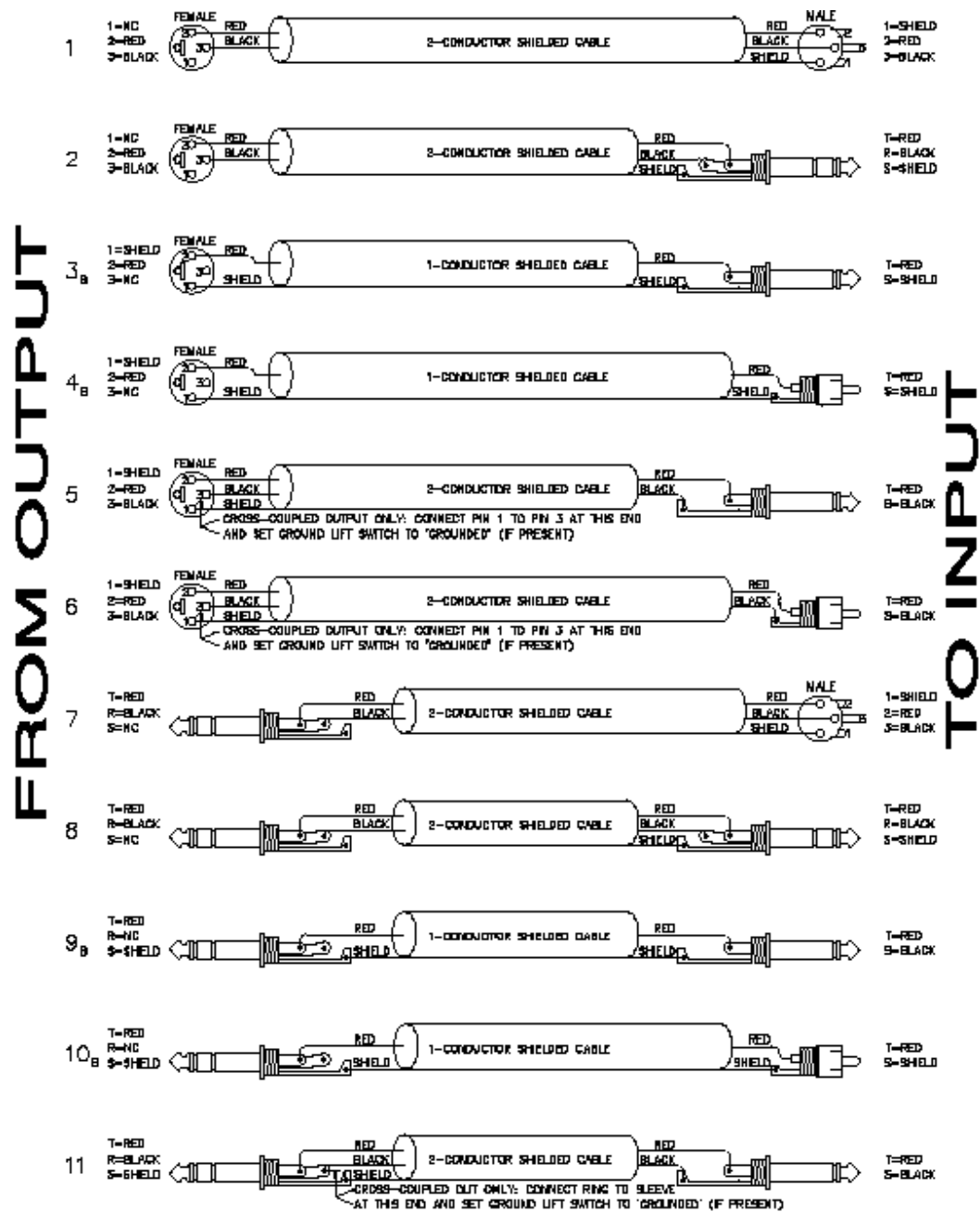
Figura 28. Terminaciones de conductores

TO INPUT

FROM OUTPUT	CABLE CONNECTORS	 MALE BALANCED XLR	 1/4" BALANCED TRS	 1/4" UNBALANCED TS	 UNBALANCED RCA
	 FEMALE BALANCED XLR (NOT A TRANSFORMER, NOR A CROSS-COUPLED OUTPUT STAGE)	1	2	3 _B	4 _B
 FEMALE BALANCED XLR (EITHER A TRANSFORMER OR A CROSS-COUPLED OUTPUT STAGE)	1	2	5	6	
 1/4" BALANCED TRS (NOT A TRANSFORMER, NOR A CROSS-COUPLED OUTPUT STAGE)	7	8	9 _B	10 _B	
 1/4" BALANCED TRS (EITHER A TRANSFORMER OR A CROSS-COUPLED OUTPUT STAGE)	7	8	11	12	
 1/4" FLOATING UNBALANCED TRS (SLEEVE IN UNIT-NC)	21 _A	22 _A	11	12	
 1/4" UNBALANCED TS	13	14	15 _A	16 _A	
 UNBALANCED RCA	17	18	19 _A	20 _A	

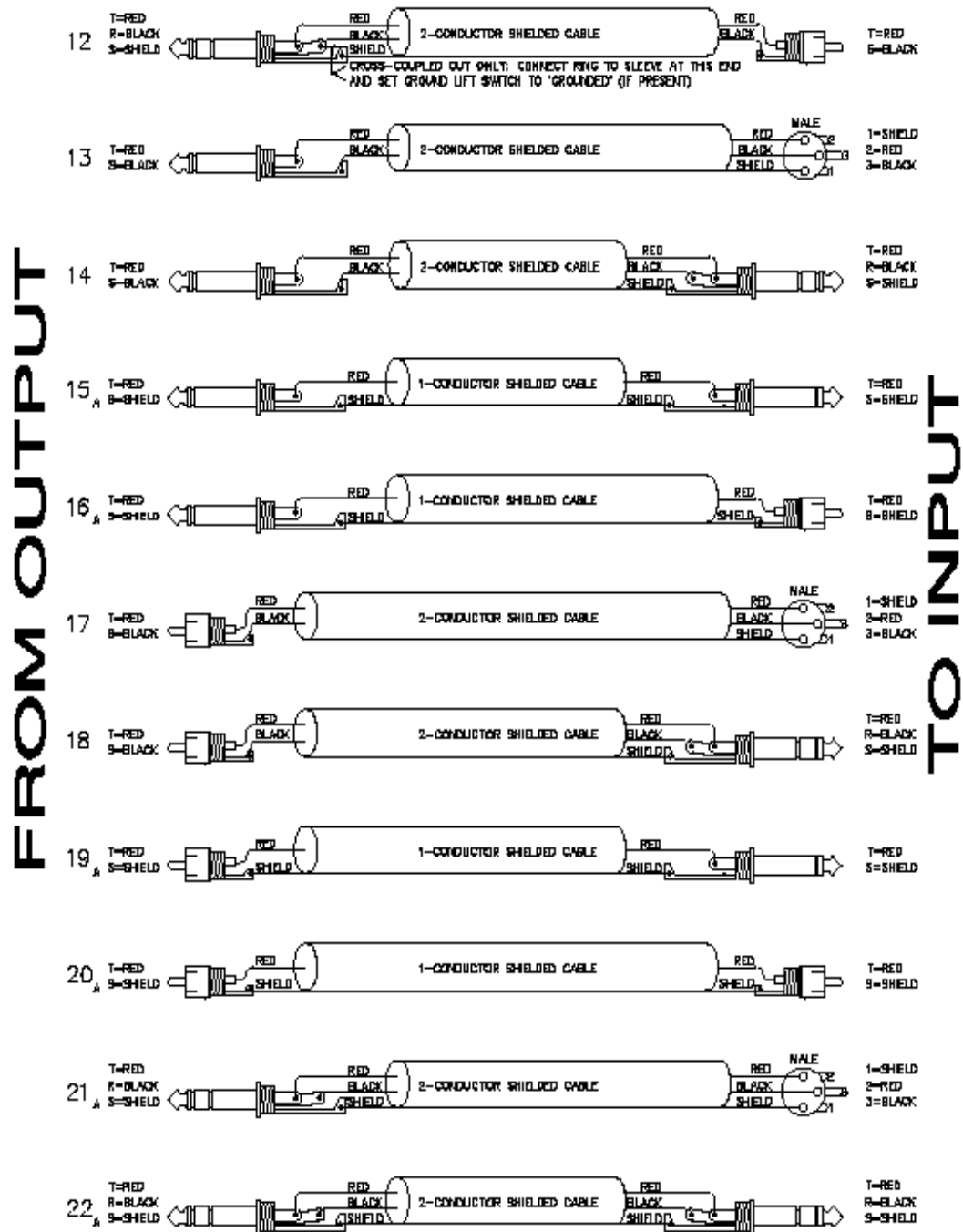
Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Figura 29. Conexiones de conductores blindados I



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Figura 30. Conexiones de conductores blindados II



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>, 2000

Los conectores múltiples, blindajes y cables trenzados deben tener un blindaje aislado, además un cable de drenaje para cada par de cables trenzados en el arreglo; el alambre blindado puede usarse para contener señales de interferencia electromagnética; por ejemplo, en el caso de un relevador por interruptor o control digital, el blindaje ayudará conteniendo las señales y previniendo que se escuchen conversaciones no pertenecientes a la línea análoga.

Cuando la especificación de un cable advierte que dicho cable está al 100 por ciento blindado, esto es una indicación de la cobertura física del blindaje y no de la efectividad del blindaje; en otras palabras, un blindaje con 98 por ciento de cobertura tiene 2 por ciento abierto en la cobertura del blindaje, esto es frecuente con los blindajes trenzados pero no con los blindajes de laminillas o folio.

5.4 El problema del PIN-1

El problema del PIN-1 se refiere al medio por el cual los equipos de audio recogen EMI, relacionado con el pin número 1 en las conexiones de dicho equipo, este se llama pin de tierra en un conector XLR; en general el problema del PIN-1 se refiere a las conexiones en blindajes para equipos de audio ya que el contacto del PIN-1 en el conector ha sido aterrizado internamente.

El problema del PIN-1 manifiesta de por sí, un ruido inducido en los circuitos de audio y equipos para video que luego aparecerán en las salidas de dichos equipos, en resumen, el problema ocurre cuando las tierras de los circuitos son compartidas con las entradas y las salidas de conectores blindados aterrizados; cuando esto ocurre, el acoplamiento común de impedancia causa que el ruido eléctrico ingrese en el blindaje y desde allí sea transferido a los circuitos electrónicos; una manera de visualizar esto es que las tierras utilizadas para blindajes deben pensarse como tuberías de aguas negras mientras que las tierras utilizadas en audio son tuberías de agua limpia.

Un aspecto interesante en el problema del PIN-1 es que una pieza de equipo que se mide sin imperfecciones en el banco de pruebas, podría tener ruido cuando se instala en el lugar requerido; esto se debe en realidad a que una vez todos los blindajes son conectados desde las líneas de los micrófonos y las consolas de audio, el problema del PIN-1 se manifiesta; como consecuencia las especificaciones de ruido en la mayoría de equipos son insignificantes, el problema del PIN-1 es muy común en los equipos que abarcan desde consolas mezcladoras hasta ecualizadores de tres octavas.

Una forma de minimizar el problema del PIN-1, es no conectando todos los blindajes a el PIN-1 en los equipos, sino aterrizar los blindajes en una lámina intermedia cercana a los equipos para audio, este enfoque se aplica a los pares de cables trenzados y requiere un buen enfoque de diseño.

5.5 Probando el PIN-1

La prueba del zumbador fue presentada y descrita por John Windt, en una conferencia en San Francisco en 1994, la prueba del zumbador determina si una pieza en un equipo para audio es sensible al ruido que es inyectado en el PIN-1 o en los puntos de terminación del blindaje de las entradas y salidas para audio, la forma como se realiza la prueba consiste en tomar una señal eléctrica, en este caso de 60 Hz, e inyectarla en el sistema de aterrizado a través de diversas combinaciones de entradas y salidas en los PIN-1 y también el chasis; mientras esto se hace la salida del equipo en prueba es controlada con medidores de ruido, cualquier cambio en el nivel de ruido en la salida de dicho equipo será resultado solamente del ruido que está siendo inyectado.

Obviamente, hay varias terminaciones de blindaje en varias piezas de equipos, una consola, por ejemplo; por eso hay muchos patrones potenciales que deben ser probados, por ejemplo el PIN-1 de entrada a la consola y todos los PIN-1 de las diversas salidas de la consola, el chasis de la consola, también el PIN-1 de una salida de la

consola contra las otras salidas, cada una de éstas es un patrón potencial para el ruido y dependiendo de la implementación del aterrizado en la consola, este tendrá efectos variantes sobre la salida total de ruido en la consola; el controlar la salida de ruido es obviamente un elemento crítico durante la prueba, la forma más simple de equipo para pruebas, sería un voltímetro o un sistema de bocinas de alta ganancia, el cual nos permita oír el ruido proveniente del piso en el equipo.

5.5.1 Circuitos balanceados, no balanceados y flotantes

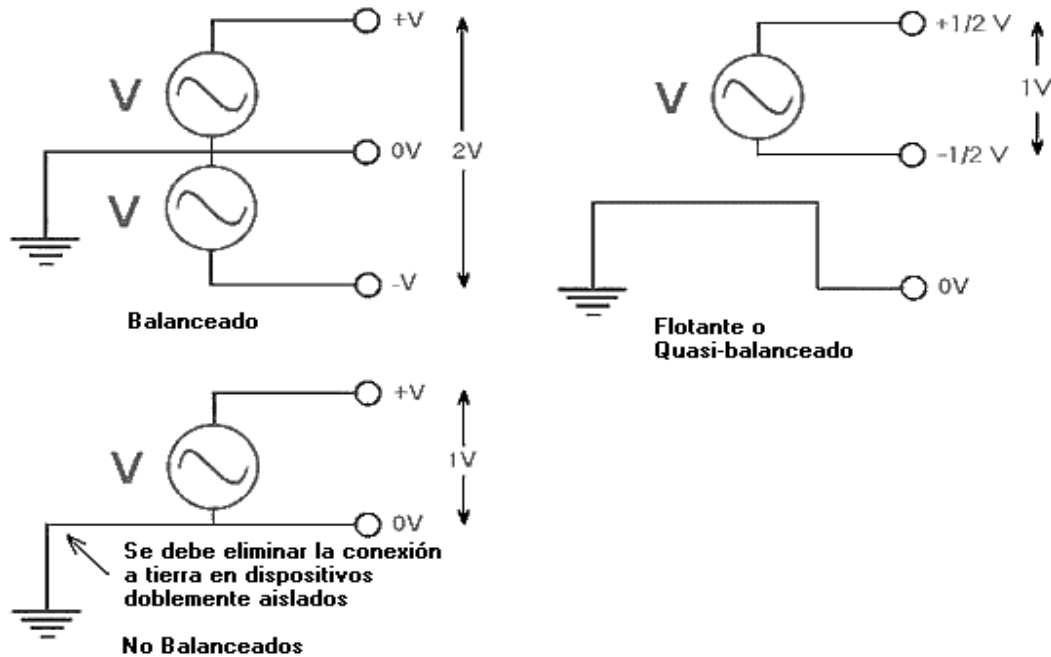
Una señal eléctrica necesita un circuito completo para que la corriente fluya, de esto se requieren por lo menos dos cables o conexiones entre la fuente de señal y su destinación; durante el trayecto se le induce ruido a la señal y por ello hay que ponerle una pantalla a la señal, para ello hay dos tipos de conexión: la primera que utiliza uno de los dos cables de señal como pantalla y se llama conexión no balanceada, y la otra que utiliza una pantalla separada la cual puede ser balanceada o flotante.

En un circuito balanceado, los dos cables de señal se alternan, uno arriba de la tierra y otro debajo de la misma, y siempre tienen potenciales iguales y opuesto respecto a la tierra.

Una salida flotante o cuasibalanceada no está referida a tierra, sean circuitos flotantes o balanceados; ambos circuitos requieren que la pantalla del cable o el blindaje estén conectados en los dos extremos, en la mayoría de circunstancias las pantalla de los cables se deben conectar en el extremo de salida en la fuente y no en la entrada.

Puesto que una salida puede ser balanceada, no balanceada y flotante, una entrada solo puede ser balanceada o no balanceada; en la figura 31 se muestran dichos circuitos.

Figura 31. Circuitos balanceados, no balanceados y flotantes



5.5.2 Consolas mezcladoras para audio

Si se asume que la consola mezcladora no está doblemente aislada, se debe estar seguro de tener una sólida y confiable conexión de aterrizado desde el interior de la consola, la cual irá a través de la fuente de poder, entradas y salidas de poder, también se deben verificar conexiones flojas.

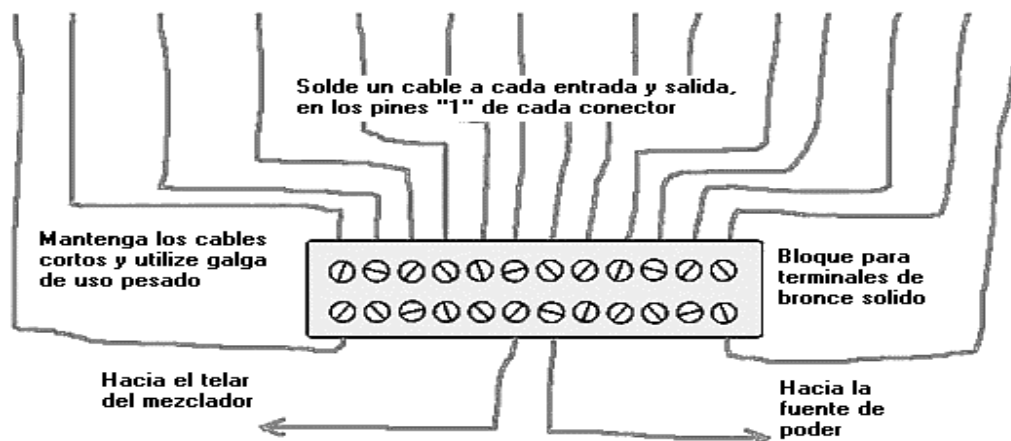
Todas las consolas mezcladoras, inclusive las más caras, tienen alambrado no balanceado en su interior, esto las hace muy susceptibles al ruido inducido por las corrientes de tierra que corren a través del mezclador; si el mezclador tiene doble tierra o sea que tiene un telar de múltiples vías para aterrizado como el mostrado en la figura 32, aunque dicha consola sea doblemente aislada, se pueden tratar de instalar un hilo a tierra como el mostrado en la parte inferior izquierda de la figura 32. Esto no

eliminará todos los problemas relacionados con el ruido, pero si los disminuirá considerablemente.

Qué pasaría si la nueva derivación a tierra está en paralelo con el bus de tierra existente en la consola mezcladora, se reduciría grandemente la resistencia a través de la cual las corrientes del ruido fluyen, debido a que el voltaje de ruido está dado por la ley de Ohm, que dice $V = RI$, se necesitaría que R fuera demasiado pequeña para hacer que V se aproxime a cero, puesto que no se puede tener superconductores en una consola, no se puede eliminar la resistencia en la derivación y por consecuencia el ruido permanece.

Desafortunadamente, dependiendo del panel de circuitos del mezclador y de su distribución interna de alambrado, es posible que el hilo de tierra que se propone degrade el ruido de piso ya existente, por ello se debe evitar poner una consola mezcladora con carcasa de metal directamente sobre una estantería de metal, la cual puede estar conectada en algún lugar a tierra, siempre se debe mantener al mezclador aislado, con excepción de su propia tierra en la fuente de poder y si el mezclador no es doblemente aislado.

Figura 32. Telar de aterrizado para una consola mezcladora



5.5.3 Micrófonos

El cuerpo de un micrófono está usualmente conectado a tierra desde el mezclador vía el alambrado, esto introducirá ruido si este toca otros metales u objetos aterrizados, por lo tanto se deben utilizar sujetadores plásticos o aislados en el micrófono; después de inspeccionar el ruido de piso en el mezclador y verificar que está bien, se debe revisar el ruido de piso en el micrófono, si hay algún zumbido sobre el canal del micrófono y la ganancia se ve afectada, también se debe asegurar de que el cable tenga un blindaje trenzado con 95 por ciento de cobertura o más y revise las conexiones del blindaje o pantalla en ambos extremos del cable.

Si los cables todavía zumban sin tener un micrófono conectado, se deben desechar y comprar un cable estrella en cuadratura cuya construcción le dará 20 dB extras de inmunidad contra el ruido en el cable, si el cable por sí mismo no zumba, pero cuando se le conecta el micrófono sí, entonces se puede tener un micrófono flojo o se está en un área con interferencia electromagnética alta.

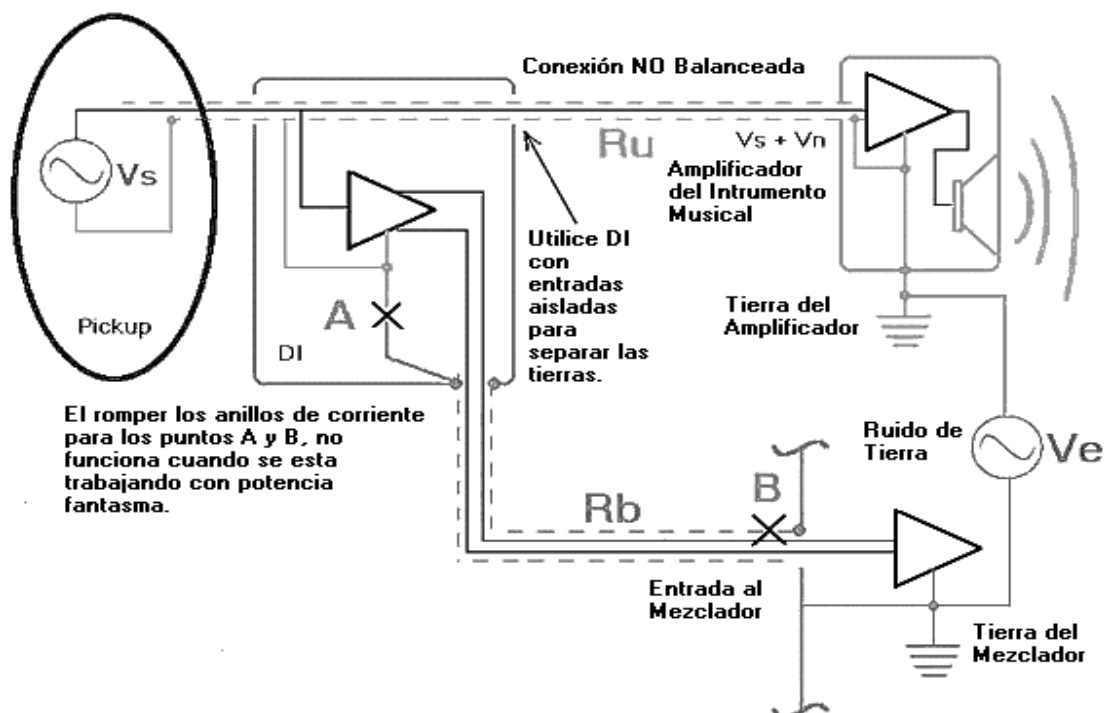
5.6 Inyecciones directas o DI

Puede ser difícil lograr conexiones libres de ruido en un amplificador para instrumentos musicales, ya que los instrumentos como guitarras y teclados son no balanceados, lo cual producirá una tierra ruidosa; además, los blindajes necesitan ser continuos desde el amplificador hasta el instrumento y no pueden ser interrumpidos ya que producirían la inducción de ruido en el amplificador debido a las DI; es mejor mantener la tierra de las consolas mezcladoras separada de la tierra de instrumentos. Nunca se debe instalar una terminación en los amplificadores que puede romper el lazo que une al amplificador con la tierra, porque pone en riesgo al personal que manipule los equipos, puesto que si una persona toca dicho equipo, dicha persona cerrará el lazo a tierra y con ello morirá.

