



**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ACÚSTICA**

*Profesor Patrocinante
Jorge Cárdenas Mansilla
Instituto de Acústica
Universidad Austral de Chile*

*Profesor Informante
George Sommerhoff Hyde
Instituto de Acústica
Universidad Austral de Chile*

*Profesor Informante
José Luis Barro Rojas
Instituto de Acústica
Universidad Austral de Chile*

**SEÑALES DE RUIDO Y OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE
AUDIO**

*Tesis presentada como parte de los requisitos
para optar al grado de Licenciado en Acústica
y al título profesional de Ingeniero Acústico.*

**CLAUDIO ENRIQUE PEDEMONTE SOLANICH
VALDIVIA – CHILE
2006**

*A mi madre
por su apoyo y paciencia*

¡¡¡Grande Vieja!!!!

ÍNDICE

	Página
1.- Resumen	1
1.1.- Abstract	1
2.- Introducción	2
3.- Objetivos	5
3.1.- Objetivos Generales	5
3.2.- Objetivos Específicos	5
4.- Conceptos generales	6
4.1.- Ruido	6
4.2.- Ruido Propio de un Equipo	6
4.3.- Interferencia o EMI	9
4.4.- Tierra	10
4.4.1.- Tierra de protección.	10
4.4.1.1.- Funcionamiento	12
4.4.2.- Tierra Técnica.	14
4.5.- Pin 1	15
4.6.- Tipo de señales.	15
4.6.1.- Señales de tipo Desbalanceado o de único extremo	15
4.6.2.- Señales de modo diferencial	17
4.6.3.- Señales de modo común	18
4.7.- Circuitos Balanceados	18
4.8.- Circuitos Desbalanceados	19
4.9.- Proporción de Rechazo de Modo Común	19

5.- Problemas de Interferencias en circuitos	21
5.1.- Problemas de Interferencia electromagnética – EMI	21
5.1.1.- Acoplamiento Inductivo o Magnético	21
5.1.2.- Acoplamiento Capacitivo	25
5.1.3.- Radiación Electromagnética y Acoplamiento directo	28
5.1.4.- Acoplamiento Conductivo	30
5.2.- Loops de Tierra	32
5.3.- Problema del PIN 1	34
5.4.- Inducción de Ruido por Corriente en el Escudo (SCIN)	36
6.- Reducción de Interferencia en los Sistemas de Audio	37
6.1.- Sistema de distribución de Energía y Tierra de Seguridad	37
6.1.1.- Tipo de Sistemas de Distribución de Energía	38
6.1.2.- Conexión a Tierra del Sistema de Distribución de Energía	39
6.1.3.- El sistemas de Electroodos de Tierra	41
6.1.4.- Sistema de Tierra Técnico Estrella Aislado	43
6.1.5.- Sistema de Distribución de Energía Balanceado	49
6.1.6- Mejorando la Calidad de la Energía	52
6.1.6.1.- La supresión de sobretenciones	54
6.1.6.2.- UPS, Equipos de suministro continuo de energía	55
6.2.- Escudos	56
6.2.1.- Escudos Eléctricos	57
6.2.1.1.- Conexión a Tierra de los Escudos Eléctricos.	58
6.2.2.- Escudos Magnéticos	63
6.3.- Interconexiones	65
6.3.1.- Conexión por medio de un cable de dos conductores escudados	67
6.3.1.1.- Salida balanceada dirigida a entrada balanceada	68
6.3.1.2.- Salida desbalanceada dirigida a entrada balanceada	69
6.3.1.3.- Salida balanceada dirigida a entrada desbalanceada	70
6.3.1.4.- Salida desbalanceada dirigida hacia entrada desbalanceada	71
6.3.2.- De la teoría a la práctica	71

6.3.2.1.- Aislamiento de las conexiones desbalanceadas	73
6.3.2.2.- El ensamble especial de cables	74
6.3.2.3.- Que extremo del escudo conectar	79
6.3.2.4.- Los elevadores de tierra (Ground Lift)	81
7.- Optimización del sistema de ganancia del sistema	82
7.1.- Estructura de ganancia de sistemas	82
7.2.- Pads o red de atenuación fija	86
8.- Optimización de un Sistema de Audio	88
8.1.- Materiales y Métodos	88
8.1.1.- Materiales	88
8.1.2.- Montaje	89
8.1.3.- Determinando el Rango Dinámico	91
8.1.4.- Mediciones	96
9.- Resultados y Conclusiones	98
10.- Bibliografía	100