Si se tiene un transformador pasivo tipo DI, se debe utilizar el interruptor de levantado de tierra o un adaptador de aislamiento para tierra, para separar la tierra de instrumentos de la de los mezcladores; desafortunadamente los transformadores DI alteran el sonido de un instrumento conectado a través de ellos, debido a su baja impedancia de enlace.

Si se utiliza un DI activo con baterías, se debe utilizar el levantado de tierra como se expresó, y si el DI tiene potencia fantasma, la única opción es alimentarlos directamente desde el amplificador o desde la fuente de poder del mezclador, tan pronto como ningún otro equipo presente fallas a tierra, no habrá ruido adicional en la tierra del amplificador u otras relativas a la tierra del mezclador.

Figura 33. Evitando los DI



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>,2000

Una vez que conectado el DI y realizadas las pruebas necesarias, se debe revisar si el canal DI está limpio antes de conectar cualquier instrumento, si no es así, podría tener enchufes que están aislados del chasis, lo cual hará que la tierra del blindaje del mezclador que es el canal para los DI, opere aún cuando el interruptor de levantado de tierra a sido activado.

Cuando se conecte un instrumento, se deben desechar cables defectuosos, ya que las guitarras y otros instrumentos son susceptibles al ruido inducido, especialmente aquellos que están instalados en controladores de tono los cuales no son blindados; si se tiene iluminación variable, ésta debe ser por medio de un **Variac** y no por medio de tiristores, ya que los tiristores inducen ruido de conmutación; la figura 33 muestra la forma de evitar anillos de tierra que podrían favorecer a los DI, el ruido de tierra V_e , será dividido entre las resistencias R_u y R_b , lo que hará que un voltaje de ruido $V_n = V_e * R_u / (R_u + R_b)$, sea añadido a la señal de voltaje V_s y luego amplificada, causando el zumbido; además se deben romper los anillos de tierra en los puntos A y B.

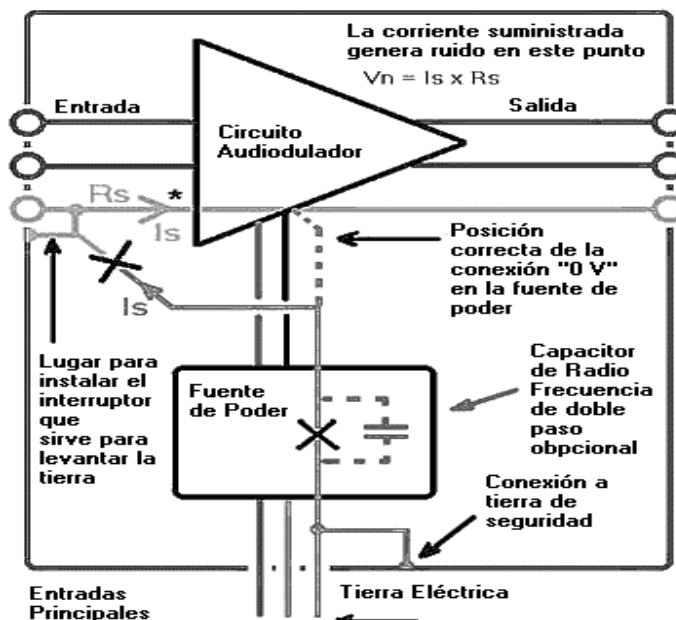
5.7 Equipos de alimentación principal

El problema con los equipos de alimentación principal es que a pesar de ser doblemente aislados, tienen la referencia de señal ligada a la tierra de potencia, la cual va a estar a un potencial diferente con respecto a la tierra de potencia en una consola mezcladora; la razón para esta diferencia es que cada dispositivo se alimenta a través de diferentes circuitos de potencia, como sea, el problema proviene de los fabricantes ya que algunos no entienden la ley de Ohm y permiten que los dispositivos tengan un retorno de corriente en el cable utilizado como cable para referencia de señal en el aterrizado; debido al flujo de corriente un voltaje de ruido será impuesto sobre la referencia de señal del dispositivo, lo cual se verá como una corriente temblorosa en la fuente y se oirá como un murmullo causado por la misma corriente.

Si el dispositivo está conectado por medio de una conexión balanceada al mezclador, el ruido no será amplificado por la entrada del mezclador, pero si dos tierras están juntamente conectadas la corriente de ruido pasará al mezclador, por el otro lado, si el dispositivo está conectado con un circuito no balanceado, el mezclador no se dará cuenta que el ruido debe rechazar y lo amplificará causando problemas posteriores.

La mejor solución es romper la conexión entre las tierras principales y de señales en el dispositivo externo, se debe revisar si el dispositivo tiene un interruptor de levantado de tierra y utilizarlo, la figura 34 muestra una pieza de equipo para audio la cual tiene una falla a tierra, y puede ser corregida al interrumpir la tierra en los puntos marcados con una X y reconectar el cero de la fuente de poder; si esto se hace, el ruido V_n , no afectará el dispositivo.

Figura 34. Equipo de alimentación principal

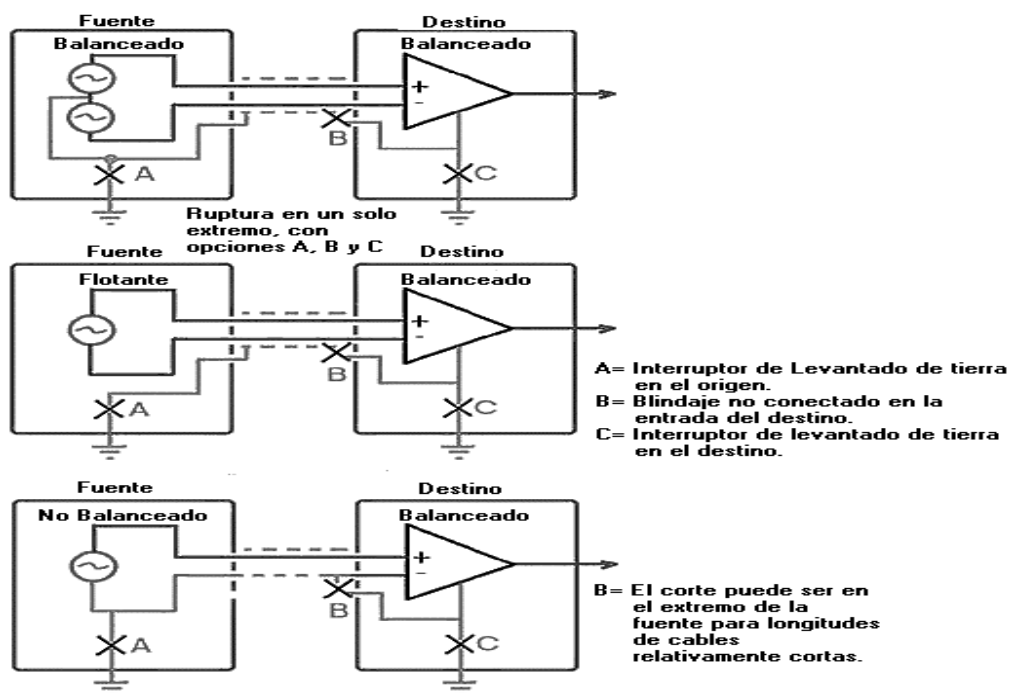


Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>,2000

En la figura 35 se muestran configuraciones para alambrear entradas y salidas, balanceadas y no balanceadas sin crear anillos de tierra.

Nunca se debe cortar el cable de tierra: es ilegal y peligroso. Si no hay un interruptor para levantado de tierra y los circuitos son balanceados o flotantes, se puede insertar un adaptador XLR en el PIN-1 de los conectores removidos, a manera de interrumpir la conexión entre dispositivos, alternativamente; si el dispositivo es desbalanceado, se puede levantar la conexión para aterrizado de señal y depender completamente de la tierra, pero no es lo adecuado, la mejor opción sería instalar un transformador balanceado de aislamiento entre los dispositivos.

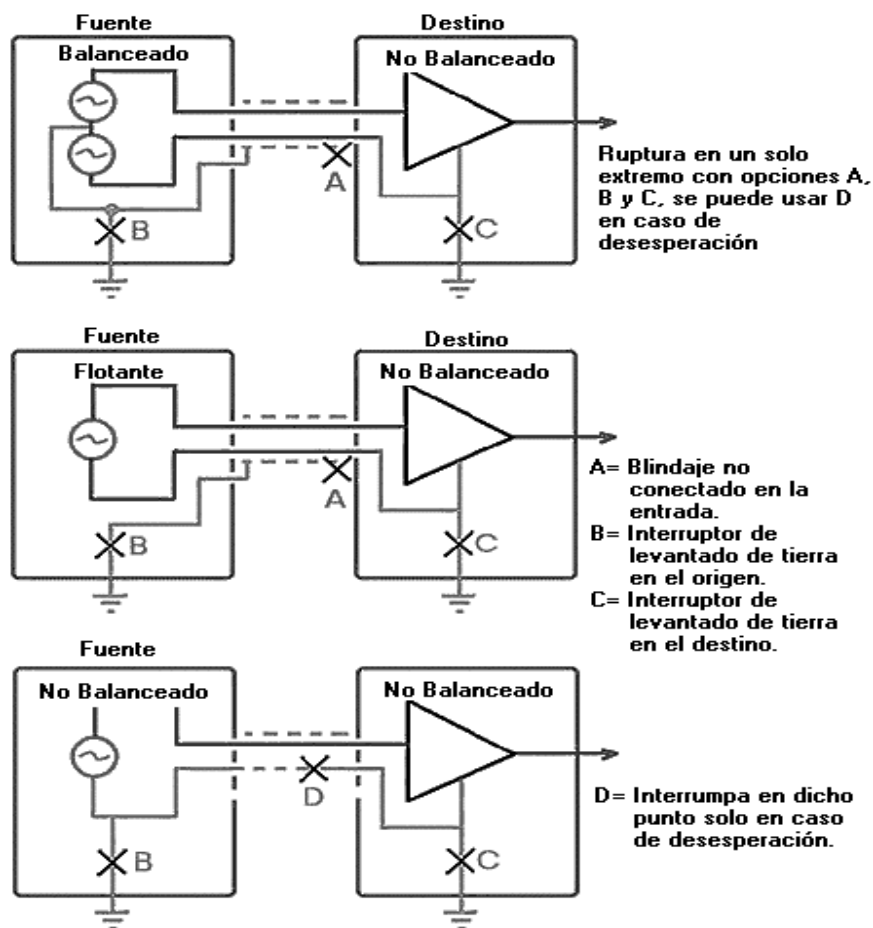
Figura 35. Rompiendo anillos de tierra con entradas balanceadas



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>,2000

Los métodos mostrados en la figura 35 se aplican igualmente para conexiones de equipos de alimentación principal, pero no para entradas y salidas en consolas mezcladoras, “crossover” y amplificadores. La figura 36 muestra los métodos para conectar dichos equipo evitando los anillos de tierra con entradas no balanceadas.

Figura 36. Rompiendo anillos de tierra con entradas no balanceadas



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>,2000

5.8 Cajas directas

Las cajas directas son utilizadas para cambiar la salida de señal en una fuente y cambiar el nivel y la impedancia para acoplar el nivel de señal de un micrófono a la entrada de un mezclador, la aplicación más común de un caja directa es cuando se conecta un teclado electrónico a un sistema de sonido, la caja directa o caja DI permite conectar en una línea de micrófono ya existente y luego envía la señal a una distancia de 700 a 800 pies, por medio de convertir el nivel en la línea para señal a un nivel de señal balanceado en el micrófono, se evitan los problemas de interferencia de radio frecuencia o RF; además, no se reciben conversaciones de un cable para micrófono a otros en la consola mezcladora.

5.8.1 Caja directa pasiva

La más común es la caja DI pasiva, esta unidad es usada frecuentemente para conectar guitarras, teclados y otros instrumentos que tiene un nivel de línea por fuera del instrumento; regularmente el voltaje del nivel en línea es de 0.5 a 3 voltios. En una unidad pasiva, la señal es tan buena como el transformador que se construye dentro de ella; un rasgo importante de las cajas DI de calidad es el levantado de tierra, porque no hay un estándar universal para los equipos de audio e instrumentos; pueden ocurrir problemas de aterrizado, varias cajas DI están habilitadas para aislar los problemas de aterrizado entre varios accesorios de equipos; generalmente, cuando la señal viaja a través de la caja DI se pierden cerca de 3 a 6 dB en la señal.

5.8.2 Caja directa activa

La segunda caja DI más usada es la caja DI activa; estas unidades trabajan con baterías o con potencia fantasma desde el mezclador. Una caja DI activa puede manejar altos niveles de señal y también poner afuera un alto nivel de señal, además, la

respuesta en frecuencia es mejor, cuando se está trabajando en un cuarto que tiene poca reverberación y buena calidad de desempeño, es mejor utilizar una caja DI activa; también, si se está planeando utilizar señal digital para grabación, se debe utilizar una caja DI activa ya que generalmente dichas cajas tienen 0 dB en pérdida de señal.

5.8.3 Caja directa activa con preamplificador

Un nuevo tipo de caja DI tiene construido un preamplificador que trabaja con la potencia fantasma de la consola mezcladora y son capaces de empujar el nivel de la señal alrededor de 10 dB.

5.8.4 Caja directa para bocinas

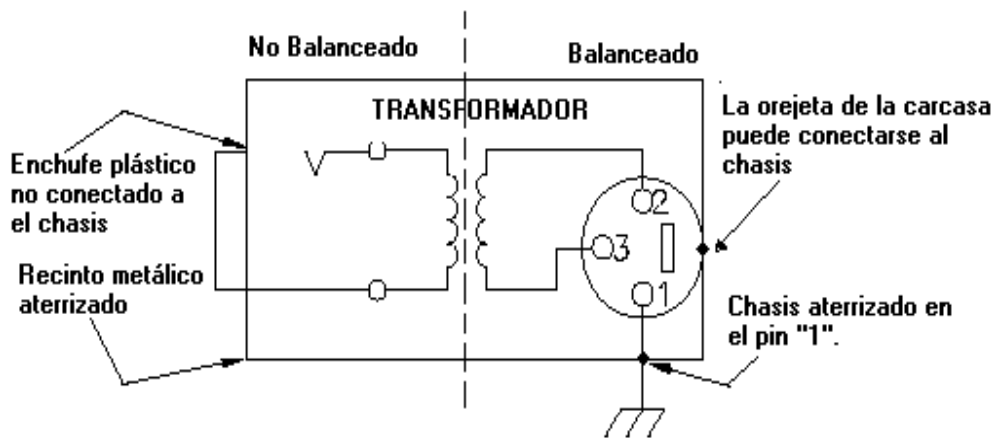
Esta caja es la menos común y se utiliza cuando hay una sola salida de señal disponible en un amplificador; una caja de este tipo de calidad, presentará al amplificador una carga apropiada y convertirá la señal a niveles de micrófono entre 150 a 600 ohmios, nunca se debe tomar una señal de un amplificador e introducirla directamente en una consola mezcladora, ya que se podrían quemar los canales o la fuente de poder de la mezcladora. La mayoría de cajas directas tienen interruptores de levantado de tierra e incluso hay algunas que tienen un sistema automático de aterrizado.

5.8.5 Transformadores para acoplamiento de línea

Otro método común de conectar electrónicos de nivel bajo a un sistema de sonido, es utilizar un transformador para acoplamiento de línea; dicho transformador, usualmente, está montado en un conector tipo barril con un maguito de $\frac{1}{4}$ de pulgada en un extremo y un conector XLR de tres pines en el otro, la unidad completa tiene unas 4 pulgadas de longitud.

Radio Shack tiene dos tipos: uno convierte líneas de salida de bajo nivel a niveles de micrófono y el otro, convierte líneas de salida de alto nivel a niveles de micrófono. El factor limitante es el voltaje, la unidad que tiene un conector hembra XLR con conector macho de ¼ de pulgada no puede manejar un carga mayor a 1 voltio; cualquier señal debajo de 1 voltio tendrá una respuesta de frecuencia desde 10 hasta 20000 Hz con una desviación de ± 1.5 dB; la mejor función del transformador es el atrapar señales de radio frecuencia provenientes de las consolas mezcladoras que no tienen entradas electrónicamente balanceadas, en pruebas de banco, cuando la señal es mayor a 2 voltios, ésta introduce distorsión, con 3 voltios hay un 10 por ciento de distorsión, con 5 voltios 20 por ciento y así, sucesivamente.

Figura 37. Forma correcta de aterrizar el PIN-1 por medio de transformador

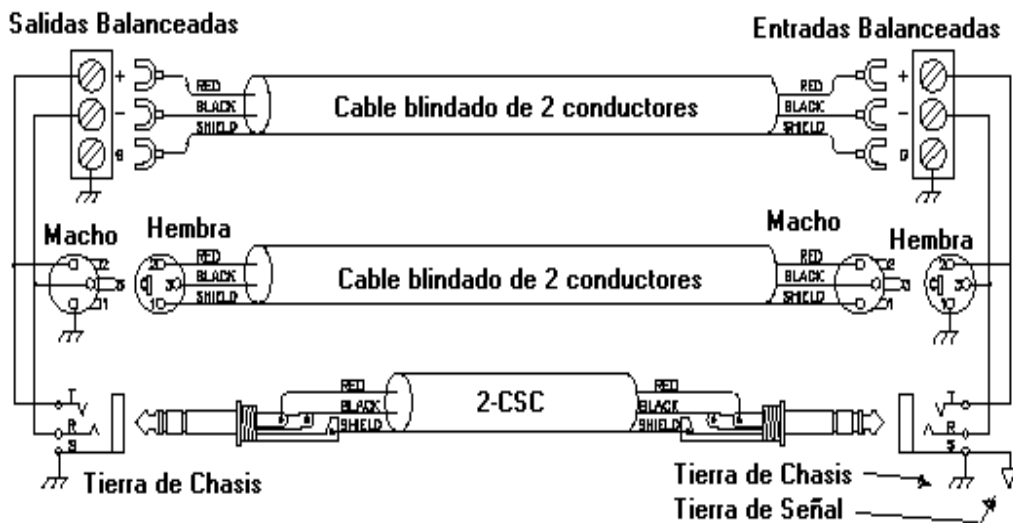


Puesto que los cables XLR estándar viene con sus blindajes ligados al PIN-1 en cada extremo, o sea equipos que usan 3 pines; en dichos equipos los conectores XLR deben tener el PIN-1 ligado al chasis o tierra de chasis, y no la tierra para señal de audio como es común. La figura 37 muestra la manera correcta de hacerlo, al lado izquierdo de la figura esta el lado no balanceado y al derecho, el lado ahora balanceado con el PIN-1 aterrizado en la tierra del chasis.

5.8.6 Forma correcta de ensamblar un cable para señal

Se deben usar líneas balanceadas y además ligar el blindaje del cable al chasis en ambos extremos del cable; una línea balanceada requiere de tres conductores, dos de los cuales son para la señal positiva y negativa respectivamente, el último para el blindaje. El blindaje sirve de guarda contra la interferencia, solamente utilizando líneas balanceadas se puede garantizar que no habrá zumbido, también utilice par trenzado; aterrizar el blindaje en ambos extremos garantiza inmunidad contra la interferencia de radio frecuencia o RFI, la figura 38 muestra la configuración.

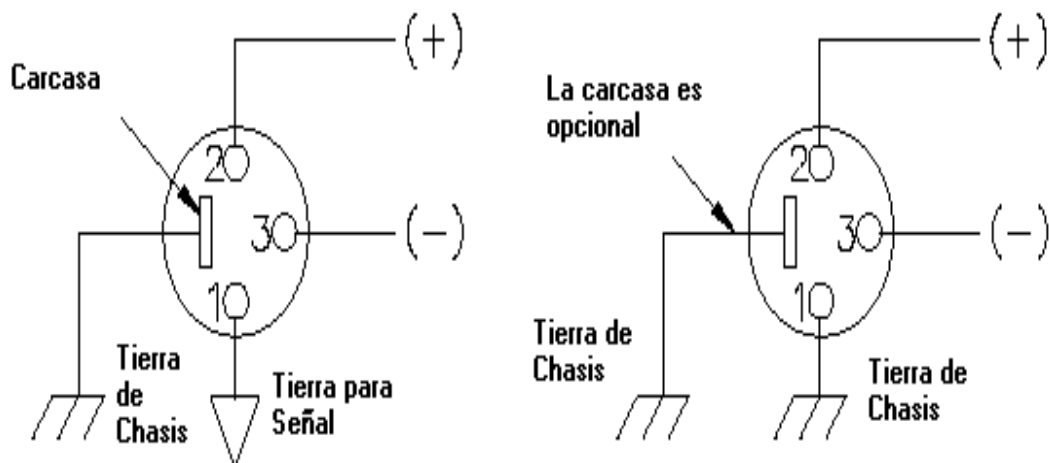
Figura 38. Ensamblaje correcto de cables para señal



Cada componente de un sistema de sonido produce su propio aterrizado internamente, éste es usualmente llamado la tierra para audio señal; cuando se conectan dispositivos juntos a través de los cables, se puede ligar las tierras de señal de dos unidades del equipo en un lugar.

Los anillos de tierra ocurren cuando dos tierras de dos unidades están ligadas juntas en otro lugar, vía el tercer cables en la línea, o sea cuando se liga el chasis de metal con los rieles en las estanterías, lo cual produce un circuito a través del cual la corriente puede fluir en un anillo cerrado de una unidad a otra; no es simplemente la presencia de la corriente la que crea el zumbido, es cuando la corriente fluye a través de la tierra de audio señal. Para evitar esto y minimizar dicha corriente, la figura 39 muestra una forma adecuada de hacerlo, poniendo la tierra de señal y la de chasis al mismo punto en la tierra de chasis, al lado izquierdo el método común pero erróneo y al lado derecho el método correcto y recomendado.

Figura 39. Forma adecuada para instalar las tierras de señal y chasis



6. MEDICIONES Y ESTRUCTURA DEL ATERRIZADO

6.1 Método de los cuatro polos para medir la resistividad del suelo

Este procedimiento de medición utiliza el método Wenner diseñado por el Dr. Frank Wenner, de la oficina de estándares de los Estados Unidos en 1915; la fórmula es la siguiente:

$$P = 2\pi AR$$

P = Resistividad promedio del suelo en el fondo en Ω/cm .

$$\Pi = 3.141516$$

A = Distancia entre los electrodos en cm.

R = Valor de resistencia medido desde el instrumento de prueba en Ω .

El cálculo de esta medición puede simplificarse convirtiendo la distancia de centímetros en pies dando la siguiente ecuación:

$$P = 191.5 AR$$

P = Resistividad promedio del suelo en el fondo en Ω/cm .

A = Distancia entre electrodos en pies.

R = Valor de resistencia medido en el instrumento de prueba en Ω .