1.- Resumen

En este trabajo se presentan las principales causas de ruido eléctrico en los circuitos e interconexiones de los sistemas de audio y la forma de reducirlos o eliminarlos optimizando así el rango dinámico. Primero se introducen los conceptos de ruido, interferencia electromagnética, tierra de protección y tierra técnica. Luego se describen los mecanismos de acoplamiento de interferencias en los circuitos eléctricos de forma general y los casos particulares de los sistemas de audio. Después se explican los métodos y consideraciones para reducir el acoplamiento de interferencias en los circuitos e interconexiones de los sistemas de audio comenzando por el sistema de alimentación, siguiendo con el concepto de escudo electromagnético y sus aplicaciones hasta llegar a la forma de realizar interconexiones entre los diferentes tipos de entradas y salidas de equipamiento. Finalmente se describe el procedimiento realizado para optimizar el rango dinámico de un montaje práctico de un sistema de refuerzo sonoro.

1.1.- Abstract

In this work are presented the most important causes of electric noise in audio systems circuits, the way to reduce or eliminate them, optimizing the dynamic range in this form. First the concepts of noise, electromagnetic interference, protection grounding and technical grounding are introduced. Then the general form of mechanisms of coupling interferences in the electric circuits and the particular cases of audio systems are described. The methods and considerations to reduce the coupling of interferences in audio systems circuits are explained, beginning by the power supply system, keeping on the concept of electromagnetic shield, his applications and the way to achieve interconnections between the different equipment in/output. Finally is described the accomplished procedure to optimize the dynamic range of a practical set-up reinforcement sound system.

2.- Introducción

¿Quien no ha tenido la experiencia de asistir a presenciar un espectáculo musical o de otra índole, en el que hay un sistema de refuerzo sonoro involucrado y antes de que comience el espectáculo, el sistema ya presenta un ruido percible como un zumbido que se escuchará de forma molesta durante todo el desarrollo del espectáculo o presentación? Sin embargo habrá personas con un sentido de audición menos crítico que quizás no lo perciban o lo que es peor no les moleste, lamentablemente esa gente se está acostumbrando a escuchar un sistema deficiente. Este es un problema tanto a nivel de espectador como de organizadores de espectáculos y empresas de refuerzo sonoro, los cuales ya sea por costumbre o desinformación no exigen sistemas silenciosos. Por otra parte, al momento de preguntar el por que del ruido aparecen como respuesta una serie de teorías y fenómenos, los cuales mas que explicaciones fundadas en leyes físicas parecen mitos traspasados de generación en generación o si no, se culpa a alguna otra fuente externa y ajena al sistema, como si no se pudiera hacer nada y que es así como funciona un sistema en que el ruido es parte inherente de este.

Esto no solamente representa un problema a nivel de refuerzo sonoro; el desarrollo tecnológico de los sistemas de audio ha incorporado los sistemas digitales de grabación, esto conlleva a un requerimiento de procesadores y equipos con un rango dinámico mayor al que se ocupaba por ejemplo en grabaciones analógicas, en donde mucho del ruido de los sistemas era enmascarado por el ruido propio de las cintas analógicas. Para obtener un rango dinámico mayor de un sistema es necesario disminuir sus niveles de ruido de fondo.

Antiguamente no existía un uso tan amplio de artefactos electrónicos como hoy en día, todos dentro de una misma sala de trabajo. Los dispositivos como los teléfonos celulares, computadoras, reproductores de video, interruptores del suministro de energía, y otros “juguetes” de alta tecnología pueden fácilmente generar campos de fuerzas electromagnéticas que exceden considerablemente a aquéllas producidas incluso por fuentes de muy alta potencia localizadas afuera de la construcción donde se encuentran las dependencias de trabajo. El efecto de estos campos en sistemas y equipos cercanos es conocido como Interferencia Electromagnética, EMI (por sus siglas en inglés). Un equipo que tiene un funcionamiento defectuoso de cualquier índole

bajo la influencia de la energía electromagnética se dice que es susceptible a la EMI. El equipo que no presente un funcionamiento defectuoso bajo la influencia de la EMI se dice que es inmune a la EMI o Electromagnéticamente Compatible, EMC (por sus siglas en inglés). Esta interferencia, dentro de los sistemas de audio se puede manifestar como señales indeseadas o ruido eléctrico, y no solamente puede afectar a los equipos del sistema si no que también a sus interconexiones, disminuyendo el rango dinámico del sistema. No obstante existen medidas para minimizar o evitar su efecto, sin embargo antes de analizar estas medidas es necesario entender los mecanismos de acoplamiento de interferencia, ya que solamente entendiendo el fenómeno se pueden comprender las medidas mitigadoras. Por esta razón en este estudio se revisan primero los mecanismos de acoplamiento de interferencia y causas de ruido en circuitos para luego abordar el como evitar y eliminar el efecto de la EMI.