Por ejemplo, se decide instalar varillas de tierra de 10 pies de largo como parte del sistema de aterrizado, para medir la resistividad del suelo a la profundidad de 10 pies, requerirá que el espaciado entre los electrodos de prueba sea de 10 pies, la profundidad a la que los electrodos de prueban serán colocados es de $A/20$ o la veinteava parte de la distancia entre los electrodos reales, luego se puede medir la

resistencia con el instrumento y si la lectura da 100 Ω , entonces la resistividad del suelo para un metro cúbico será:

$$P = 191.5 * 10 \text{ pies} * 100 \Omega$$

$$P = 191500 \Omega * \text{cm}$$

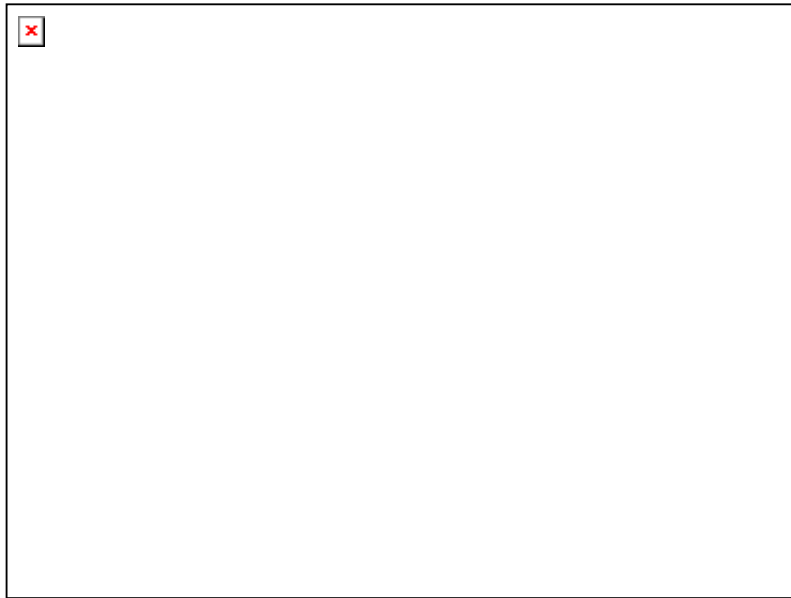
$$P = 191500 / 100$$

$$P = 1915 \Omega * \text{m}^3$$

Las estacas de tierra son posicionadas en una línea recta equidistante, formadas una tras otra y con una distancia entre cada una que refleje la profundidad que se va a medir; las estacas de tierra deberán ser enroscadas en tierra a una profundidad no mayor de 1/3 de la distancia entre las otras estacas, una corriente conocida y ajustada es generada por el instrumento de medición entre las dos estacas de salida a tierra, luego una caída de potencial o la cual es causada por la resistencia, es entonces medida automáticamente entre las dos estacas de entrada en tierra; al final, el instrumento desplegará en pantalla el resultado, dicho instrumento se llama **GEO**, que significa **ohmetro electrónico para aterrizado**.

Debido a que los resultados de medición son frecuentemente distorsionados e invalidados por piezas de metal que se encuentran por debajo del suelo, por ejemplo, acueductos subterráneos, se recomiendan mediciones extras, en las cuales el eje de las estacas rota 90 grados, cuando cambia la profundidad y la distancia varias veces, se produce un perfil que puede determinar una conveniente resistencia del sistema de aterrizado. Las mediciones de resistividad del suelo son regularmente corrompidas por la existencia de corrientes de tierra y sus armónicos, para prevenir esto el GEO utiliza un **control automático de frecuencia o AFC**, que automáticamente selecciona la frecuencia de prueba con la menor cantidad de ruido, permitiéndolo tomar una lectura clara, la figura 40 muestra la manera del conectar el GEO para medir la resistividad del suelo.

Figura 40. Conexión del GEO para medir la resistividad del suelo



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

6.2 Método de tres polos para caída de potencial

El método de tres polos para caída de potencial es utilizado para medir la capacidad de disipación de un electrodo de tierra, una rejilla de tierra y cimientos de tierra, la diferencia de potencial entre las varillas bajo prueba conectadas en las terminales E y S es medida con un voltímetro, el flujo de corriente entre las varillas bajo prueba conectadas en las terminales E y H es medido por un amperímetro; dichas funciones son realizadas internamente por el GEO, utilizando la ley de Ohm que dice, $V = RI$, podemos calcular la resistencia, otros productores de probadores utilizan las letras, **X**, **Y**, **Z**, o **C1**, **C2**, **P2** como descripción de las conexiones; las terminales marcadas con **X** o **C1** son terminales **E** en el GEO, las terminales marcadas con **Y** o **P2** son terminales **S** en el GEO, y las marcadas **Z** o **C2** son terminales **H** en el GEO.

Por ejemplo, si el voltaje entre E y S es 30 voltios, la corriente entre E y H es 2 amperios, se puede calcular como sigue:

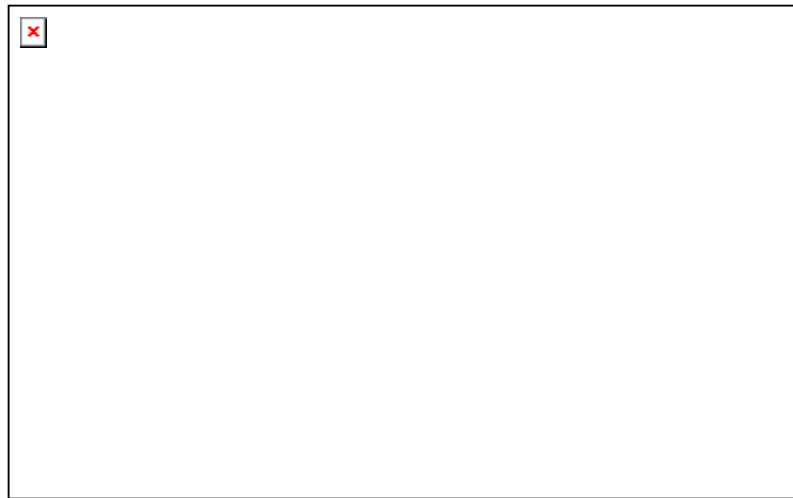
$$R = V / I$$

$$R = 30 / 2$$

$$R = 15 \Omega$$

La figura 41 muestra la forma de conectar el GEO para medir el valor de resistencia de un electrodo, si el electrodo está en serie o en paralelo con otras varillas de tierra, el valor de la resistencia será el valor total de todas las resistencias.

Figura 41. Forma de conectar el GEO para medir la resistencia de un electrodo



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

6.2.1 Ajuste de las estacas

Para lograr el grado más alto de exactitud cuando se realiza el método de los tres polos, es esencial que un electrodo auxiliar de tierra sea puesto fuera de la esfera de influencia del electrodo de tierra bajo prueba y la sonda de corriente.

Figura 42. Esfera de influencia del electrodo



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Si no consigue colocarlo fuera de la esfera de influencia las áreas efectivas de resistencia se traslaparán, lo cual invalidará cualquier medición que se realice, la tabla IV puede utilizarse como un esquema cuando se esté ajustando la estaca auxiliar o **S** y la sonda de corriente o **H**.

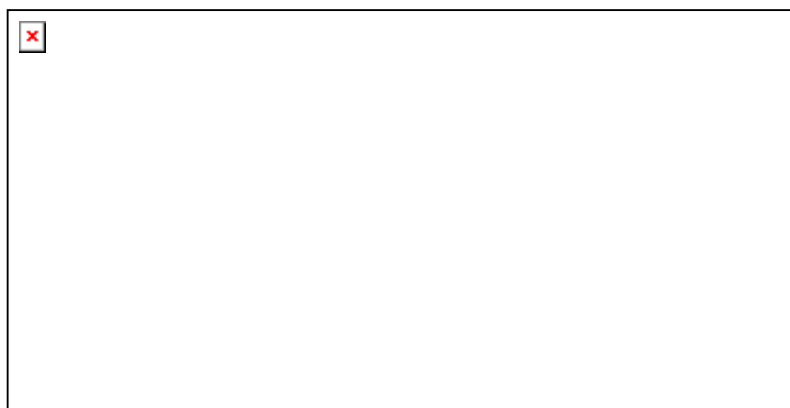
Para probar el grado de exactitud de los resultados y asegurarse que la estaca de tierra esté fuera de la esfera de influencia, se debe volver a posicionar la estaca de tierra **S**, 3 pies en cualquier dirección y tomar nuevas mediciones; si el valor medido permanece bastante constante, la distancia entre las estacas de tierra es suficiente, pero si hay un cambio significativo de más o menos un 30 por ciento, se necesita incrementar la distancia entre la varilla de tierra bajo prueba con **S** y **H**, hasta que el valor medido permanezca bastante constante cuando haya posicionado de nuevo la estaca de tierra **S**

unos tres pies más, y así sucesivamente. La figura 43 muestra la manera correcta e incorrecta de posicionar las estacas de tierra.

Tabla IV. Distancia aproximada entre sondas auxiliares

Profundidad del electrodo bajo prueba o E(pies)	Distancia hacia la sonda S(pies)	Distancia hacia la sonda auxiliar H(pies)
6	45	72
8	50	80
10	55	88
12	60	96
18	71	115
20	74	120
30	86	140

Figura 43. Forma correcta e incorrecta de colocar las estacas para tierra



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

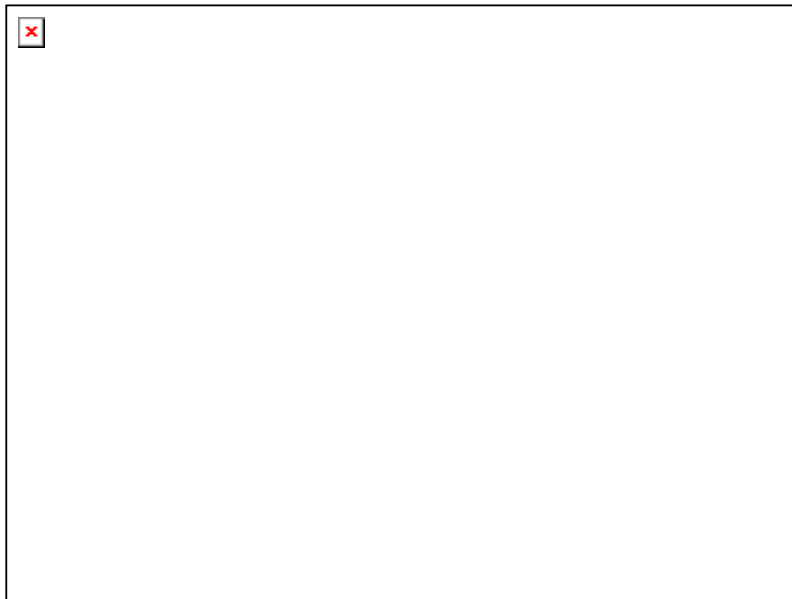
6.2.2 Método de tres polos para rejillas y anillos de tierra

Frecuentemente, la puesta de una varilla singular para aterrizado en la tierra no da lecturas lo suficientemente bajas o deseadas de resistencia, esto es cierto especialmente en subestaciones y oficinas en donde resistencias de 3 ohmios son

requeridas, en este caso la guía para colocar las estacas auxiliares de tierra, nos indica que no debemos estar afuera de la esfera de influencia del campo de tierra.

La regla es tomar la distancia máxima del campo de tierra, ya sea en línea recta o en diagonal y el espaciado para la primera estaca de referencia debe ser dos veces la distancia. La figura 44 muestra una guía para la colocación de las estacas de referencia en sistemas de aterrizado complejos y la tabla V, los distanciamientos.

Figura 44. Método de tres polos para rejillas y anillos de tierra



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Tabla V. Espaciamiento entre rejilla de tierra y sondas

Medida en diagonal de la rejilla o campo (pies)	Distancia hacia la sonda S (pies)	Distancia hacia la sonda H (pies)
50	100	160
75	150	240
100	200	320

150	300	500
200	400	650

6.3 Prueba de resistencia en tierra con abrazadera selectiva

Este método ha sido creado para medir resistencia en electrodos de tierra individuales en todo tipo de sistema para aterrizado, incluyendo rejillas de tierra y mallas alambradas, la cuales son comunes en subestaciones, torres para alta tensión y comercios con sistemas de aterrizado múltiple, al medir el flujo de corriente que atraviesa un electrodo de tierra utilizando un transformador de corriente con abrazadera, los efectos de resistencias en paralelo son eliminados del proceso de medición y por ello no distorsionan los resultados medidos.

Un método especial de rectificación se utiliza para aislar o filtrar digitalmente otras corrientes con el consecuente aumento de la exactitud, como en la prueba de los tres polos para caída de potencial. Las reglas para el ajuste de las estacas en tierra se aplica para sistemas simples y complejos, debe, entonces, conectar el probador de tierra como lo muestra la figura 45, la terminal **E** del GEO, debe estar arriba de la abrazadera o mordaza, pero abajo de cualquier conexión a tierra en paralelo, por ejemplo, interconexiones de tierra o la estructura de acero del edificio.

La abrazadera debe estar en el suelo, sin ninguna conexión más, debajo de ella, cuando se mide la resistencia con el GEO, el GEO le dará un patrón de resistencia a tierra individual, el cual es el valor actual de un electrodo de tierra individual en un sistema múltiple de aterrizado, el GEO es un aparato que permite probar el patrón de tierra en un sistema de aterrizado múltiple sin necesidad de desconectar cada dispositivo aterrizado.

Para probar la exactitud de los resultados y asegurarse que las estacas de tierra están fuera de las esferas de influencia, se deben posicionar nuevamente las estacas **S** en cualquier dirección a una distancia de 3 pies y tomar de nuevo las mediciones, si el valor medido permanece bastante constante la distancia entre las estacas de tierra es suficiente, si hay un cambio significativo en la lectura de alrededor de 30 por ciento se necesitará aumentar la distancia de las varillas de tierra que están bajo prueba, junto con **H** y **S** hasta que el valor de medición permanezca bastante constante cuando se haya posicionado de nuevo en 3 pies la estaca de tierra **S** y así, sucesivamente.

Figura 45. Conexión del GEO para evitar desconectar un dispositivo aterrizado



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

6.3.1 Medición selectiva de torre para alto voltaje

Probar las resistencias en electrodos de tierra individuales, en torres para alto voltaje con el aterrizado por encima o alambres estáticos, requiere que los cables

colocados por encima sean desconectados; si la torre tiene más de un aterrizado en sus bases, estos deben ser desconectados uno a uno y probados individualmente.

El GEO-X, tiene una abrazadera de 12 pulgadas de diámetro, que es parte integral de un transformador de corriente el cual puede medir la resistencia individual de cada cable en las bases sin desconectar dichos cables de sus bases, como lo muestra la figura 46.

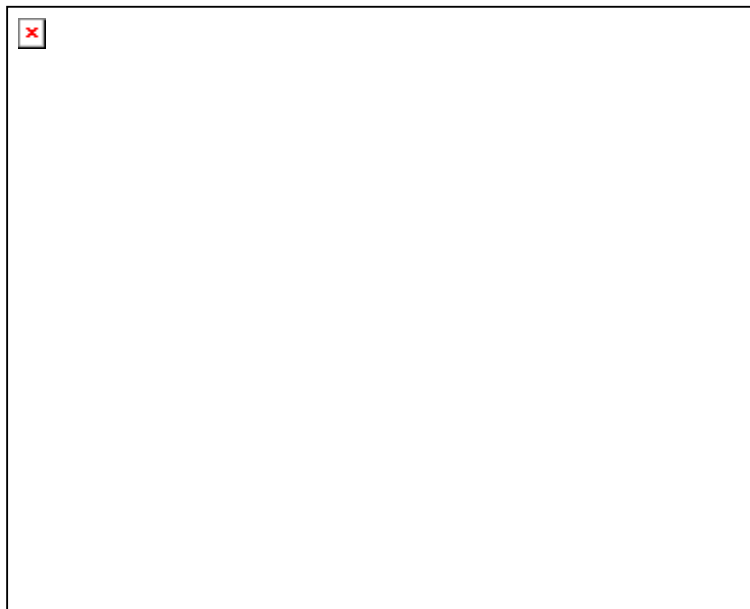
Figura 46. Medición de bases individuales con el GEO



Fuente: GOOGLE;<http://www.google.com>; Marzo,2000

En el caso diagramado en la figura 46, debe recordarse que la resistencia total de una torre es la suma en paralelo de todos los aterrizados; en dicha figura la torre tiene 4 aterrizados individuales y estos se deben medir uno a uno, generando con ello la resistencia individual y luego, se debe calcular el patrón general de la torre, como se muestra en la figura 47.

Figura 47. Medición del patrón general de la torre con el GEO-X



Fuente: GOOGLE;<http://www.google.com>; Marzo,2000

6.3.2 Medición de resistencia en sistemas paralelos multiaterrizados

El GEO-X mide la resistencia de tierra en sistemas multiaterrizados utilizando dos transformadores de corriente tipo mordaza, eliminando el peligro y consumo de tiempo requerido por la actividad de desconectar tierras paralelas; tanto como el proceso de encontrar localidades convenientes para las estacas auxiliares de tierra.

El GEO-X trabaja sobre el principio de que en un sistema paralelo multiaterrizado, la resistencia de tierra de todos los patrones de aterrizado será extremadamente baja comparada con cualquier patrón singular o individual; en este caso donde está bajo prueba, como lo muestra la figura 48.

Figura 48. Principio de operación del GEO-X



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Puesto que la resistencia en la red de todos los patrones paralelos de retorno, es decir, desde R_1 hasta R_n es efectivamente cero, es razonable asumir que cualquier resistencia medida será asociada con el patrón individual de aterrizado al cual la abrazadera está rodeando; en este caso R_x , tal como lo muestra la figura 49.

El primer transformador de corriente induce un voltaje en el circuito, mientras que el segundo transformador de corriente mide el flujo actual de corriente, habilitando al GEO-X calcular la resistencia del patrón de aterrizado después de la rectificación sincrónica de la corriente y el voltaje.

La tecnología de abrazadera solamente mide la resistencia en varillas de tierra individuales, las cuales están en paralelo con sistemas de aterrizado, si el sistema de aterrizado no es paralelo a tierra, entonces se tendrá un circuito abierto o se medirá al resistencia de un anillo de tierra.

Figura 49. Patrón de tierra individual medido con las abrazaderas

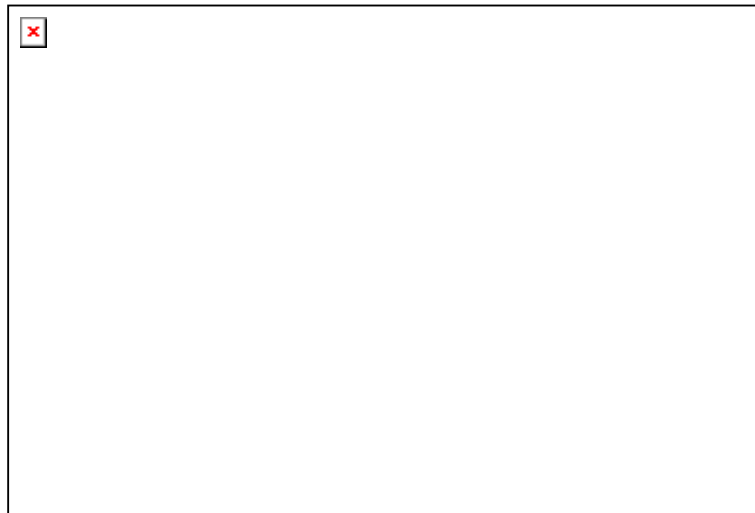


Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

6.3.3 Prueba de la resistencia a tierra con dos polos

En situaciones cuando la manipulación de las estacas de tierra no es práctica o imposible, el GEO tiene la habilidad de medir la continuidad y resistencia de tierra con solo dos polos. Para realizar esta prueba se requiere un punto conocido de aterrizado tal como una tubería de metal, la tubería de agua deberá ser metálica y sin ningún acoplamiento aislador, el GEO realiza la prueba con un voltaje alto en A/C pero con una corriente menor a los 250 mA, como lo muestra la figura 50.

Figura 50. El GEO realizando prueba de continuidad y resistencia



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

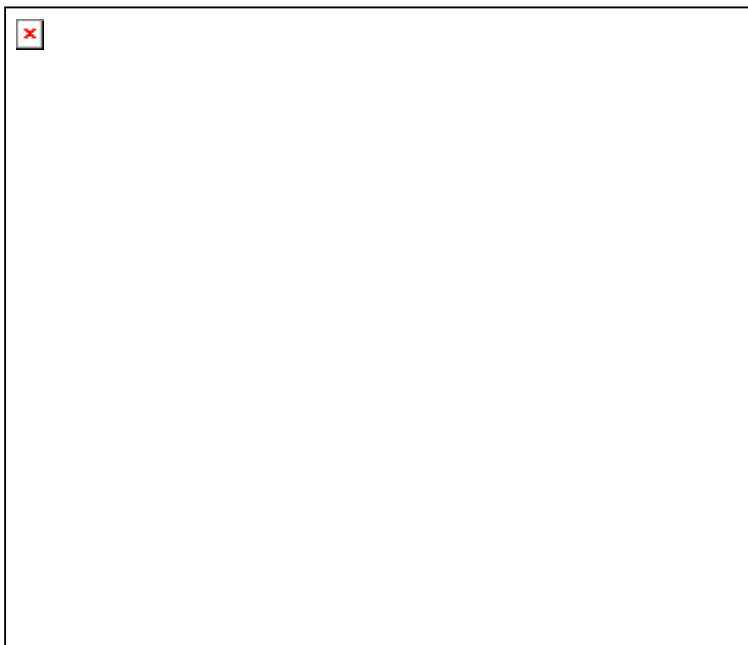
6.4 Medición de la resistencia a tierra en subestaciones

Cuando se quiere calcular las posibles corrientes de corto circuito en plantas de potencia además de otras situaciones de alto voltaje y corriente, la determinación de la impedancia compleja del aterrizado es importante, puesto que ambas, inductividad y resistividad son conocidas; en la mayoría de casos la impedancia puede ser determinada por computadora, puesto que la impedancia es dependiente de la frecuencia. El GEO utiliza una señal de 55 Hz, para que el cálculo esté lo más cerca posible y sin medidas corruptas; la mediciones exactas y directas son posibles con el GEO bajo ciertas condiciones, como que el ángulo de fase para 50 ó 60 Hz, sea de 30 ó 60 grados en atraso o inductivo.

Hay dos parámetros de interés para las instalaciones de potencia; la resistencia a tierra en caso de una descarga electroatmosférica y la impedancia del sistema completo en caso de un corto circuito en un punto específico en la línea de transmisión; en este caso, el corto circuito es un falla en la línea; hay tres diferentes tipos de medición de aterrizado que es necesario conducir cuando se está interviniendo una subestación.

Primero se determina la naturaleza del sistema de aterrizado, o sea, varillas, rejillas, sistemas de agua, etcétera; una vez el sistema de aterrizado ha sido determinado el proceso de intervención puede proseguir, las subestaciones generalmente consisten en torres de alto voltaje y de transformadores que están conectados y aterrizados a una rejilla de tierra, como lo muestra la figura 51.

Figura 51. Rejilla de tierra



Fuente: GOOGLE;<http://www.google.com>; Marzo,2000

La primera medición que se debe tomar en una subestación es la de las estacas de tierra; para ello se utiliza la abrazadera del GEO para probar todas las conexiones de aterrizado; el propósito de la medición de las estacas en una rejilla de tierra es verificar que hay una conexión eléctrica enlazando a la tierra que es capaz de pasar corriente. Dichas mediciones se pueden registrar en computadora por medio de una interfase para el GEO, las mediciones de las estacas en la rejilla de una subestación corresponden a las mediciones de continuidad o de un anillo, realmente no se está midiendo la resistencia actual de la tierra; para medir la resistencia a tierra se necesita un patrón en línea recta a tierra.

La segunda medición que se debe tomar es la prueba de caída de potencial con tres polos, del sistema de aterrizado completo, el GEO se debe conectar como se muestra en la figura 52.

Figura 52. Conexión del GEO para medir una rejilla de tierra



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Se deben seguir las reglas para la colocación de las estacas y asegurarse que las mediciones sean exactas y que no hayan sido afectadas por los efectos de la rejilla, después se vuelven a posicionar las estacas **P2** y **S**, aproximadamente una yarda; luego se toman de nuevo las mediciones, si hay un cambio significativo, aproximadamente del 30 por ciento, entonces vuelva a posicionar **P2** y **C2** más lejos de la tierra bajo prueba y repita las mediciones; para garantizar la fiabilidad de los resultados se deben realizar estas mediciones dos veces por año. La tabla VI muestra el espaciamiento y profundidad de **C1** respecto a **E** y de **C2** respecto a **H**.

Tabla VI. Espaciamiento entre sondas auxiliares

Profundidad del electrodo bajo prueba C1 / E (pies)	Distancia hacia la sonda C1 / E (pies)	Distancia hacia la sonda auxiliar C2 / H (pies)
6	45	72
8	50	80
10	55	88
12	60	96
18	71	115
20	74	120
30	86	140

Después de completar la prueba de caída de potencial con tres polos para la rejilla completa, se pueden medir las varillas de tierra individuales y sus conexiones en la rejilla utilizando el método de abrazadera selectiva; dicho método mide cada conexión separadamente sin necesidad de desconectarlas. El propósito de la abrazadera selectiva es asegurarse que la resistencia dentro de la rejilla sea bastante uniforme.

Para conducir la prueba de abrazadera selectiva con el GEO-X, se debe conectar como en la figura 52, tomando en cuenta que los requerimientos de espaciamiento para las estacas de referencia son los mismos que con la prueba estándar de caída de potencial, asegurarse de que los cables tengan suficiente holgura para moverse con

facilidad entre conexión y conexión. Después de completar la revisión de las estacas de la torre y la construcción se debe hacer la prueba al sistema completo vía el método por caída de potencial con tres polos.

6.5 Midiendo la resistencia de tierra en oficinas

a.- Se localiza el **MGB o barra maestra de aterrizado** dentro de la oficina para determinar qué tipo de sistema para aterrizado tienen, generalmente el MGB tendrá un alambre para aterrizado conectado al **MGN o neutral múltiple aterrizado**.

b.- Del MGB al campo de tierra en la oficina.

c.- Del MGB a las tuberías para agua y otros conectados al acero en la estructura del edificio, como lo muestra la figura 53.

Figura 53. Conexiones al MGB



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

La primera medición por tomar es la prueba de estacas para cada aterrizado individual proveniente del MGB; el propósito es asegurarse que todos los aterrizados estén conectados en el MGN. Es importante notar que no se está midiendo la resistencia individual, sino la resistencia de anillo de la pieza que tiene la abrazadera del equipo; el GEO se debe conectar como se muestra en la figura 54, con ello se medirá la resistencia en anillo de el MGN, el campo de tierra, las tuberías para agua y el acero de la estructura del edificio.

Figura 54. Conexión del GEO para medir resistencia de anillo



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

La segunda medición por tomarse, es la prueba para caída de potencial con tres polos del sistema completo de aterrizado, para eso debe conectar hacia el MGB como en la figura 55, tomando en cuenta los requerimientos para la colocación de las estacas de tierra; una vez completada la prueba de potencial, se debe medir la resistencia individual del sistema de aterrizado utilizando el método de abrazadera selectiva del

GEO, como se muestra en la figura 55. Para eso debe comenzar midiendo la resistencia del MGN; la medición que se genere es la resistencia particular del MGB, después se mide el campo de tierra; la resistencia medida será la perteneciente al campo de aterrizado central de la oficina; luego, las tuberías de agua y se repite el procedimiento para la estructura de acero del edificio, se verifican los resultados, ya que la suma de resistencias individuales debe igualar la resistencia del sistema completo.

Ésta es la forma más exacta de medir una oficina, en la cual se produce la resistencia individual y su conducta en un aterrizado en serie, si se desea desconectar cada parte del MGB y medir la resistencia particular, podría ser más exacto pero no se demostrará con ello la conducta del sistema como una red, pues durante una falla todo el sistema está conectado, para probar esto se puede medir cada parte por separado, usando la prueba para caída de potencial de tres polos, utilizando la ley de Ohm. Dichas mediciones deben igualar a la resistencia del sistema, cuando ya se han completado los cálculos se observará que se tiene un sesgo de 20 a 30 por ciento del valor total.

La forma final de medir la resistencia de las diversas partes que forma el MGB es el método selectivo de estacas, dicho método trabaja sobre la misma teoría que utiliza el método de estacas pero difiere en que se utilizan dos transformadores de corriente separados, se pone la abrazadera del primer transformador inductor de voltaje alrededor del cable que va al MGB y puesto que el MGB está conectado a la potencia entrante la cual está en paralelo con el sistema de tierra, se ha logrado entonces el requerimiento.

Cuando se toma el transformador sensor de corriente y se coloca su abrazadera alrededor del cable de tierra que va hacia el campo de tierra, como en la figura 55; entonces se está midiendo la resistencia del campo de tierra más el patrón paralelo del MGB, el cual tendrá baja resistencia y no afectará mucho la medición, dicho método se debe repetir para cada parte que se conecte al MGB.

Para medir el MGB vía el método de estacas selectivas, se debe poner la abrazadera del transformador de corriente alrededor del cable que va hacia las tuberías para agua, como las tuberías para agua tienen muy poca resistencia, la lectura dada por el GEO será la resistencia del MGN, únicamente.

Figura 55. Conexión del GEO para medir la resistencia en cada parte del MGB



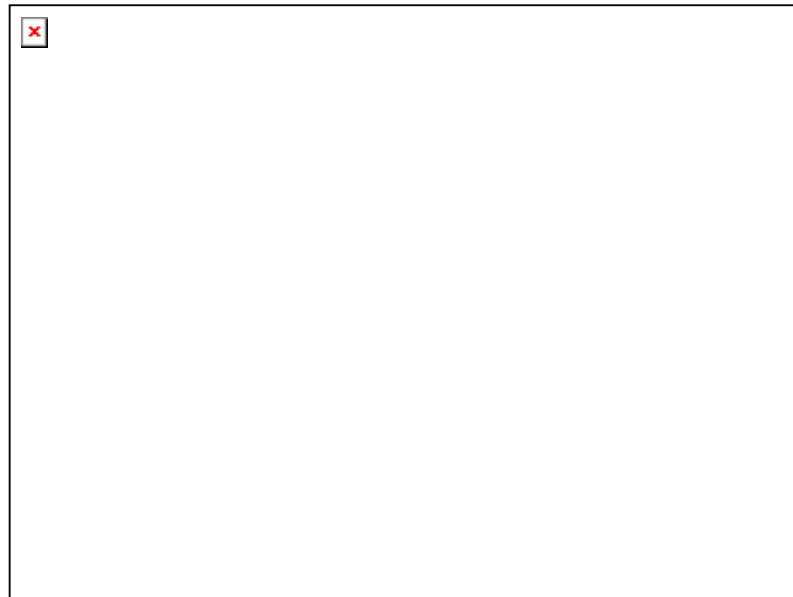
Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

6.6 Midiendo la resistencia en torres de radio y celdas celulares

En la mayoría de localidades hay torres con tres bases con cada una individualmente aterrizada, estos aterrizados son conectados con cable AWG-2 de cobre desnudo, a la par de la torre está el sitio de la celda, dentro de la construcción hay una malla de tierra y un MGB, la malla de tierra es conectada al MGB, el edificio para la celda es aterrizado en las cuatro esquinas, en el MGB vía un cable AWG-2 de cobre, y las cuatro esquinas están interconectadas con otro cable AWG-2 de cobre, también

hay una conexión entre el anillos del edificio y el anillo de la torre, como se esquematiza en la figura 56.

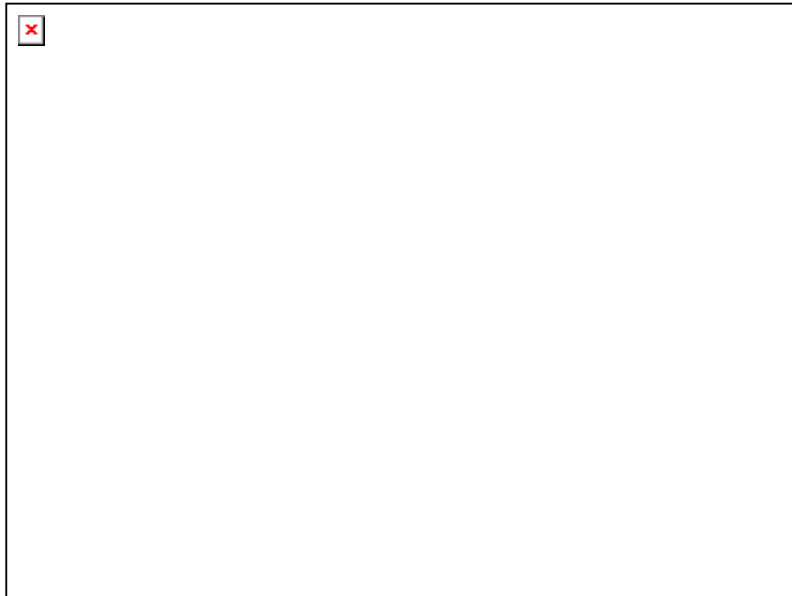
Figura 56. Partes de una celda celular



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Cuando ya se terminó la prueba para caída de potencial con tres polos, se deben medir las tierras individuales a través del método de abrazadera selectiva; esto verificará la integridad de las tierras individuales y sus conexiones, además revisará si el potencial de tierra es bastante uniforme. Luego se mide la resistencia en cada base de la torre y si hay variación muy fuerte en cualquiera de ellas se deberá investigar a qué se debe, la figura 57 muestra la forma de conectar el GEO.

Figura 57. Medición de resistencia en las bases de la torre



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

La primera medición por tomarse en una celda celular es la medición de estacas de las bases individuales de la torre y de las cuatro esquinas de la construcción. Ésta no es un medición real de la resistencia en la tierra debido a la red de tierra, sino que es, principalmente, una prueba de continuidad para verificar que se está aterrizado y se tiene una conexión eléctrica en la cual puede fluir corriente. Este aspecto se muestra en la figura 58.

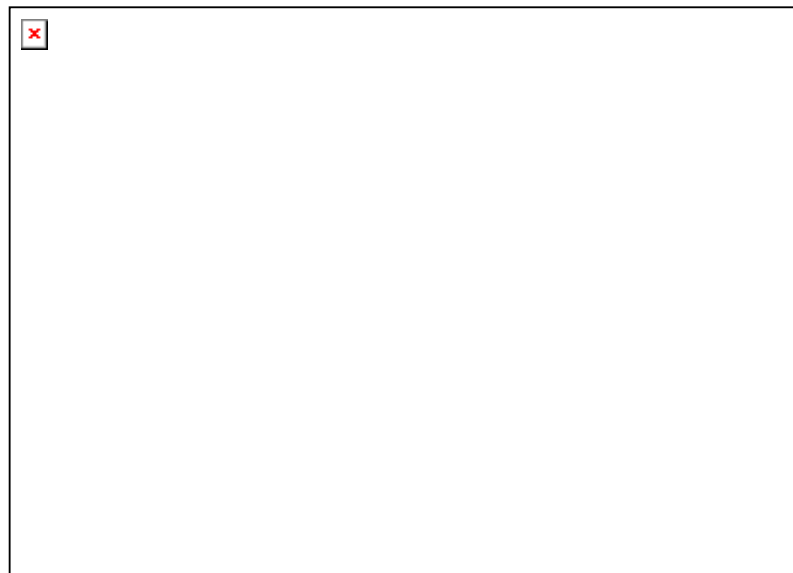
Después de medir el edificio por medio de la prueba de estacas, se debe medir la resistencia del sistema entero a través de la prueba para caída de potencial con tres polos, se debe tener en cuenta las reglas para la colocación de las estacas de tierra, como lo muestra la figura 59.

Figura 58. Medición de continuidad en las bases de la torre



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Figura 59. Medición de la resistencia total del sistema



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

6.7 Midiendo la resistencia en sitios de conmutación remotos

Hay tres mediciones claves que se deben realizar en un sitio remoto de conmutación también conocidos como concentradores digitales de líneas. El sitio remoto es generalmente aterrizado en ambos extremos del gabinete, por lo tanto, tendrá una serie de estacas de tierra alrededor del gabinete conectadas con un cable AWG-2 de cobre, como lo muestra la figura 60.

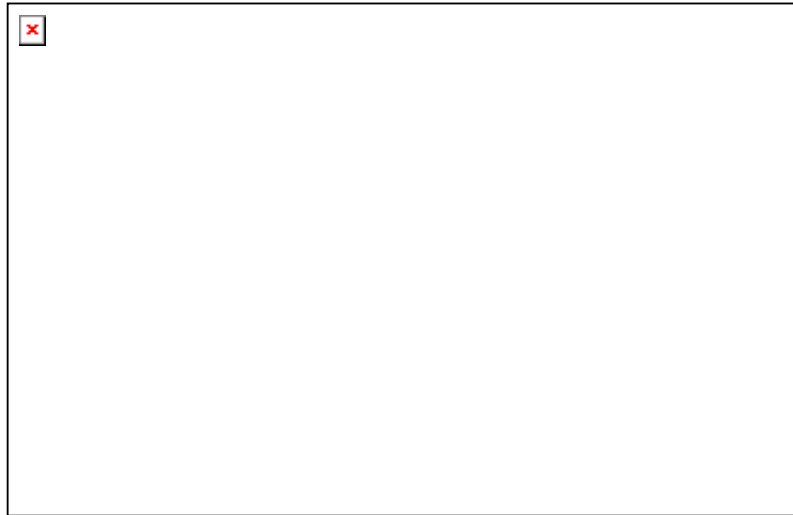
Figura 60. Estacas para tierra en un concentrador digital de líneas



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

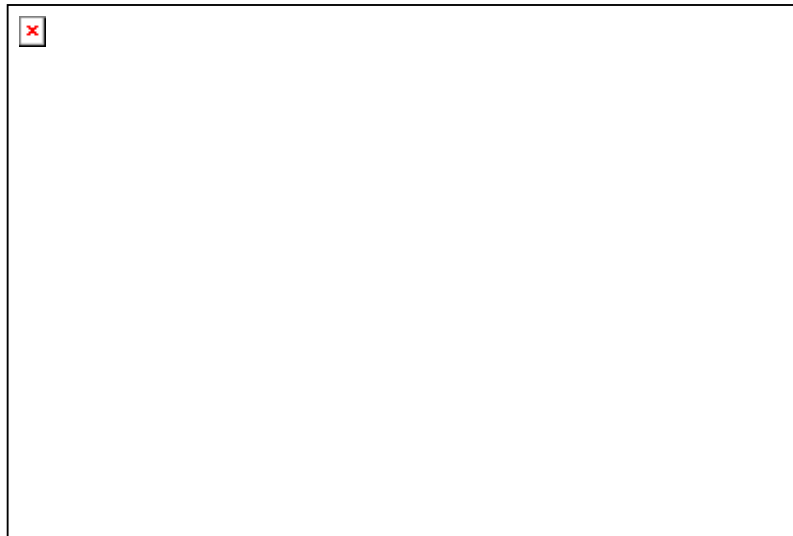
La segunda medición por tomar en el sitio remoto es la prueba para caída de potencial con tres polos del sistema completo de aterrizado; se debe conectar a cualquiera de los aterrizados, como se muestra en la figura 61. Se debe tener en mente los requerimientos para la colocación de las estacas para referencia en tierra.

Figura 61. Prueba para caída de potencial con tres polos en sitio remoto



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Figura 62. Medición de aterrizado individual en sitio celular



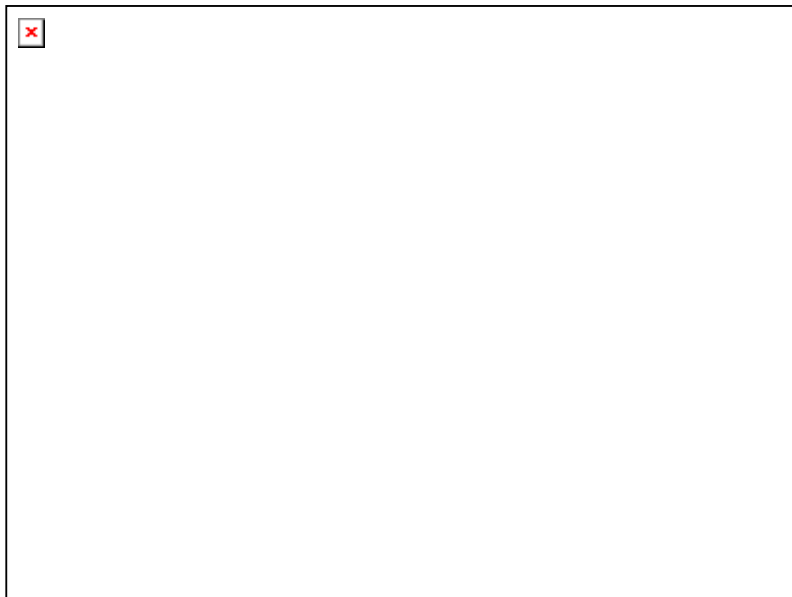
Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Después de finalizada la prueba para caída de potencial con tres polos, se deberán medir los aterrizados individuales por medio del método de abrazadera selectiva. Dicho método verificará la integridad de cada aterrizado individualmente y sus conexiones, además revisará si el potencial de tierra es uniforme; se deben medir ambos extremos del sitio remoto, como lo muestra la figura 62.

6.8 Midiendo la resistencia de tierra para protección contra rayos

La mayoría de los sistema de protección contra fallas de corriente por rayo, tiene las cuatro esquinas de las construcciones aterrizadas y están conectados usualmente por medio de un cable de cobre; dependiendo del tamaño de la construcción y los valores de resistencia que se desean obtener, el número de varillas en tierra variará.

Figura 63. Prueba de continuidad en lugares con protección contra rayos

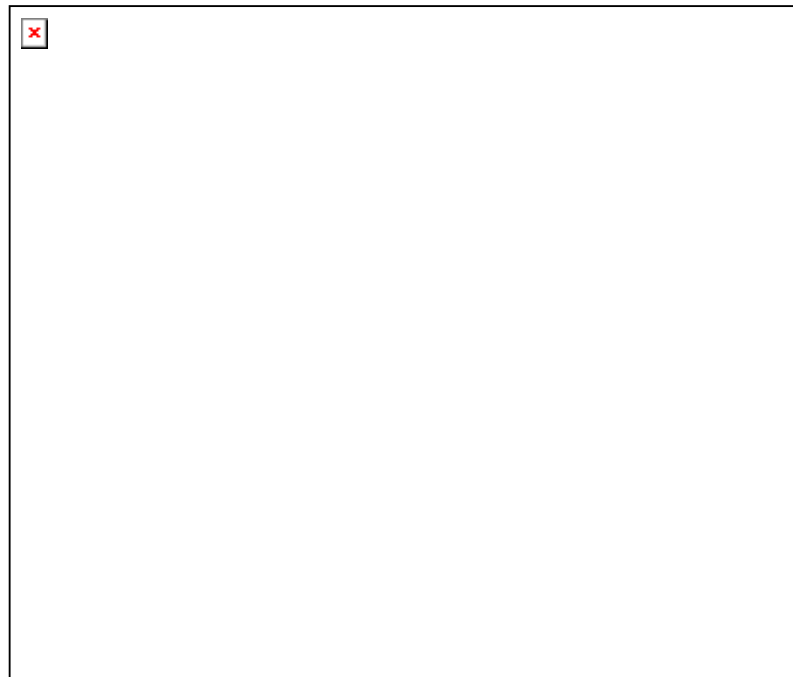


Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

La primera medición a ser tomada en sitios protegidos contra los rayos, es la medición por estacas. Ésta no es una medición de resistencia real debido a la red de aterrizado, realmente es una prueba de continuidad para verificar que se está aterrizado y que se tiene una conexión eléctrica donde puede fluir corriente, como lo muestra la figura 63.

En segundo lugar se debe medir la resistencia del sistema completo por medio de la prueba para caída de potencial con tres polos, y se deben tener en cuenta los requerimientos para la colocación de las estacas de referencia de tierra; la forma se muestra en la figura 64.

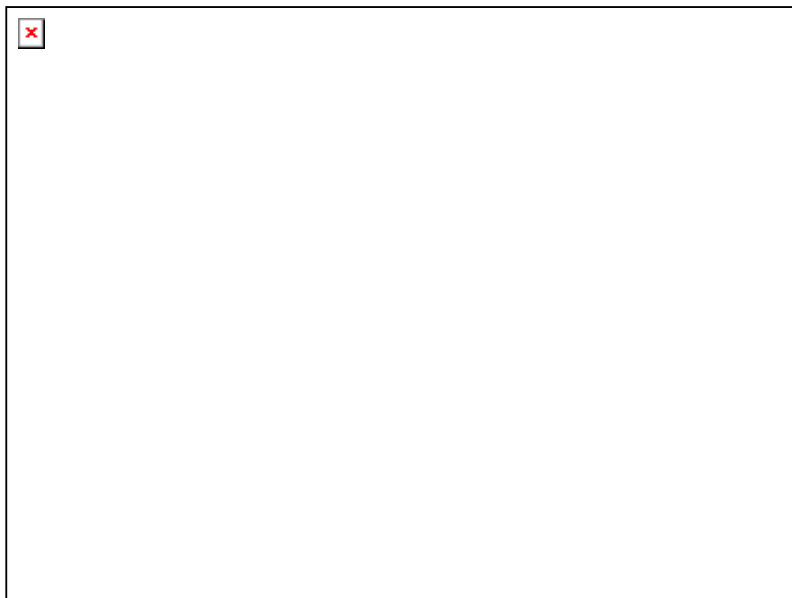
Figura 64. Medición de la resistencia del sistema en sitios con protección contra rayos



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

Por último, se miden los aterrizados individualmente a través del método de abrazadera selectiva, el cual verificará la integridad de las tierras individuales y sus conexiones, además verá si el potencial de tierra es uniforme. Se deben medir las cuatro esquinas del edificio y si alguna presenta mayor variación se debe investigar la causa, la forma de llevarlo a cabo se muestra en la figura 65.

Figura 65. Medición individual de aterrizado con método por abrazadera selectiva en sitios con protección contra rayos.



Fuente: GOOGLE; <http://www.google.com>; Marzo,2000

7. CRITERIOS DE DISEÑO Y ANÁLISIS ECONÓMICO

7.1 Criterios básicos para aterrizado seguro

El aterrizado para protección del personal debe tener la capacidad de conducir las corrientes máximas por falla, las cuales ocurren por una línea energizada o un equipo alimentado desde cualquier fuente, las juntas de entrehierro o “jumpers”. Las cuales han sido dimensionadas para las corrientes de falla máximas deben ser adecuadas para conducir las corrientes en estado estacionario inducidas por el voltaje de acoplo electromagnético de las líneas paralelas adyacentes. Las redes de tierra y las juntas de entrehierro deberán ser capaces de conducir la corriente máxima de falla durante 30 ciclos para líneas de transmisión y distribución, 15 ciclos para lugares de conmutación y plantas de poder, para permitirle a los relevadores e interruptores de circuitos la pronta acción.

Las redes de tierra deben ser capaces de sobrellevar una segunda energización entre el rango de 30 ciclos, posterior a una energización súbita; las terminaciones para las redes de tierra deben tener mordazas, las cuales no solo conduzcan las corrientes de falla sino que, también, tengan una conexión mecánica capaz de soportar las fuerzas creadas por las corrientes de falla evitando su aflojamiento. Las redes de tierra deben ser fáciles de aplicar, deben satisfacer los requerimientos de campo en la aplicación, deben requerir tiempo mínimo para su preparación e instalación y cubrir un amplio rango de utilidades.

El voltaje a través del personal, mientras la red de tierra está llevando corriente no debe ser demasiado alto para evitar daños a los mismos. La causa es la puesta en paralelo del cuerpo con la red de tierra, por ello no se deben exceder los 100 voltios durante una liberación de falla de 15 ciclos, lo cual causará una corriente en el cuerpo

de 200 miliamperios, o 75 voltios durante una liberación de falla de 30 ciclos, lo cual causará una corriente en el cuerpo de 150 miliamperios.

Las redes de tierra deben ser de longitud adecuada, las longitudes excesivas deben evitarse, puesto que la longitud adicional incrementará la pendiente de la resistencia y dependiendo de la geometría del anillo de tierra, se incrementará el voltaje inducido en el trabajador. Las recomendaciones generales nos dicen que deben estar limitadas a 30 pies en lugares de trabajo, sí las fallas se liberan en 30 ciclos o 500 milisegundos y 40 pies para fallas liberadas en 15 ciclos o 250 milisegundos, las excepciones serán las estructuras para líneas con polos de madera, en donde los conductores de bajada se deben mantener lo mas largo posible.

No es función de una red de tierra y las juntas de entrehierro, el sobrellevar corrientes debidas a rayos o proveer protección al trabajador, por lo tanto el trabajo exterior se debe suspender durante tormentas eléctricas. Las terminaciones del conductor y los cables para aterrizado deben ser conectados y desconectados con herramientas para línea viva, los cuales utilizan varillas de largo adecuado, con esto los trabajadores pueden estar cerca del aterrizado, pero no mucho como para estar en peligro debido al latiguo de los cables producido por las altas corrientes o destellos quemantes producidos por fallas o flojedad en los cables. En donde sea práctico, las redes de tierra se deben marcar con cuerdas y avisos.

7.2 Tierras paralelas

Cuando dos o más conjuntos de tierras son puestos en paralelo en un sitio de trabajo, se debe estar seguro de que dichos conjuntos tengan idéntica longitud y tamaño en los cables, además las mordazas deben ser iguales y cada conjunto debe tener los conductores limpios. La división de la corriente a lo largo de las tierras paralelas depende de la impedancia total de cada conjunto de tierra, incluyendo la impedancia de la conexión. El voltaje sobre el personal también se ve afectado.

Tabla VII. Capacidad de cables para corriente de falla, conforme a ciclos de falla.

Tamaño cable AWG	Tiempo de la falla en ciclos	100 % RMS kA Cap .máxima	70 % RMS kA
CABLE DE COBRE			
2	6	29	20
	15	18	13
	30	13	9
	60	9	6
1/0	6	47	33
	15	30	21
	30	21	15
	60	14	10
2/0	6	59	41
	15	37	26
	30	26	18
	60	18	13
3/0	6	74	52
	15	47	33
	30	33	23
	60	23	16
4/0	6	94	85
	15	59	53
	30	42	38
	60	29	26

Si la corriente que es conducida por la red de tierra está cercana a la capacidad térmica de las red, la red de tierra con menor impedancia puede ser sobrecargada, dicha sobrecarga puede causar la falla en la misma lo cual permitirá que la tierra fallada tire su carga hacia la otra tierra que todavía no ha fallado. Debe recordarse que, aunque sea tierra, la misma también tiene efectos de variación en la resistencia con la temperatura, puesto que las tierras paralelas idénticas no son comunes, un factor multiplicativo de 1.8 se recomienda para dos tierras paralelas y 2.6 para tres tierras paralelas, por ejemplo, dos cables de cobre AWG 2/0 que se utilizan para 20000 amperios pueden llevar 36000 amperios, debido al factor de $20000 * 1.8$, en lugar del doble que sería 40000 amperios.

7.3 Equipo para aterrizado

Este equipo consta de cables de aluminio y cobre con longitud adecuada, con ferritas compatibles, tanto mecánica como eléctricamente; además mordazas y varillas adecuadas para las terminaciones del conductor con las barras en tierras, con el fin de proveer conexiones de baja resistencia.

7.3.1 Forro

Los cables están aislados para 600 voltios, nominalmente. Cuando se utilizan para aterrizado, el aislamiento del forro sirve principalmente para protección mecánica del conductor, pero también sirve para controlar el punto donde se hace la conexión a tierra. Los forros termoplásticos son fabricados conforme a las normas de la **ASTM o Asociación Americana para Pruebas y Materiales**. Los forros amarillos, rojos y negros, usualmente, utilizan, compuesto de neopreno, mientras que los forros sin color tienen inhibición ultravioleta o PVC. Todo cable debe tener a lo largo del forro el tipo de conductor que es, los forros transparentes son buenos cuando se desea inspeccionar

por roturas en el cable, pero lamentablemente se vuelve tieso y duro a temperaturas por debajo de 9 °C, por lo tanto el forro transparente no se recomienda para climas fríos.

El tipo de forro que cada conductor tenga determinará la protección de la cual el conductor está envuelto, o sea que hay forros para agua, calor, combustibles, frío, de tensión y tracción; recuerdese que el forro es un medio para dar aislamiento al conductor, por lo tanto, cuando no se selecciona un forro adecuado para una aplicación, no solo el forro corre peligro, sino también las características eléctricas y mecánicas del conductor, bajo el efecto del ambiente a el cual está sometido.

7.3.2 Conductores de aluminio y cobre

Los cables de cobre se prefieren más que los de aluminio. Como sea, el aluminio pesa el 75 por ciento del peso del cobre para la misma capacidad de corriente, o sea que un cable de aluminio es dos veces el tamaño AWG que el de cobre para igual capacidad de corriente. El aterrizado para protección regularmente se maneja con cables, lo cual permite que los cables se quiebren debajo del forro, lo cual es más frecuente en los de aluminio que en los de cobre. Desafortunadamente, los cables flexibles de aluminio no se fabrican con forros transparentes de tal manera que se hace imposible inspeccionar las roturas del trenzado, la resistencia del aluminio es mayor a la del cobre, pero los voltajes inducidos son dependientes del radio medio geométrico y este es el mismo, si el tamaño es el mismo, sea cobre o aluminio.

7.3.3 Mordazas para aterrizado

Las mordazas para aterrizado se hacen normalmente de aleaciones de cobre y aluminio, son dimensionadas para exceder la capacidad de transporte para corriente en los cables con los que se usan, además se diseñan para proveer una conexión mecánica fuerte con el conductor o varilla de tierra. Para la instalación en conductores no

energizados se usan las mordazas **tipo I**, las cuales tiene agujeros para la instalación y varillas removibles. Para la instalación en conductores no energizados pero con varillas permanentemente montadas se utiliza la mordaza **tipo II**. Para la instalación en conductores de aterrizado permanentes o estructuras metálicas, se utilizan las mordazas **tipo III**, las cuales tienen horquillas **tipo T**, con agujeros y tornillos cuadrados o hexagonales.

Las mordazas deben venir con quijadas para la instalación en el cobre, aluminio o barras plateadas, las cuales tienen muescas con el fin de prensar la superficie del conductor. Las mordazas de auto-limpieza se recomiendan para terminaciones de conductores ACSR. Se debe tener cuidado con el calentamiento excesivo debido al tiempo de las ondas de corriente, ya que dichas ondas producen una componente de corriente continua sobre el eje de referencia, la cual genera el calentamiento, el diseño de las mordazas incluye los esfuerzos mecánicos y térmicos para dichas corrientes.

7.3.4 Reglas para aterrizado

Las reglas para aterrizado se requieren para enlazar los cables trenzados con las mordazas, en una conexión que es capaz de conducir la corriente de falla y es mecánicamente fuerte para sustentar los esfuerzos inducidos por las fuerzas electromagnéticas que se impondrán en el sistema de tierra durante la falla.

Las reglas para compresión o **tipo I**, son cilíndricas y han sido diseñado para utilizarse en cables trenzados bajo compresión. Las reglas soldables o **tipo II**, son tubulares y se diseñaron para instalación en cables trenzados por medio de soldadura. Las reglas planas o **tipo III** son reglas con espárrago cubierto, tienen un agujero que acepta el cable junto con su forro y tiene roscas en el extremo delantero.

7.3.5 Ensamblajes

Un aterrizado consiste de múltiples ensamblajes con cables y reglas, los cuales tienen un cable aterrizado en cada extremo. Las tierras son usualmente ensambladas con mordazas conductoras en un extremo del cable y con una mordaza para terminación en el otro extremo; la mordaza conductora puede tener un agujero o un varilla permanentemente instalada para facilitar su instalación.

La red de tierra debe ser de longitud adecuada para cada aplicación y las longitudes excesivas se deben evitar. Primero, debido a las fuerzas electromagnéticas creadas durante la conducción de corrientes de falla en conductores adyacentes y cercanos, lo cual puede provocar latiguelo entre los cables, la flojedad en las juntas de entrehierro o “jumpers” se debe minimizar. La segunda, es que la resistencia de la tierra en si misma incrementa, conforme la longitud de los cables es incrementada.

7.3.6 Soportes para aterrizado

Son utilizados en el aterrizado de torres metálicas para líneas de transmisión, para asegurarse de tener una conexión con baja impedancia entre las juntas de entrehierro en cada fase. En el aterrizado para estaciones se utiliza, a veces, una barra de cobre para conectar las tierras de las tres fases a la malla de tierra en la estación.

Se requiere que las mordazas para terminación de conductor a tierra, deban ser ligadas hacia el conductor utilizando varillas de longitud conveniente para el voltaje nominal en la línea.

7.4 Calculando el tamaño de la tierra y su ampacidad

Para no exceder el límite de seguridad de 150 mA a través del cuerpo, durante los 500 milisegundos o 30 ciclos que tarda una falla en ser liberada, el voltaje a través del trabajador no debe sobrepasar 75 voltios. Similarmente, para no exceder el límite de seguridad de 200 mA para 250 milisegundos o 15 ciclos, el voltaje a través del trabajador no debe exceder los 100 voltios. El voltaje a través del trabajador es la suma de los voltajes alrededor de un anillo conductivo formado por el trabajador y la tierra, el voltaje es determinado por el descenso de voltaje en la resistencia de la tierra y el voltaje inducido desde la tierra hacia el trabajador.

La resistencia total incluye la resistencia en la superficie del conductor, el contacto con las mordazas, conductores, resistencia en la mordaza, resistencia en las reglas que conectan al cable con la mordaza, la resistencia del cable y la mordaza; además la resistencia en la superficie de contacto con el alambre de tierra o varilla. Las conexiones, serán asumidas como 0.2 ó 0.4 m Ω de resistencia, por lo cual, la resistencia del cable principal es la variable que determina la resistencia en la red de tierra, para calcular los descensos de voltaje se pueden consultar las tablas VIII y IX.

Figura 66. Componentes de resistencia en las juntas

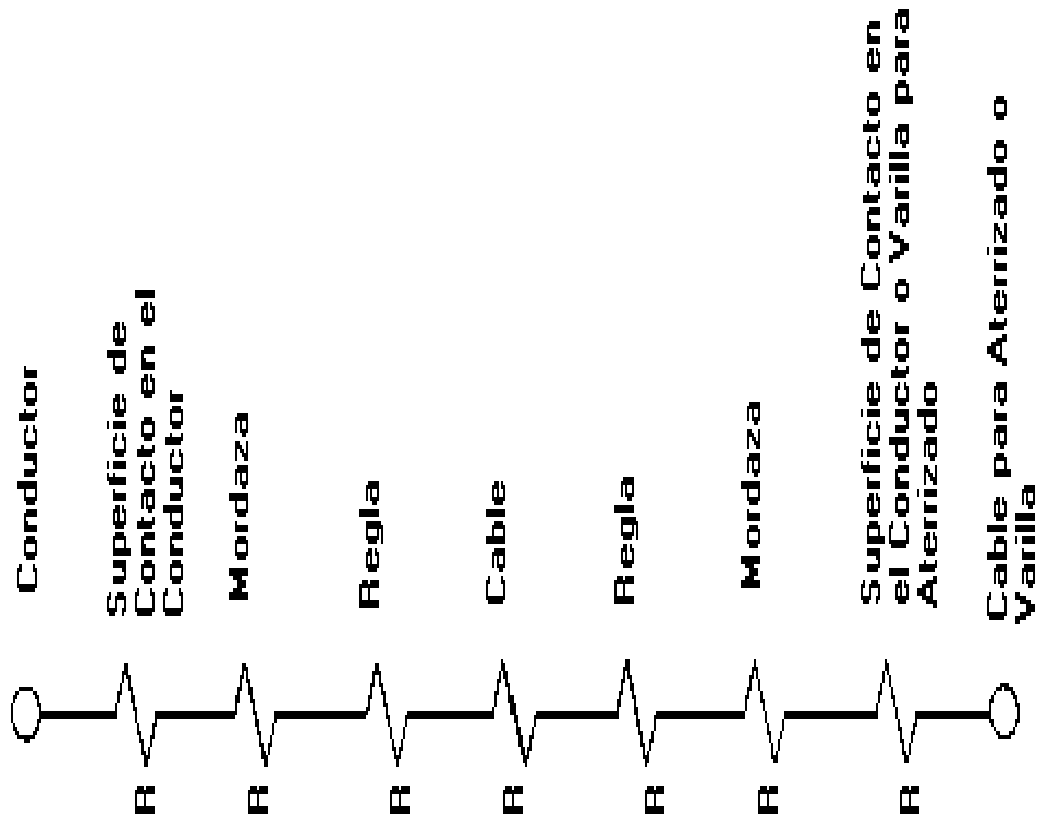


Tabla VIII. Características de los conductores

Tamaño del conductor para AWG en kcmil	Descenso de voltaje en la resistencia para 20°C y 1000 amperios		Voltaje inducido para 1 pie de espaciamiento y con 1000 amperios	Radio medio geométrico (GMR)
	Voltios por pie de conductor			
	Cobre	Aluminio	Voltios	Pies
2	0.159	0.262	0.1087	0.00883
1/0	0.1	0.165	0.1021	0.01175
2/0	0.0795	0.131	0.0994	0.01325
3/0	0.063	0.103	0.0968	0.01483
4/0	0.05	0.0821	0.0941	0.01667
250	0.0423	0.0695	0.0919	0.01842

Tabla IX. Factores de espaciamiento

Voltaje inducido para 1000 amperios					
Pies	Voltios	Pies	Voltios	Pies	Voltios
0.01	-0.106	11	0.0551	32	0.0797
0.02	-0.0899	12	0.0571	33	0.0804
0.1	-0.0529	13	0.0589	34	0.081
0.2	-0.037	14	0.0607	35	0.0817
0.3	-0.0277	15	0.0622	36	0.0824
0.4	-0.0211	16	0.0637	37	0.083
0.5	-0.0159	17	0.0651	38	0.0836
0.6	-0.0117	18	0.0664	39	0.0842
0.7	-0.00820	19	0.0677	40	0.0848
0.8	-0.00513	20	0.0689	41	0.0853
0.9	-0.00242	21	0.07	42	0.0859
1	0	22	0.071	43	0.0864
2	0.0159	23	0.0721	44	0.087
3	0.0252	24	0.073	45	0.0875
4	0.0319	25	0.074	46	0.088
5	0.0370	26	0.0749	47	0.0885
6	0.0412	27	0.0757	48	0.089
7	0.0447	28	0.0766	49	0.0894
8	0.0478	29	0.0774	50	0.0899
9	0.0505	30	0.0782	Los valores de la tabla son para cable aislado de 1000 V, para cable trenzado de 600 V variarán muy poco.	
10	0.0529	31	0.0789		

7.4.1 Determinando la corriente máxima

La corriente máxima en un aterrizado para protección del personal debe ser determinada por medio de las tablas X y XI, y se puede aseverar respecto a las fallas de corriente, en situaciones donde se energizan repentinamente equipos como generadores y transformadores, los cuales se deben considerar separadamente, puesto que no se sabe si los dos serán energizados al mismo tiempo o no. Cuando es la terminal de un bus en una línea de transmisión, la falla en el bus menos la contribución de la línea hacia el bus deberá ser calculada, se utilizarán los valores máximos para corriente de falla en cada bus.

Tabla X. Descenso de voltaje máximo a 20 °C en cables de aluminio

Longitud total del cable en pies	Distancia en pies entre los extremos de un cable	Rango aceptable de mV entre los extremos de un cable con 25 A	
		2/0 Aluminio	4/0 Aluminio
12	10	32	21
15	13	42	27
20	18	58	38
25	23	74	48
30	28	90	59
35	33	106	69
40	38	122	80
45	43	138	90
50	48	154	101
60	58	186	122
65	63	202	132
75	73	234	153
80	78	250	164
90	88	282	185
100	98	314	206
El rango máximo aceptable en reglas para aterrizado y un pie de cable de aluminio AWG 2/0, deberá ser 4.5 mV. El rango máximo aceptable en reglas para aterrizado y un pie de cable de aluminio AWG 4/0, deberá ser 3 mV.			

7.4.2 Tamaño de los cables

Basado en las corrientes de falla, se seleccionan los cables de las tablas VII y XII, para cables de cobre. Las capacidades de amperaje están listadas para 20 segundos de liberación de falla, envolviendo condiciones de bajo voltaje en una unidad. Para aplicaciones que necesiten cables no listados en la tabla, se deben conseguir datos dependiendo de las variables en juego.

Este es el paso más importante en el aterrizado para protección del personal, debido a que un cable fallado puede dar como resultado un arco eléctrico, el cual

causará quemaduras en el cuerpo y daños a los ojos del trabajador, además el descenso de voltaje en la resistencia de tierra puede exceder los niveles recomendados.

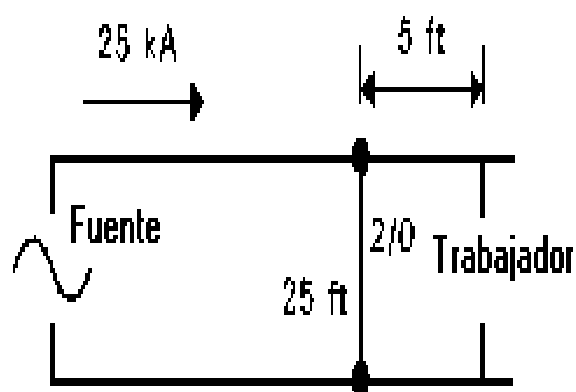
Tabla XI. Descenso de voltaje máximo a 20°C en cables de cobre

Longitud total del cable en pies	Distancia en pies entre los extremos de un cable	Rango aceptable de mV entre los extremos de un cable con 25 A
		2/0 Cobre
4	1.25	2.8
6	3.25	7.2
10	7.25	16
12	9.25	20.4
15	12.25	27.1
20	17.25	38.1
25	22.25	49.2
30	27.25	60.2
35	32.25	71.3
40	37.25	82.3
45	42.25	93.4
50	47.25	104.4
60	57.25	126.5
65	62.75	137.6

7.4.3 Determinando voltajes

Se deben determinar los voltajes a los cuales el trabajador está expuesto, basado en las condiciones de la tierra que se utilice. Es importante determinar la distancia desde la tierra, hacia el lugar en el cual los trabajadores tendrán contacto con el equipo aterrizado, cuanto más lejano, mayor será el voltaje inducido. Como un ejemplo, se encuentra el voltaje sobre un trabajador utilizando cables AWG 2/0 con 25 pies de longitud, en un lugar con 20000 amperios para corriente de falla y una distancia para el trabajador de 5 pies, en circuito cerrado, como se muestra en la figura 67.

Figura 67. Malla eléctrica para circuito cerrado



Hallando el descenso de resistencia, asumiendo que la resistencia de otros elementos es $0.3 \text{ m}\Omega$.

$$IR = 20 \cdot 25 \cdot 0.795 = 39.75 \text{ V para el cable}$$

$$IR = 20 \cdot 0.3 = 6 \text{ V para otros descensos}$$

$$IR_{\text{DESCENSO}} = 45.75 \text{ V}$$

El número 0.795 de la tabla VIII es el voltaje por pie de conductor, para cada 1000 amperios a 20°C , debido al descenso de voltaje en la resistencia. El número 20 representa los kA de corriente de falla y el número 25 la longitud del cable. Ahora, utilizando la tabla VIII una vez más, se encuentra el voltaje inducido por pie de espaciamiento para el mismo cable, el cual es 0.0994.

$$V_{\text{INDUCIDO}} = 20 \cdot 25 \cdot 0.0994 = 49.7 \text{ V a menos de un pie}$$

$$V_{\text{FACTOR DE DISTANCIAMIENTO}} = 20 \cdot 25 \cdot 0.0370 = 18.5 \text{ V}$$

$$V_{\text{INDUCIDO TOTAL}} = V_{\text{INDUCIDO}} + V_{\text{FACTOR DE DISTANCIAMIENTO}}$$

$$V_{\text{INDUCIDO TOTAL}} = 49.7 + 18.5 \text{ V}$$

$$V_{\text{INDUCIDO TOTAL}} = 68.2 \text{ V a cinco pies de espaciamiento.}$$

El número 0.0370 se halla en la tabla IX para una distancia de 5 pies, la cual es la del trabajador, luego para encontrar el voltaje total alrededor del anillo se debe sumar el voltaje inducido total con el descenso de la resistencia, o sea, hallar el módulo como voltaje complejo:

$$V_{\text{TOTAL}} = IR_{\text{DESCENSO}} + j (V_{\text{INDUCIDO TOTAL}})$$

$$V_{\text{TOTAL}} = (45.75 + j 68.2) \text{ V}$$

$$V_{\text{TOTAL}} = 82.12 \text{ V}$$

Ahora se encontrará el voltaje sobre el trabajador con una longitud de 30 pies, con un cable de cobre AWG 4/0 conectado a un circuito con una corriente de falla de 35 kA, el circuito está abierto y un tramo con cable de cobre AWG 2/0 se conecta a 20 pies más allá del circuito, con una distancia adicional para el trabajador de 10 pies, como se muestra en la figura 68. La caída de voltaje por resistencia no necesita ser calculada, puesto que el descenso de resistencia no está en el anillo que envuelve al trabajador, luego utilizando la tabla VIII se encuentra el voltaje inducido por pie, el cual es 0.0941 para el cable AWG 4/0. La tabla IX se utiliza para encontrar el número 0.0689, el cual es el factor de espaciamiento en los 20 pies de cable. El número 30 es la suma de distancias del circuito y el trabajador, y el número 35 son los kA de corriente de falla.

$$V_{\text{INDUCIDO}} = 35*30*0.0941 = 98.8 \text{ V a menos de un pie}$$

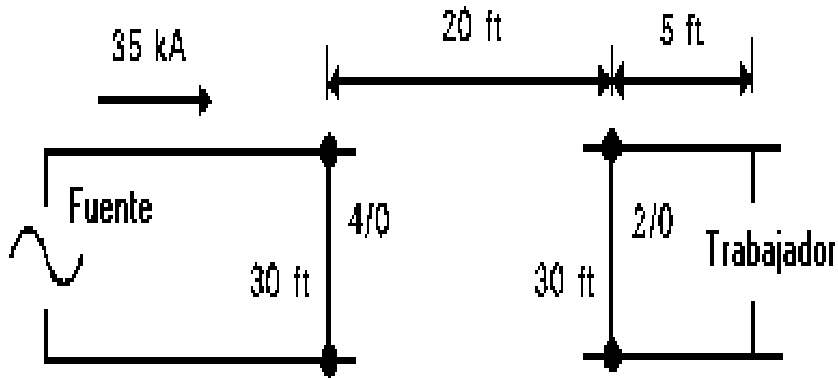
$$V_{\text{FACTOR DE DISTANCIAMIENTO}} = 35*30*0.0689 = 72.4 \text{ V}$$

$$V_{\text{INDUCIDO TOTAL}} = V_{\text{INDUCIDO}} + V_{\text{FACTOR DE DISTANCIAMIENTO}}$$

$$V_{\text{INDUCIDO TOTAL}} = 98.8 + 72.4 \text{ V}$$

$$V_{\text{INDUCIDO TOTAL}} = 171.2 \text{ V a veinte pies sobre el cable AWG 2/0}$$

Figura 68. Malla eléctrica para circuito abierto



Ahora se hallará el voltaje inducido en el circuito del trabajador, ya que ambos están separados, los cálculos se harán ahora para un cable AWG 2/0, utilizando las tablas VIII y IX para hallar los factores respectivos para dicho cable.

$$V_{\text{INDUCIDO}} = 35 \cdot 30 \cdot 0.0941 = 98.8 \text{ V a menos de un pie}$$

$$V_{\text{FACTOR DE DISTANCIAMIENTO}} = 35 \cdot 30 \cdot 0.0782 = 82.1 \text{ V}$$

$$V_{\text{INDUCIDO TOTAL}} = V_{\text{INDUCIDO}} + V_{\text{FACTOR DE DISTANCIAMIENTO}}$$

$$V_{\text{INDUCIDO TOTAL}} = 98.8 + 82.1 \text{ V}$$

$$V_{\text{INDUCIDO TOTAL}} = 180.9 \text{ V a treinta pies de espaciamento sobre el trabajador.}$$

Como paso final se sumarán ambos voltajes inducidos, tanto el del cable AWG 2/0, como el del trabajador.

$$V_{\text{INDUCIDO EN EL ANILLO}} = (j180.9 - j171.2) \text{ V}$$

$$V_{\text{INDUCIDO EN EL ANILLO}} = j9.8 \text{ V}$$

O bien se puede realizar el cálculo por sustracción, como se muestra a continuación:

$$V_{\text{INDUCIDO EN EL ANILLO}} = 35 \cdot 30 \cdot (0.0782 - 0.0689)$$

$$V_{\text{INDUCIDO EN EL ANILLO}} = j 9.8 \text{ V}$$

En donde el número 0.0782 es el factor de espaciamento para el cable AWG 2/0 y el número 0.0689 es el factor de espaciamento para el cable AWG 4/0, el número 30 la distancia total y el número 35 los kA para corriente de falla.

7.5 Conexión a tierra

Desde el punto de vista eléctrico, la conexión puede considerarse como un conductor enterrado en la tierra el cual tiene poca resistencia para la corriente eléctrica. Con este entendimiento, la resistencia al pie de la torre, es la resistencia entre los soportes de la torre y la tierra, el mismo concepto tiene el petate de tierra. La superficie exterior de la tierra no es la verdadera tierra, la corriente puede fluir a lo largo de dicha superficie pero no muy lejos, puesto que la corriente tiende a irse hacia el fondo de la tierra y no a lo largo u horizontalmente. La resistencia de la superficie de la tierra depende de las condiciones de la misma, o sea, si es, rocosa, arenosa, húmeda o seca. Como sea, cuando una corriente fluye atravesando la superficie de la tierra o atravesando una varilla de tierra, un voltaje se crea, el cual es peligroso para el personal en las cercanías.

En líneas de transmisión, la corriente de falla fluye a través de las torres o a través del cable para aterrizado hacia la varilla de tierra, luego ésta se esparce en la superficie antes de irse hacia el fondo. Esto quiere decir que cuanto más cerca esté una persona a una varilla para aterrizado, mayor será la concentración de corriente y por lo consiguiente la de voltaje. Esto significa que cuanto más separadas tenga las piernas la persona, mayor será la diferencia de potencial a través del cuerpo, por tal razón toda persona debe mantenerse alejada de las estructuras para aterrizado al nivel de la superficie.

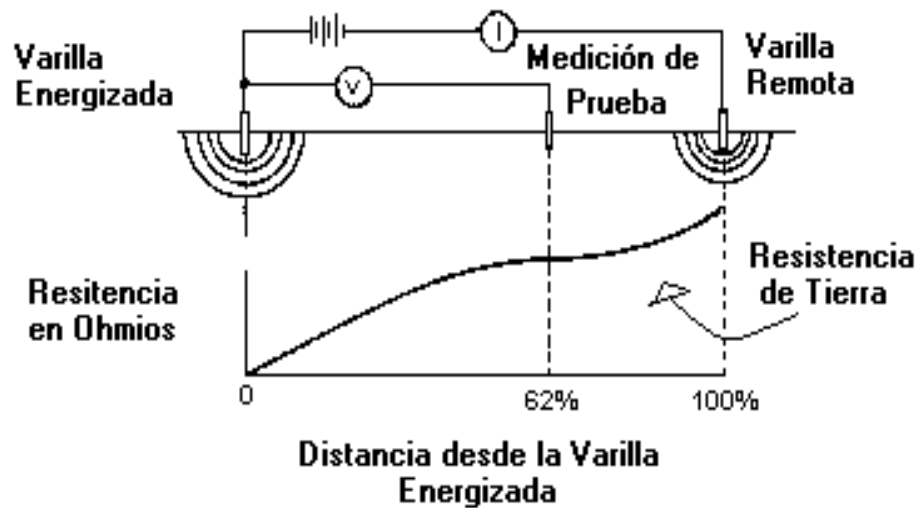
7.6 Potencial de paso

El potencial de paso es causado por el flujo de corriente a través de la tierra, el cual provoca un descenso de potencial en la superficie de la tierra. Por ejemplo, una persona con los pies separados sirve de puente para dicho potencial, o sea que experimenta una diferencia de potencial entre los dos pies. Un procedimiento de prueba se utiliza para definir las características en el descenso de voltaje a través de la tierra. Una varilla se coloca en una localidad remota, luego el voltaje se mide para diversas distancias desde una varilla energizada, el voltaje decrece conforme la distancia desde la varilla energizada aumenta pero en una forma no lineal, esto se debe a la distribución de la resistencia en función de la distancia como se muestra en la figura 69.

La no linealidad en la figura 69 puede explicarse considerando a un electrodo de tierra como un sistema formado por cilindros concéntricos en tierra, como se muestra en la figura 70. Si se recuerda la ecuación para la resistencia que es $R = \rho l/A$, donde R es la resistencia entre dos puntos, ρ la resistividad del conductor, A el área transversal del patrón conductivo y l la longitud del patrón conductivo; la figura 69 lo explica.

Puesto que la corriente en la varilla se radiará en todas las direcciones desde la varilla y subsecuentemente desde cada cilindro concéntrico conforme fluye hacia una tierra remota, cada cilindro concéntrico tiene un área superficial mayor que su precedente, por lo tanto, la resistencia incrementa con cada aumento gradual de la distancia en pequeñas cantidades. Eventualmente, se alcanza un punto en el cual la caparazón externa tiene un área superficial tan grande que ningún otro incremento añadirá cambios significativos a la resistencia total; en este punto la resistencia puede considerarse constante.

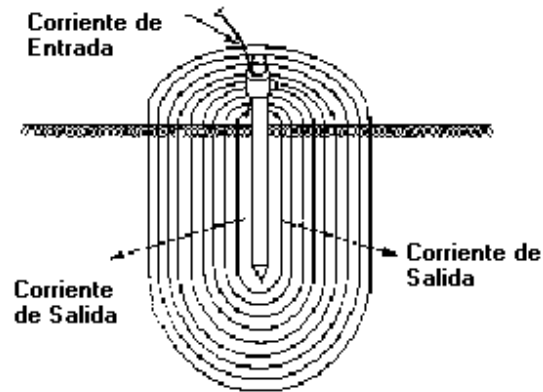
Figura 69. Distancia desde la varilla de referencia



La resistencia se eleva de nuevo rápidamente conforme intercepta las capas asociadas a la tierra o varilla remota; el valor de la resistencia finalmente alcanzado es dependiente solamente de la resistividad en el suelo o ρ , puesto que la resistividad varía conforme la cantidad de humedad en el suelo, la sal presente, la temperatura y el tipo de suelo. La resistencia es adicionalmente complicada por el diámetro de la varilla, la longitud, el número de varillas utilizadas y el espaciamiento entre cada una, además la distribución de la corriente varía debido a los diversos niveles de suelo con distintas resistividades, lo cual es similar a un circuito eléctrico de impedancia en serie-paralelo.

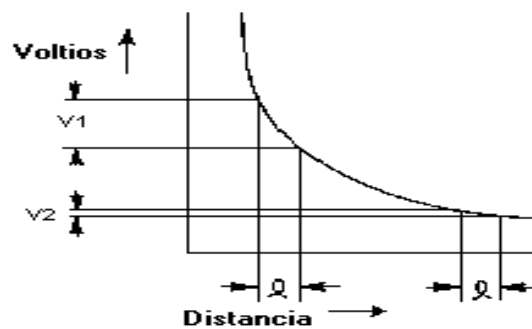
El problema con el potencial de paso es que una persona parada cerca del punto en donde las corrientes de falla entran a la tierra, podría tener una gran diferencia de potencial entre los pies, pero también significa que dicha diferencia de potencial sobre el mismo trecho será menor, conforme el trecho se aleja del punto por el cual las corrientes de falla están entrando, como se muestra en la gráfica de la figura 71.

Figura 70. Cilindros concéntricos o caparazones



El uso local de marañas o petates de metal, proveerá protección adecuada para el trabajador, el petate debe estar aislado a manera de aislar a la persona e interrumpir el patrón del circuito o la conducción, lo cual mantendrá el potencial constante sobre dicha área de trabajo, ya que el gradiente máximo de potencial, ahora empieza en el extremo de la maraña o petate. Por consiguiente, un trabajador debe permanecer sobre el petate para estar sobre zona segura.

Figura 71. Voltaje de paso en función de la distancia



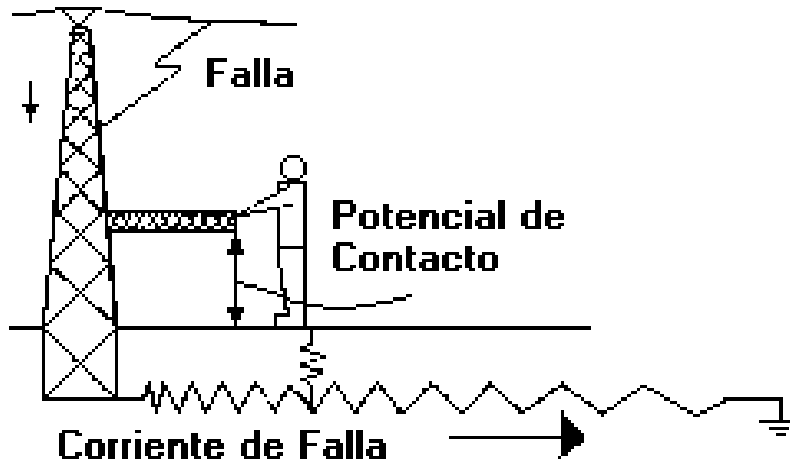
7.7 Potencial de contacto

El potencial de contacto es un problema similar al potencial de paso, éste envuelve un flujo de corriente durante una falla, hacia la tierra, estableciendo una diferencia de potencial entre el punto de contacto con la tierra y una utilería o equipo remoto. La figura 72 ilustra el potencial de contacto.

La protección para el potencial de contacto es la misma que la del potencial de paso, de nuevo el trabajador debe permanecer sobre una maraña o petate conductivo, ya que como es sabido, el gradiente de potencial se ha movido a los extremos del petate en los cuales el gradiente de potencial es máximo; otro problema causado por el flujo de corrientes durante una falla hacia la tierra es el aterrizado de punto singular contra el aterrizado de doble punto, el punto singular consiste en la puesta de juntas solo en la torre, mientras que el doble punto es la puesta de juntas en la torre y en cada extremo de la torre.

En el caso de aterrizado por punto doble sin juntas en el lugar de trabajo, no hay peligro de potencial de paso, pues no hay flujo de corriente dentro de la tierra capaz de crear tal peligro, ya que los potenciales asociados con dicho peligro se encuentran en las estructuras adyacentes únicamente; como sea, un trabajador en contacto con equipo energizado, es la posición menos deseable en un lugar de trabajo, puesto que la estructura está a cero voltios y con el equipo energizado el voltaje total atraviesa al trabajador, para evitar dicho riesgo se utilizan un conjunto extra de juntas para aterrizado, adicionales a las de los extremos en la torre.

Figura 72. Potencial de contacto

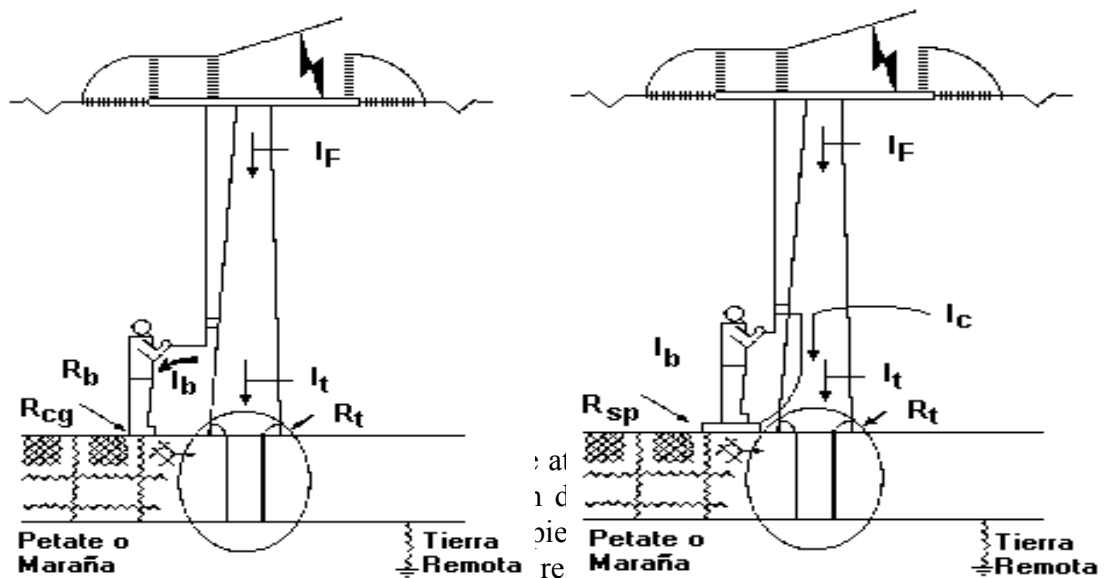


Probablemente, el ejemplo más común en potencial de contacto es el trabajador que opera y desconecta un interruptor con la probabilidad de falla en el interruptor sobre la estructura, dicha condición se muestra en la figura 73. En el lado izquierdo se muestra al trabajador poniendo su cuerpo en paralelo con la torre, por lo tanto una porción de la corriente de falla o I_F , será derivada atravesando su cuerpo, dicha corriente es inversamente proporcional a la resistencia en paralelo, el circuito eléctrico se muestra en la figura 74, en el lado izquierdo.

Con buenas conexiones a tierra, la resistencia del petate de torre a tierra o R_t , no debería exceder 0.0005Ω , la resistencia de contacto del operador a tierra o R_{CG} , debería tener un valor mínimo de 50Ω , basados en una resistividad para la tierra de $35 \Omega\text{-m}$ y asumiendo una corriente de falla de 50000 amperios, con estos datos la corriente atravesando el cuerpo del trabajador o I_b es, $50000 \cdot (0.0005/550)$ ó 45 mA, durante 500 milisegundos o 30 ciclos, el componente crítico en el sistema es R_t , ya que una mala conexión a tierra con una resistencia de 0.005Ω , pondrá en peligro al operador.

El lado derecho en la figura 73 muestra el método para reducir el potencial de contacto en el trabajador, el trabajador está parado sobre una plataforma pequeña de metal, la cual está conectada por medio de un cable con baja resistencia o R_C al manubrio, dicho método reduce el potencial entre las manos y pies del trabajador a prácticamente cero.

Figura 73. Operación de interruptor con y sin plataforma para operación

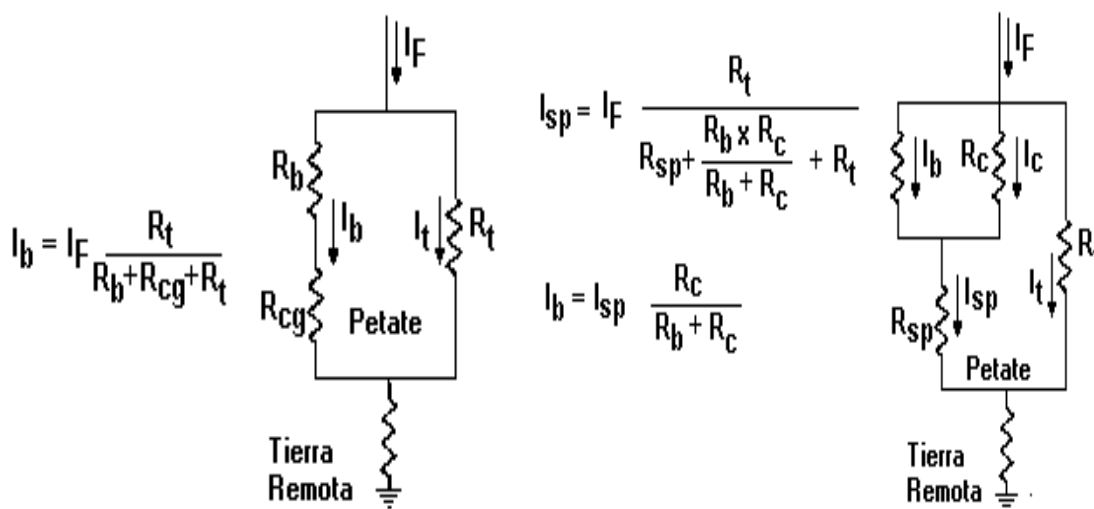


total o R_t de 0.0005Ω , y una resistencia de plataforma o R_{sp} de 1Ω , como el circuito eléctrico equivalente en el lado derecho de la figura 74, la corriente en la plataforma o I_{sp} es $50000 \cdot (0.0005 / 1.001) = 25$ amperios y la corriente atravesando el cuerpo o I_B será $50 \cdot (0.0005 / 500) = 25$ microamperios.

La corriente atravesando al cuerpo del trabajador se ha reducido en un factor de 2000 gracias a la plataforma metálica, la magnitud de R_T , R_c , y R_{sp} afectan a I_b , puesto que I_b incrementa conforme las anteriores resistencias incrementan, la peores

condiciones ocurren cuando R_c incrementa hacia el infinito, o sea una conexión interrumpida o rota, R_t llega a ser alta debido a la conexión rota con el petate para aterrizado, R_{sp} llega a ser cero debido a la baja resistencia con el petate para aterrizado, para cualquiera de las tres condiciones anteriores la corriente a través del cuerpo del trabajador se limita a valores seguros y cualquier daño en el cable en derivación puede detectarse.

Figura 74. Circuitos eléctricos equivalentes para falla en torre sobre el trabajador



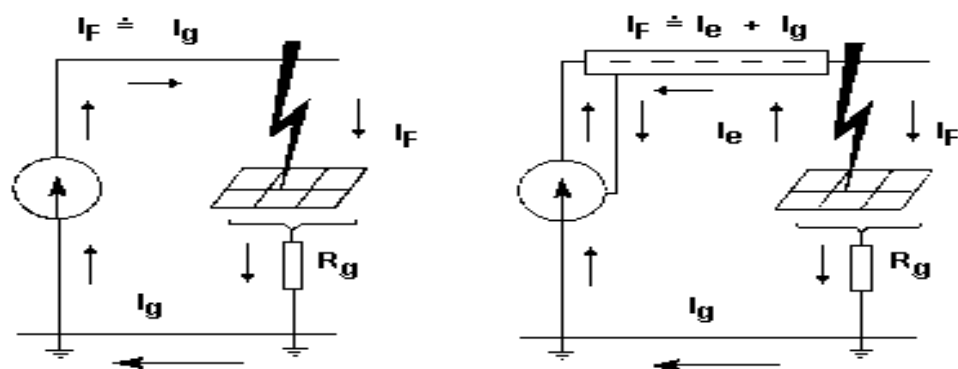
7.8 Circuitos para retorno de falla

Unas 3 ó 4 décadas atrás, mucha gente asumía que cualquier equipo aterrizado era seguro y por lo tanto se podía tocar crudamente, dicha concepción errónea contribuyó a varios accidentes trágicos. Una resistencia baja en una estación de trabajo no es por sí misma una garantía de la seguridad, puesto que, no hay una relación simple entre la resistencia en la tierra del sistema como un todo y la máxima corriente de choque a la que las personas están expuestas. Una estación con resistencia relativamente baja puede ser peligrosa bajo ciertas circunstancias, ya que la única excepción es el caso en donde $V = IR$, donde V es el producto del flujo máximo para

corriente de corto circuito en la tierra y la resistencia de la misma, lo cual representa un voltaje suficientemente bajo para hacer contacto.

Por ejemplo, si una subestación es alimentada por una línea aérea, entonces, un petate o maraña de baja resistencia es importante debido a que una substancial parte de la corriente total de falla entrará a la tierra, causando un aumento de potencial respecto al potencial local de tierra, como se muestra en el lado izquierdo de la figura 75, en la cual I_g representa la corriente en la tierra, I_F la corriente de falla inyectándose en la tierra.

Figura 75. Circuito para retorno en una línea aérea



Si una barra aislada o un cable alimentador enterrado bajo tierra se utiliza, la mayor parte de la corriente retorna a través de los cables directamente hacia la fuente, puesto que, dicho recinto metálico provee un patrón paralelo de baja resistencia hacia el retorno a tierra, en éste caso la subida de potencial en la tierra local es de menor magnitud, como lo muestra el lado derecho en la figura 75, en la cual I_g es la corriente

en la tierra, I_F la corriente de falla, e I_e la corriente creada a través de los recintos y cables actuando como enlaces metálicos.

Sin embargo, en otros casos, el efecto de una porción particular de la corriente durante una falla, la cual entra y satura la tierra en el rango que cubre el área de la estación debe ser adicionalmente analizado, ya que la geometría, la localidad de los electrodos para aterrizado, las características locales del suelo y otros factores, contribuyen a un gradiente de potencial excesivo en la superficie de la tierra, lo cual vuelve inadecuado al sistema a pesar de su capacidad para sobrellevar corrientes de falla.

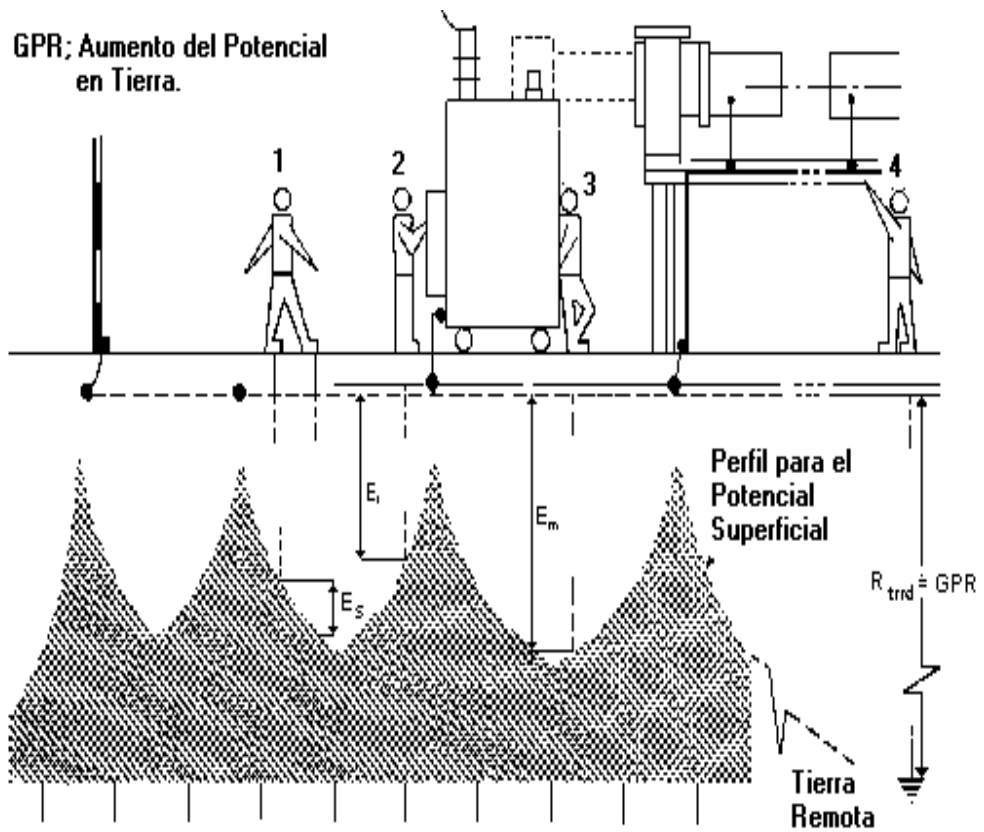
7.9 Situaciones comunes de choque eléctrico

El potencial de paso es causado por el flujo de corrientes de falla a través de la tierra, la cual tiene su propia resistencia, se define como la diferencia de potencial en la superficie de dos puntos en un tramo o trecho regularmente de un metro, los cuales son enlazados por los pies de una persona sin hacer contacto con otra estructura. Dicha situación se muestra en el inciso 1 de la figura 76, el potencial de contacto es causado por el flujo de corrientes durante una falla a tierra, estableciendo una diferencia de potencial entre los pies que están en contacto con la tierra o las manos en contacto con un equipo, como lo muestra el inciso 2 de la figura 76. El voltaje de malla es el peor de los potenciales de contacto dentro de una malla o rejilla para aterrizado cuando se está situado en el centro o cerca de la malla, como lo muestra el inciso 3 de la figura 76.

El inciso 4 de la figura 76 muestra el voltaje transferido, el cual es un caso del potencial de contacto que ocurre en un área remota, en donde el voltaje de choque se aproxima a la subida de potencial en tierra (GPR) de un electrodo para aterrizado. La transferencia de voltaje ocurre cuando una persona está parada dentro del área de una sub-estación y toca un conductor aterrizado en un punto remoto o viceversa. En ambos

casos, durante una falla el potencial resultante respecto a tierra se igualará al aumento total de voltaje en la rejilla para aterrizado que está conduciendo la corriente de falla, dicho potencial está por encima de los niveles encontrados en condiciones normales de potencial de contacto.

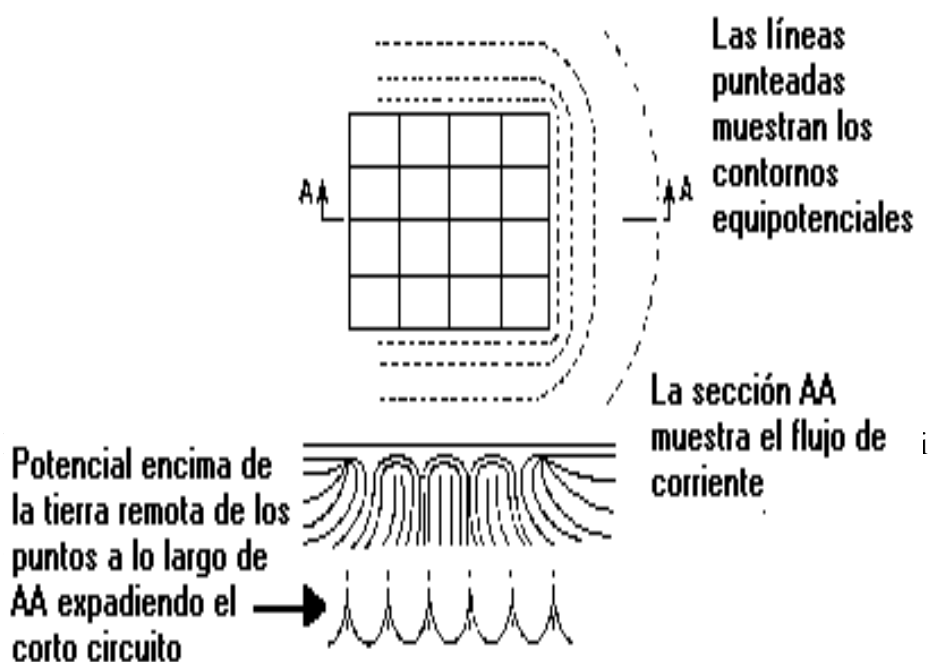
Figura 76. Situaciones básicas para choque eléctrico



7.10 Condiciones de peligro

En una falla a tierra, el flujo de corriente producirá gradientes dentro y alrededor de la estación, la figura 77 muestra el efecto en una rejilla para aterrizado rectangular en suelo homogéneo con un número de varillas para aterrizado en el perímetro. Un enfoque lógico para resolver el problema, es determinar las circunstancias que hacen posibles los choques eléctricos, una de ellas es la corriente de falla a tierra relativamente alta respecto a el tamaño del sistema de aterrizado y la resistencia de la tierra remota. Otra es la resistividad del suelo y la distribución del flujo causado por corrientes de falla, los que causan elevados gradientes de potencial en varios puntos sobre la superficie de la tierra. La presencia de un punto individual en un tiempo especificado, tales que el cuerpo enlaza dos puntos con una diferencia de potencial diferente.

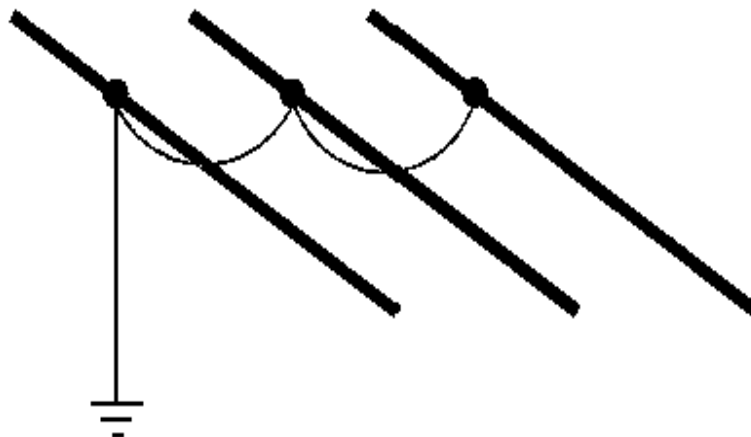
Figura 77. Corrientes y contornos equipotenciales de una rejilla para aterrizado



limitar la corriente que atraviesa el cuerpo a un nivel seguro bajo diversas circunstancias, la duración de la falla y el contacto del cuerpo, además cuánta corriente atraviesa el cuerpo durante el tiempo suficiente para provocar daño. Un pequeño estudio demuestra que es imposible prevenir en todo tiempo, lugar o condición, la presencia de voltajes que causarían peligro probable, pero una frecuencia relativa de accidentes de este tipo en la vida real, comparada con los accidentes de otras clases, es sin lugar a duda causada por la coincidencia de condiciones no favorables.

Como sea, ambos factores dejan a los ingenieros la responsabilidad de buscar la probabilidad más baja entre lo razonable, puesto que las fatalidades debidas a los gradientes ya han ocurrido. Afortunadamente, pueden ser reducidas a niveles suficientemente bajos siendo cautelosos y con un diseño inteligente. Debe recordarse que las barras para aterrizado cuando se trabaja en sistemas polifásicos se deben unir con un cable común a un punto común, ya que esto reduce el voltaje y minimiza la interacción de las fuerzas de latigüe provocadas por corrientes de falla en sistemas polifásicos sobre las barras para aterrizado, esto se muestra en la figura 78.

Figura 78. Método para ligar los aterrizados a las barras



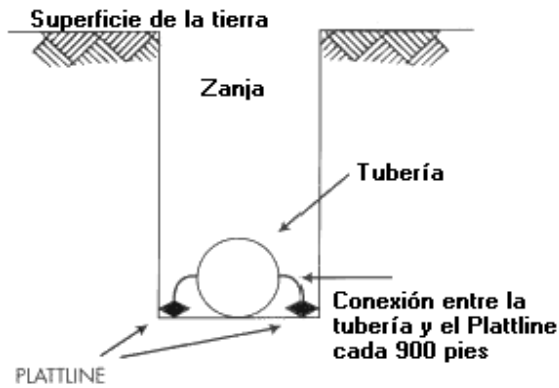
7.11 Mitigación en A/C

La tendencia en muchos países es el compartir terrenos con líneas de transmisión para alto voltaje con tuberías de diversos tipos, lo cual ha aumentado las líneas aéreas de alto voltaje en paralelo a tuberías bajo tierra como lo muestra la figura 79, lo cual ha requerido el aterrizado de dichas tuberías para la reducción de la interferencia electromagnética o EMI

En dichos sistemas, los voltajes alternos son transmitidos hacia la tubería por medio de la interferencia que puede ser conductiva o inductiva, la inducción magnética actúa a lo largo de la tubería que está en paralelo a la línea de potencia, causando potenciales en la tubería aún en distancia lejanas a la línea. Consideraciones se deben hacer respecto a la seguridad del personal que va a estar en contacto con la tubería, como lo pueden ser válvulas y estaciones de prueba, dichas estructuras pueden ser de peligro probable para un choque eléctrico ya que el suelo está a un potencial significativamente diferente.

Pero los avances en el control de la interferencia, han dado como resultado el método alambrado para control de gradiente, dicho método consiste de uno o más conductores desnudos de zinc puestos en paralelo y cercanos a la tubería, los cuales están regularmente conectados a un "Plattline", el cual es un listón de zinc utilizado para mitigar los potenciales sobre la tubería debidos a la interferencia conductiva e inductiva, como se muestra en la figura 80. Dichos listones sobrellevan las diferencias de potencial en la tubería y hasta el suelo, proveyendo protección catódica a la tubería.

Figura 80. Conexiones “Plattline” en la tubería



Es importante recordar que el uso y diseño de un alambrado para control de gradientes, depende de la estructura en las capas de tierra en el lugar, lo cual puede mejorar o empeorar su desempeño, respecto a la interferencia conductiva, los métodos alambrados para el control de gradiente amortiguan el aumento de potencial en el suelo cercano a las tuberías, mientras elevan los potenciales en la tubería, pero proveen voltajes de contacto reducidos y disminuyen la tensión producida por los voltajes en la cobertura de la misma, las rejillas para control de gradiente o petates para aterrizado aumentan los potenciales locales en tierra de la misma forma que los métodos alambrados para control de gradiente; dichas mallas, marañas o petates, se pueden elaborar de diversas formas pero la más común es la espiral, como en las figuras 81 y 82.

Figura 81. Vista en planta de la maraña en espiral para el control del gradiente

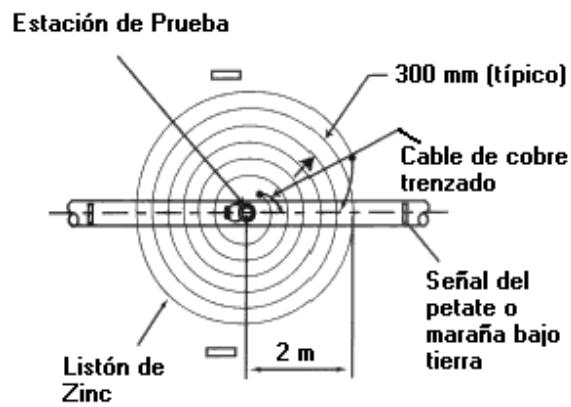
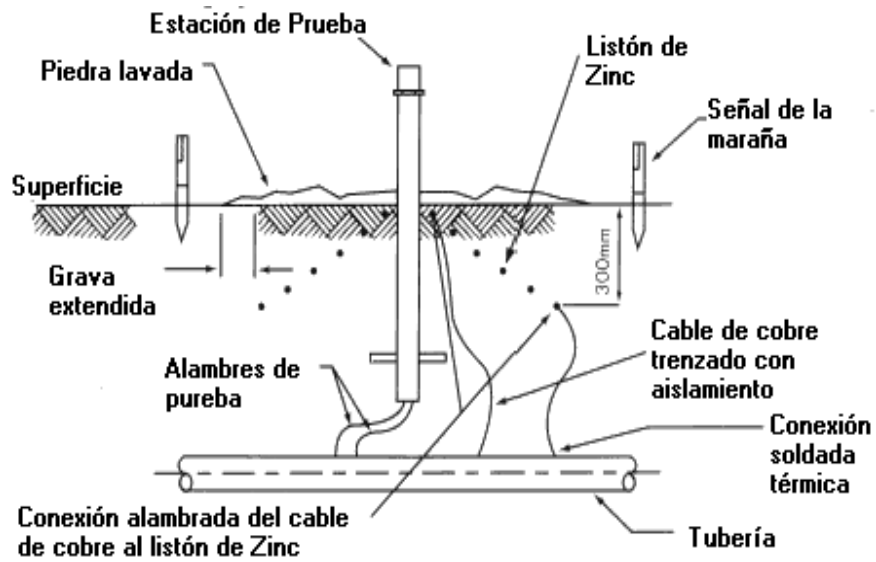


Figura 82. Vista en perfil de la maraña en espiral para el control de gradiente



Finalmente, durante condiciones de falla sobre la línea de potencia, el sistema debe asegurarse que los voltajes en la cobertura de la tubería permanezcan dentro de límites aceptables para no dañar la cobertura de acero en la tubería; dicho daño puede ocurrir en el rango de los 1000 a 2000 voltios para tuberías con cubierta de betún y en el rango de 3000 a 5000 voltios para tuberías con cubierta de polietileno.

7.12 El concepto completo

Como se muestra en la figura 83, la consola para los equipos de mezclado, está localizada en el centro de la estructura, la estructura tiene forma rectangular con un ancho de 30 metros y un largo de 100 metros, la consola de mezclado contiene una cantidad considerable de equipo electrónico sensible el cual está aterrizado a una red de tierra que interconecta el cuarto de amplificadores, el cual está atrás de la posición 12 en la figura 83; dicho cuarto está cercano a el escenario del auditorio (2 a 3 m).

En el cuarto de amplificadores se tienen estanterías para alojar a los amplificadores de potencia, los cuales alimentan a las bocinas que están bastante cercanas a dicho cuarto, con el fin de minimizar pérdidas en los cables que las alimentan y volverlos menos susceptibles al EMI tanto como a la RFI, ya que cables muy largos actúan como antenas captando interferencia electromagnética y de radio frecuencia .

Se debe tener en cuenta que los puntos donde se va a aterrizar deben estar cercanos a las estanterías que contengan equipos electrónicos y paneles de distribución de energía eléctrica, los paneles deben estar localizados lo más cercano posible a los equipos electrónicos que se alimentarán, con el fin de garantizar un tramo de fuerza eléctrica lo más limpio posible, es decir, alejado de circuitos de iluminación y fuerza, así como protegidos por tuberías de aluminio previamente aterrizadas en la red de tierra del circuito de fuerza, sin aterrizar en la red para equipos electrónicos.

Los receptáculos que rodean al escenario y el auditorio en general deben ser del tipo IG, este tipo de receptáculo utiliza un conductor de fase, un neutral y un conductor para aterrizado, los cuales van entorchados para minimizar el fenómeno de autoinducción en los cables de retorno. Además, los cables deben ser blindados y las tuberías de aluminio, las tuberías que lleven los cables para los circuitos de fuerza deben aterrizar solo en un extremo (al inicio o al fin de la tubería) y en la red de tierras para los circuitos de fuerza.

En los incisos 12 y 13, respectivamente, se puede ver la interconexión de los puntos de aterrizado lejanos para la estructura los cuales, sirven para aterrizar a los equipos electrónicos por aparte de los circuitos de potencia en la estructura, el objetivo es mantener un circuito de aterrizado para los equipos electrónicos lo más limpio posible de los circuitos ruidosos y sucios de las tomas de potencia. Ya que la estructura cuenta con alumbrado de vapor de sodio y mercurio y equipos de filtrado de agua por arco eléctrico, la red de tierra para los circuitos de fuerza drena una corriente rica en distorsión armónica, la cual afecta a los equipos electrónicos.

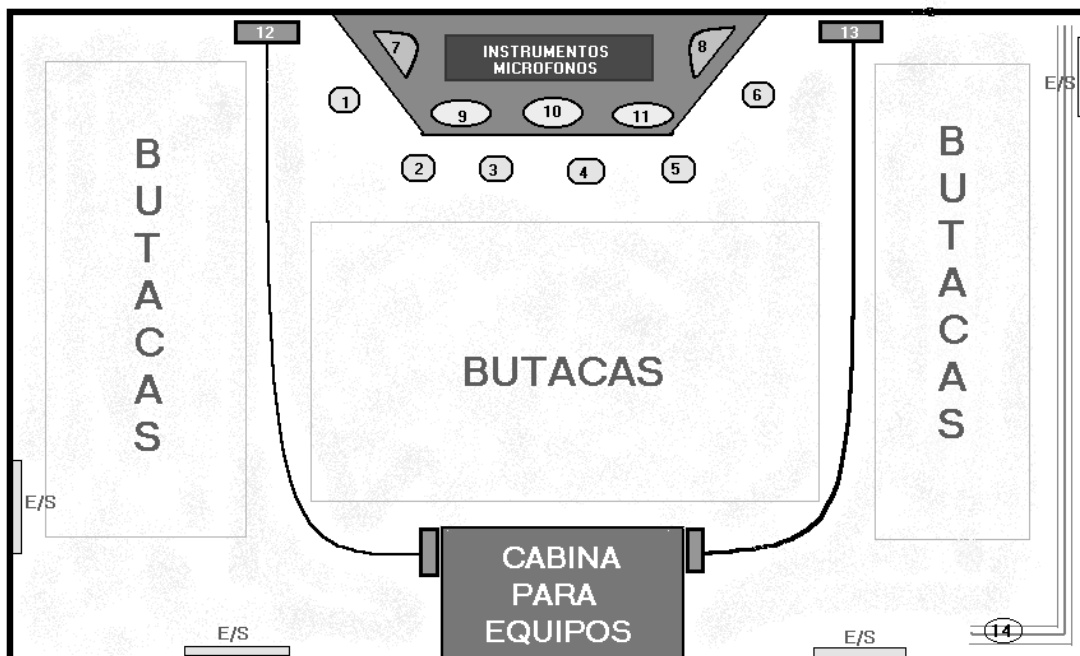
Los numerales del 1 al 11 representan las bocinas las cuales se subdividen en tres grupos principales, y son:

- Del numeral 1 al 6 son los parlantes que contienen las bocinas para tonos medios y tonos altos, los cuales son discriminados por medio de un “crossover” de tipo activo que está en la cabina para audio.
- Los numerales 7 y 8 representan los parlantes para tonos profundos o bajos los cuales, también son discriminados por el “crossover” que está en la cabina para audio; cada numeral contiene dos “Sub-woofer”, los cuatro se alimentan de dos amplificadores distintos (2 por amplificador de potencia).

- Los numerales 9, 10 y 11 representan el conjunto de parlantes monitores, los cuales le permiten al cantante o al músico percibir como está saliendo el sonido de las voces e instrumentos que ellos ejecutan y están alimentados por un preamplificador en el cuarto de amplificadores.
- El numeral 12 representa la interconexión de dos redes de tierra que rodean la cabina para audio y el cuarto de amplificadores, pero al mismo tiempo representa la ruta que sigue el arnés de cables telescópicos de tipo balanceado o diferencial es conocido como “snake”, dicho arnés va por vía aérea entremetido en la estructura del techo, desde la cabina para audio, hasta el cuarto de amplificadores y del escenario hacia la cabina para audio.
- Las butacas son plásticas lo cual permite absorber el rebote de las ondas sonoras contra el piso, pero sería mejor que fueran de madera forrada con esponja y cuero, con el fin de minimizar los efectos de la reverberación ya que el piso es de granito. Se debería tener un piso de madera seccionado el cual absorbe el sonido, evitar paredes de área grande, si se tienen paredes grandes puede utilizar cortinas las cuales evitan el rebote de las ondas sonoras. Todo esto conlleva un compromiso entre lo estético, lo técnico y lo económico.
- El numeral 14 representa un aislante acústico instalado alrededor de las paredes de la estructura, dicho aislante consiste de una cobertura conocida como tabla-yeso que está cubierta con cernido plástico, dicho cernido permite mejorar el coeficiente de absorción para el sonido, lo cual minimiza la reverberación y evita problemas con los habitantes en los alrededores del lugar atenuando considerablemente el sonido que atraviesa la estructura.

- La mayoría de las bocinas están instaladas en forma aérea y son direccionales, esto quiere decir que tienen un ángulo de abertura que no se debe traslapar para evitar la cancelación de frecuencias audibles en el auditorio y por el cual el sonido es propagado, dicho ángulo de abertura es comparable con la directividad de una antena parabólica la cual concentra la mayor parte de la potencia transmitida en un lóbulo determinado por dicho ángulo. Los “Sub-woofer” deben ser, preferiblemente instalados en el piso debido al fuerte golpe que dan cada vez que desalojan el aire de su cámara acústica interna; de no ser posible, los montajes de dichos parlantes deben ser amortiguados para evitar fisuras o vibración en el concreto o acero de la estructura.

Figura 83. Bosquejo de la instalación



7.13 Entrada de servicio

Es el circuito que alimentará a los amplificadores, instrumentos y cabina de sonido, se utilizan no solo las protecciones concernientes sino también un transformador para aislamiento, del inglés “Step down isolation transformer”, este transformador contiene un escudo de Faraday, el cual es aterrizado en el punto de la tierra técnica principal, dicho transformador alimenta el panel principal de distribución para equipos. En el escudo de Faraday del transformador se conectan: la carcasa del transformador, el neutral y los electrodos de tierra, todos ellos juntos.

El transformador previamente aterrizado alimenta los paneles principales de interruptores o seccionadores en la instalación, dicho transformador constituye el punto común de unión para todos los sistemas de aterrizado. A partir del tablero de seccionadores, el cual es posterior al transformador, la tierra aislada comienza.

7.14 Paneles para equipos

La manera de alambrear los paneles para equipos electrónicos es utilizar una barra para aterrizar los equipos, la cual pasa a través de cada panel pero está aislada de los mismos para mejorar la segmentación de los equipos, luego los dispositivos alojados y alimentados en cada panel tienen conductores para aterrizado aislados que salen del panel y se conectan a esta barra común para aterrizado, pero aislada con respecto a cada carcasa de los paneles.

7.15 Estanterías y unidades técnicas

Cada receptáculo o tomacorriente debe ser alambrado en una barra para aterrizado aislada, la cual se localiza en cada estantería o “rack”, dicha barra para aterrizado está unida con la estantería por medio de una junta removible, dicha junta removible es importante cuando se realizan pruebas en la instalación ya que permite desconectar la estantería del bus común para aterrizado.

La barra para aterrizado aislada es conectada a través de un conductor para aterrizado aislado de regreso hacia el panel de alimentación, el cual va junto con los conductores de fase y neutrales de los receptáculos o tomacorrientes. Normalmente, se especifica una caja terminal localizada a unos cuantos pies de las estanterías para equipos, la cual no debe tocar las estanterías, el camino o ruteo desde la caja terminal de las estanterías se puede hacer con PVC o alambre forrado con hule.

Nótese, que se debe tener mucho cuidado para garantizar que las estanterías para equipos electrónicos estén aisladas de otros elementos conductivos de la estructura, lo cual se logra asentándolas en bases no conductoras o cimientos aislantes, luego todos los tubos entrantes y cables para señal se deben separar un mínimo de 4 pulgadas entre cada estantería.

La estantería completa es aterrizada por un conductor único, esto significa que cualquier anillo de tierra que resulte en la estantería, será debido a los anillos de tierra entre diversas piezas de equipo electrónico, los cuales serán pequeños y necesariamente contenidos dentro de la estantería, produciendo problemas insignificantes. El conductor que aterriza las estanterías es un AWG # 8 y tiene una distancia máxima de 15 pies, hasta el tablero que alimenta las estanterías.

7.16 Receptáculos en las paredes

El conductor aislado para aterrizado simplemente entre en la caja del receptáculo y termina en la terminal aislada para aterrizado del receptáculo dúplex o de cables entorchados. En algunos casos es recomendable el rutear un cable no aislado para aterrizar la caja en la cual el receptáculo está montado, se debe recordar que la caja para montura del receptáculo no es parte del sistema técnico para aterrizado, pero como sea, el NEC exige que dichas cajas estén aterrizadas.

Normalmente, en donde se utiliza tubería conduit de tipo metálico para rutear los cables, es suficiente con permitirle al conduit el proveer el aterrizado para las cajas. Este no es el caso en donde alambre blindado flexible se utiliza, en este caso, un alambre conductor no aislado debe utilizarse para aterrizar las cajas, no importando si la instalación está ruteada con conduit metálico o no.

Obviamente, el sistema será más seguro si se provee el cable no aislado y además se utiliza conduit metálico para mejorar el patrón de aterrizado en las cajas. Un detalle que se debe recordar, es cuando se tienen receptáculos dúplex a más de 30 pies de un panel de distribución.

Por ejemplo, a lo largo de la pared de un cuarto de control o en los lados del escenario. En este caso, podría darse el caso de tener una gran cantidad de equipo electrónico alimentado por dos circuitos separados, los cuales tienen tierras separadas. Si se producen anillos de tierra entre los equipos, el área anular del anillo de tierra será demasiado larga. Por esta razón, se requiere que donde haya receptáculos dúplex instalados a una distancia mayor a 30 pies de un panel para distribución, se rutee un conductor grueso para aterrizado con el propósito de aterrizar cada uno de los receptáculos duplex.

La selección de los cables aislados para aterrizado desde la entrada del servicio hacia el panel principal de distribución, y del panel principal hacia cada sub-panel se basa en los requerimientos de aterrizado. Los tomacorrientes o receptáculos que alimenten a los equipos de la cabina para audio y el cuarto de amplificadores deben traer un filtro toroidal de rechazo, dicho filtro aísla la interferencia producida por cada equipo, evitando con ello que la interferencia producida o captada por un equipo se transmita por medio de los circuitos de alimentación a otros.

7.17 Ruteo de cables, tubería y pruebas

- En ningún momento se debe combinar conduit metálico de diferentes sistemas, es decir, los conduit para potencia A/C no deben rutearse a una distancia menor a $\frac{1}{2}$ m de cualquier conduit que lleve cables para señal (micrófonos, líneas, intercomunicadores, video, etc), esto es cuando corren en paralelo y con una longitud mayor a 2 metros.
- Los conduit que llevan líneas para micrófonos y video, no deben rutearse a una distancia menor a $\frac{2}{5}$ m de cualquier conduit que transporte líneas de potencia A/C de alimentación, esto es cuando corren en paralelo y con una longitud mayor a 2 metros.
- Los conduit que lleven cables de intercomunicadores, parlantes y control, no deben rutearse a una distancia menor de $\frac{1}{5}$ m de cualquier conduit que lleve cables de potencia A/C de alimentación, esto es si corren en paralelo y tienen una longitud mayor a 2 metros.
- Si se necesita rutear un conduit que lleve conductores de potencia de un lado del escenario hacia el otro (izquierda a derecha), se deben rutear a una distancia del piso del escenario no mayor a $1\frac{4}{5}$ m, y no menor a $\frac{1}{5}$ m. Se pueden rutear

paralelamente, sí se utiliza conduit rígido y en distancias no mayores a 2 metros de longitud.

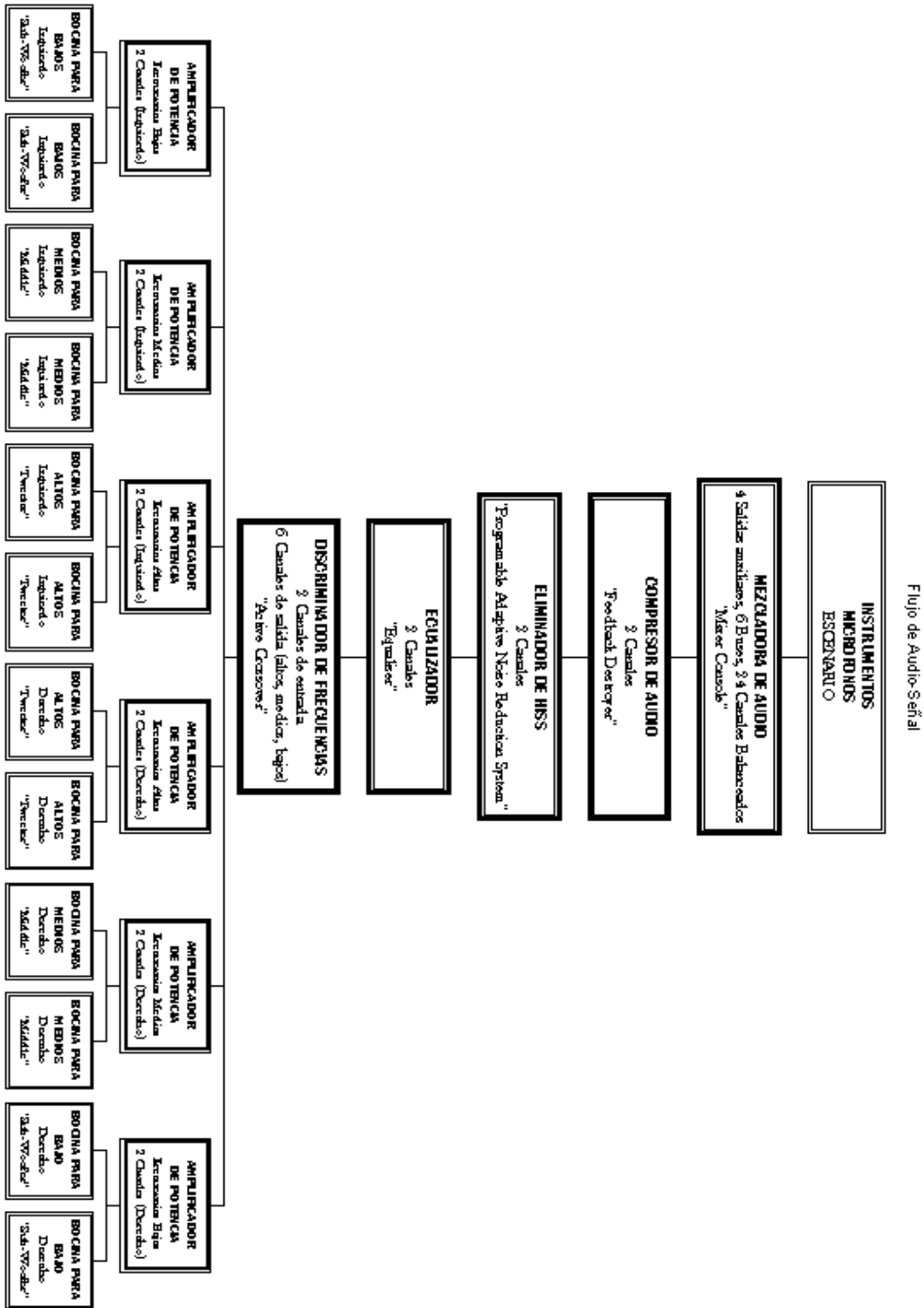
- Pruebe todas las terminaciones de los circuitos, inspeccionando si tienen la fase correcta, el neutral y el alambrado adecuado para aterrizado.
- Con los sistemas no alimentados y con el punto común de unión removido, la tierra IG debe estar aislada o flotante, respecto a la tierra de fuerza en la estructura.
- Con los sistemas no alimentados y el punto común para unión del neutral removido, el neutral debe estar aislado o flotante respecto a la tierra de fuerza en la estructura.

7.18 Equipo para audio

El equipo para tratar señal de audio consta de varios módulos que permiten tratar la señal por nivel de volumen, banda de frecuencia, mezclado de frecuencias, ecualización de las bandas de frecuencia y reducción de ruidos.

El primer módulo consiste de los micrófonos inalámbricos y los instrumentos con una interfase inalámbrica, los cuales envían la señal a la consola mezcladora. Cada micrófono e instrumento maneja una frecuencia en la banda de UHF la cual debe ser diferente con el fin de evitar la cancelación de frecuencias en un mismo canal y la interferencia mutua entre micrófonos e instrumentos. Los micrófonos no son de tipo radial u omnidireccionales, esto quiere decir que perciben la señal solamente cuando están en dirección a la boca de la persona que está hablando, los instrumentos requieren de cajas directas para acoplarlas a la consola de mezclado, dependiendo si la consola admite entradas directas o no.

Figura 84. Equipos para audio



La consola mezcladora es el segundo módulo de la jerarquía, su fin es el conmutar todos los canales de entrada contra dos canales comunes de salida, estos canales de salida obedecen a un control general de ganancia el cual se gradúa en la consola y que es conocido como “fader”, la consola tiene control de volumen y ecualización para cada canal; además, los canales pueden ser agrupados en buses de canales los cuales vienen en la consola y permiten agrupar la totalidad de canales en un solo bus, o distribuirlos conforme se desee en los 4 buses individuales que la consola trae. La función principal del bus es el graduar el volumen de un conjunto dado de canales independientemente del volumen individual en cada canal, sin afectar la ecualización individual de cada canal.

La consola debe tener sus canales de entrada balanceados para rechazar las señales de ruido de modo común, además debe ofrecer una cantidad de canales auxiliares capaz de cubrir diferentes tomas de audio para equipo monitor, con el fin de controlar la salida de audio que la gente sobre el escenario escucha.

El tercer módulo de la jerarquía es el compresor de compuerta para audio, este equipo tiene la finalidad de destruir la retroalimentación de sonidos repetitivos causados generalmente por instrumentos de percusión deteriorados y micrófonos en movimiento. El compresor de compuerta permite controlar los canales de audio, es decir, que los abre si y solo si, la señal de audio tiene cierto nivel de potencia el cual es determinado por el técnico de audio de acuerdo a los niveles de señal que la persona o instrumento tengan respectivamente.

El cuarto módulo es el eliminador de “hiss”, este equipo permite separar las bandas de frecuencia de la señal de tal manera que ruido que pudiera provenir de cables flojos, malas conexiones y ruido térmico, sea eliminado con la consecuente purificación de la señal de salida, la cual contendrá un espectro de ruido angosto y de baja amplitud.

El ecualizador es el quinto módulo de la serie, su objetivo es el igualar la potencia de salida de las diferentes bandas de frecuencia provenientes del eliminador de “hiss”, el espectro de frecuencia se ajusta dependiendo de la instalación en donde esté el equipo, para ajustarlo se utiliza un analizador de espectro. El analizador de espectro es un equipo que inyecta ruido rosa en el sistema de audio y permite medir que tanta potencia tiene cada banda de frecuencia dependiendo de las señales que el mismo reciba de los parlantes del equipo. Dicho equipo nos permite graduar la escala del ecualizador para compensar cada banda de frecuencia y así igualar o ecualizar el espectro de frecuencia en la instalación.

El sexto módulo es el discriminador de frecuencias, dicho equipo es básicamente un filtro pasa bajos, pasa bandas y pasa altos, el cual funciona de manera programable y permite seleccionar la gama de frecuencias para cada banda según las necesidades del lugar o las especificaciones de los parlantes y amplificadores a utilizar, este equipo no permite que las bocinas en los parlantes vibren a frecuencias para las cuales no han sido diseñadas. El discriminador tiene 2 canales de entrada y 6 canales de salida (2 canales bajos, 2 canales medios, 2 canales altos), los cuales se conectan a cada conjunto de amplificadores de potencia. Cada amplificador de potencia tiene 2 canales de salida, capaces de manejar un número de bocinas que en paralelo igualen la impedancia de salida del amplificador o que sus potencias sumen la potencia de salida del amplificador.

Se requerirá una cantidad de amplificadores proporcional al número de parlantes que se deseen en la instalación y se debe procurar no mantener a los amplificadores en estado de saturación por lo que se aconseja comprarlos de una potencia un poco mayor a la potencia a la que realmente van a trabajar, para disminuir la distorsión creada al trabajar a cada amplificador sin una holgura.

7.19 Análisis económico

Tabla XII. Elementos de una red para aterrizado y costos.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO (Q.)
Molde "THERMOWELD" GT (CR-2) 2/0	1	1033.00
Molde "THERMOWELD" SS (CC-1) 2/0	1	1033.00
Molde "THERMOWELD" TA (CC-2) 2/0	1	1033.00
Molde "THERMOWELD" XA (CC-4) 2/0	1	1033.00
Tenazas "THERMOWELD" para CE y R	1	633.33
Encendedor "THERMOWELD"	1	66.67
Limpiador de Molde "THERMOWELD" de #90 a #115	1	80.00
Cepillo para Cable "THERMOWELD"	1	433.33
Carga 45 "THERMOWELD"	1	25.15
Carga 65 "THERMOWELD"	1	43.13
Carga 90 "THERMOWELD"	1	64.00
Máquina para cinta "BANDIT"	1	1066.67
COSTO DE MATERIALES:		Q. 6545.60
COSTO TOTAL		Q. 7850.00

Para dicho análisis se tomará como base el diseño de una red para aterrizado de 5 m², con cuatro electrodos de tierra, cable de cobre No. 2/0 AWG y conectores soldados "Cadweld", colocando caja de registro en cada varilla.

Una acometida de tierra con una longitud no mayor de 15 metros, la instalación se hará con tubo PVC y cable de cobre No. 2/0 AWG, además de la medición de la resistencia de tierra con equipo digital, pero no se incluyen trabajos de obra civil, si fueren necesarios tales como, rompimiento en piso de concreto y restitución de concreto, los cuales se evalúan en base a la dificultad del trabajo.

Con los costos por supervisión del trabajo, mano de obra y suministro de los materiales a la localidad del trabajo, el costo final asciende a Q. 7850.00.

Tabla XIII. Equipo básico para audio

COMPONENTES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL
Consola mezcladora 24 entradas balanceadas y 2 canales de salida "MIXER CONSOLE"	1	Q. 6350.00	Q. 6350.00
Ecuilizador de 16 ó 18 bandas, (uno por cada canal de salida) "EQUALIZER"	2	Q. 2380.00	Q. 4760
Discriminador de frecuencias (de tres vías) "ACTIVE CROSSOVER"	1	Q. 3000.00	Q. 3000.00
Amplificador de potencia con 2 canales de 400 W, RMS cada canal. "POWER AMPLIFIER"	5	Q. 7800.00	Q. 39000.00
Parlante para frecuencias medias y altas de 400 W, RMS. "LOUDSPEAKER"	6	Q. 5000.00	Q. 30000.00
Parlante para frecuencias bajas de 400 W, RMS. "SUB-WOOFER"	4	Q. 4500.00	Q. 18000.00
Arnés para 24 cables (culebra o medusa) "SNAKE"	1	Q. 4400.00	Q. 4400.00
Regulador de voltaje con filtro a la salida (120/240) "LINE CONDITIONER"	1	Q. 2500.00	Q. 2500.00
Estantería para equipo con junta para aterrizado removible "RACK" (with <i>removable ground jumper</i>)	3	Q. 600.00	Q. 1800.00
Micrófono (unidireccional) "MICROPHONE"	7	Q. 360.00	Q. 2520.00
Micrófono (ambiental) "MICROPHONE"	3	Q. 280.00	Q. 840.00
Caja directa pasiva "PASIVE DIRECT BOX"	14	Q. 11.00	Q. 148.00
Metros de cable para audio señal "ARMoured AUDIO SIGNAL WIRE"	50 metros	Q. 11.00 c/m	Q. 550.00
Bocinas monitoras "MONITOR SPEAKERS"	3	Q. 900.00	Q. 2700.00
Amplificador de baja potencia para bocinas monitoras " MONITOR PRE-AMPLIFIER"	1	Q. 5091.00	Q. 5091.00
Pedestal para micrófonos	10	Q. 212.00	Q. 2120.00
TOTAL A PAGAR POR EL EQUIPO:		Q. 123779.00	

CONCLUSIONES

1. Los equipos diferenciales permiten mejorar la relación señal a ruido en los equipos de audio, ya que rechazan el ruido de modo común.
2. La segregación de equipos es un método efectivo para controlar puntos sensibles al ruido en una instalación que contenga diversidad de equipos electrónicos sensibles al mismo.
3. El blindaje telescópico y el filtrado entre módulos mejoran la protección contra la **interferencia de radio frecuencia o RFI** y la **interferencia electromagnética o EMI**.
4. El balanceo de líneas para potencia A/C permite rechazar mejor el ruido en los equipos interconectados.
5. La utilización de receptáculos IG permite tener aisladas la línea neutral respecto a la línea para aterrizado, lo cual evita que las carcasas en los equipos electrónicos creen anillos de tierra durante régimen permanente, descargas electroatmosféricas o fallas a tierra.

RECOMENDACIONES

1. No deben interconectarse equipos no balanceados con equipos balanceados, ya que puede empeorar la relación de señal a ruido lograda con los equipos balanceados.
2. Alejar los conductores para potencia hasta donde sea posible de las líneas para transmisión de señales de audio. De no ser posible, asegurarse de que el blindaje de los cables realmente sea efectivo a la proximidad respectiva.
3. Se deben utilizar técnicas de segregación de equipos, las cuales dictan procedimientos para agrupar equipos de acuerdo a su uso y tipo; esto permite detectar y aislar con mayor facilidad equipos con problemas de ruido y protección.
4. No alimentar equipos sensibles con receptáculos estándar los cuales permiten la existencia de anillos de tierra y circuitos de retorno para señales no deseadas durante una falla en la instalación. La mejor opción sería utilizar receptáculos o tomacorrientes IG, que tengan incorporados filtros toroidales para filtrar RFI y EMI, con esto se logra que la interferencia de un equipo no invada a otro alimentado en el mismo circuito, además provee la protección y aterrizado necesario en caso de falla o drenaje de ruido respectivamente.
5. Evitar los anillos de tierra en cualquier instalación y las inyecciones de ruido en los sistemas sensibles debidas ha alimentadores con mal filtrado en las salidas,

se debería utilizar fuentes de alimentación con potencia A/C balanceada, para drenar el ruido a una red de tierra, antes de alimentar un equipo electrónico.

6. Implementar dos redes de tierra separadas, una para equipo electrónico y otra para los circuitos de fuerza en la instalación; dichas tierras deben utilizar un dispositivo especial que consta de dos electrodos, los cuales mantienen a las dos redes separadas en funcionamiento normal para evitar la inducción que ofrece la red de tierra para los circuitos de fuerza, sobre la red de equipos electrónicos. Cuando hay una descarga electroatmosférica, el par de electrodos se unen eléctricamente para mantener a las dos redes de tierra al mismo potencial, con el fin de proteger a los equipos electrónicos, los cuales son los más sensibles.
7. Las tuberías que lleven cables para potencia y para señal, deben ser metálicas y de preferencia en aluminio, ya que el aluminio es más permeable que el conduit metálico normal. Las tuberías deben estar aisladas con un accesorio especial en el punto de inicio de la ruta o entubado, pero deben estar aterrizadas al final del entubado en la red de tierra para circuitos de fuerza, esto se hace para drenar la interferencia adquirida durante el viaje desde el panel de distribución hasta los equipos que se alimentan.
8. Los cables de potencia deben ser del tipo blindado, para minimizar el EMI inyectado en los cables para control y señal cercanos a la tubería que lleva conductores de potencia, los cables de potencia se deben entorchar para minimizar el área anular, lo cual permite reducir la inductancia mutua entre cables, la reducción de la inductancia conlleva la reducción de la impedancia, lo cual permite a los conductores llevar más corriente. Además, la reducción de la inductancia permite que las protecciones contra sobrecarga actúen más rápido, es decir, que la corriente fluye más libre, de esta manera cuando hay una sobrecarga los interruptores son más sensibles a los cambios de la corriente.

9. Es necesaria una acometida dedicada al edificio de la iglesia, ya que se tiene una acometida que alimenta a tres edificios diferentes y una sección de oficinas, estos contienen una cantidad considerable de equipo electrónico variado (Computadoras, impresoras, fotocopiadoras, UPS) e iluminación de descarga (Vapor de sodio, fluorescente), los cuales son responsables de un 30 por ciento de la distorsión armónica total en el neutro. Se recomienda utilizar en la acometida de la iglesia un **TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO PARA FILTRAR RUIDO(CON ESCUDO FARADAY)**, dicho transformador tiene una pantalla de protección electrostática, la cual funciona como supresor de transientes, dando protección contra sobretensiones y picos de voltaje. Este transformador, brinda también una atenuación de 120 dB, para ruido en modo común y de 60 dB para ruido en modo transversal.
10. Se debe utilizar un filtro para ruido, en el circuito de fuerza que alimenta la cabina con equipos de audio y el cuarto de amplificadores. Este permite filtrar los transientes producidos por las lámparas de descarga durante el encendido y filtrar los armónicos creados por el equipo de computación y fotocopiadoras en funcionamiento.
11. El circuito dedicado para alimentar los equipos de audio y amplificadores, tienen prohibido contener circuitos de iluminación fluorescente, de descarga (vapor de sodio y mercurio), equipo no lineal (computadoras y accesorios electrónicos), tampoco, agregue iluminación incandescente; ya que aunque es lineal, adhiere carga a los conductores.
12. Revisar la secuencia de conexión en todos lo receptáculos IG o tomacorrientes polarizados, ya que todos deben tener la misma secuencia para evitar los anillos entre tomas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ENGINEERING HARMONICS**; [http:// www.engineerharmonics.com](http://www.engineerharmonics.com); marzo 2000.
2. **RANE CORPORATION**; [http:// www.rane.com/library.htm](http://www.rane.com/library.htm); marzo 2000.
3. **LEM INSTRUMENTS**; [http:// www.lemstruments.com](http://www.lemstruments.com); marzo 2000.
4. **LYNCOLE**; [http:// www.lyncol.com](http://www.lyncol.com); marzo 2000.
5. **RADIOWORKS**; [http:// www.radioworks.com](http://www.radioworks.com); marzo 2000.
6. **TRINITY SOUND COMPANY**; [http:// www.trinitysoundcompany.com](http://www.trinitysoundcompany.com); marzo 2000.
7. **USBR**; [http:// www.usbr.gov/power/data](http://www.usbr.gov/power/data); marzo 2000.
8. **FARWEST**; [http:// www.farwest.com](http://www.farwest.com); abril 2000.
9. **PRO AUDIO NEWS**; [http:// www.conpub.com.au](http://www.conpub.com.au); abril 2000.
10. **HUM & PIN**; [http:// www.peavey.com](http://www.peavey.com); abril 2000.
11. **Equi=Tech**; [http:// www.equitech.com](http://www.equitech.com); abril 2000.