La identificación de problemas dentro de una cadena de audio es difícil pues son muchos los factores que interactúan, incluso hay problemas que surgen por la interacción de algún equipo con otro. Es decir, no necesariamente un equipo es el problemático si no que ese equipo en relación a otro es problemático. Esto queda claro al ver que podemos modificar el orden de la cadena de un sistema, y esto producirá una diferencia en los niveles de ruido del sistema, y por lo tanto un cambio en el rango dinámico del sistema, que es el parámetro afectado principalmente. Es lo que se llama interacción de sistemas, lo cual tiene cierta lógica ya que no todos los componentes son iguales dentro de una cadena de audio hay elementos de distintas marcas. Esta diferencia entre equipos conlleva una configuración distinta de las entradas-salidas, con un tratamiento distinto de las tierras y por consiguiente de a donde llegan finalmente a conectarse los escudos de los cables de interconexión al interior de los equipos. Una explicación a esta interacción de sistemas es posible encontrarla en un punto común a todo el sistema de audio, el sistema de alimentación de energía y mas específicamente al sistema de puesta a tierra de dicho sistema. Esté corresponde a una de las fuentes principales de interferencia de los sistemas de audio. Por lo tanto para tener un sistema de audio libre de ruido hay que comenzar por tener un sistema de alimentación de energía libre de corrientes parásitas e interferencias. Con este fin se analizan los principales sistemas de suministro de energía así como la forma en que trabaja el sistema de puesta a tierra para poder determinar cual es el más óptimo para obtener un sistema de audio con el rango dinámico lo mas amplio posible.

No solo se debe lograr que el sistema sea silencioso y estable, si no que también sea seguro y confiable. Este concepto hay que tenerlo claro, pues los problemas de conexiones que facilitan el acoplamiento de interferencia pueden reducirse, pero a su vez crear otras conexiones impropias. Un diseñador de sistemas de audio rara vez toma en cuenta la seguridad y confiabilidad del sistema. Algunas prácticas para la reducción de ruido, que involucran violaciones a las normas eléctricas nacionales, a menudo producen resultados satisfactorios, aunque los sistemas resultantes constituyen un verdadero peligro de incendio o de golpe eléctrico para los usuarios. Es importante la toma de conciencia de la interrelación de las tierras de seguridad, que nos brindará un sistema seguro, las tierras técnicas que nos permite un sistema libre de ruidos y de la coexistencia de ambas.

El propósito de conectar con tierra es proporcionar una distribución de energía segura, y costo eficiente (hay que notar que el elemento costo incluye el daño que un equipo pueda sufrir debido a una falla o golpe eléctrico). Estas son las metas de conectar con tierra de un punto de vista de distribución de energía donde la interferencia del ruido eléctrico no es una consideración. La norma chilena NCh Elec 4/2003 de **INSTALACIONES DE CONSUMO EN BAJA TENSIÓN** es clara en este concepto al señalar “...*Esta Norma contiene esencialmente exigencias de seguridad. Su cumplimiento, junto a un adecuado mantenimiento, garantiza una instalación básicamente libre de riesgos; sin embargo, no garantiza necesariamente la eficiencia, buen servicio, flexibilidad y facilidad de ampliación de las instalaciones, condiciones éstas inherentes a un estudio acabado de cada proceso o ambiente particular y a un adecuado proyecto.*”. En el caso de sistemas electrónicos de audio, video, y sistemas de computadoras, es también necesario que el sistema de conexión a tierra proporcione una puesta a tierra estable y de baja-impedancia para controlar la interferencia electromagnética (EMI). Por lo tanto un sistema de tierra debería entregar seguridad, fiabilidad, y control de la EMI. Conectar con tierra es solamente uno de los medios de controlar el ruido eléctrico en audio y otros sistemas técnicos, como es posible observar en el siguiente estudio.

3.- Objetivos

3.1.- Objetivos Generales

- Estudiar las interconexiones eléctricas de los sistemas de audio y la optimización de estos mediante la eliminación de señales de ruido y mejoramiento del rango dinámico.

3.2.- Objetivos Específicos

- Realizar una revisión bibliográfica
- Determinar las causas de los principales problemas de ruido eléctrico presente en los sistemas de audio.
- Identificar los principales problemas de ruidos eléctricos presentes y/o causados por las interconexiones de los equipos componentes de los sistemas de audio.
- Definir las posibles soluciones o mejoras a introducir en las interconexiones de los sistemas de audio, para así reducir los principales problemas de ruido existentes.
- Realizar montajes de sistemas de audio para llevar a cabo su optimización de acuerdo a lo estudiado.

4.- Conceptos Generales

4.1.- Ruido

En un sistema de audio tenemos transductores que captan el sonido de la fuente transformándolo en una señal eléctrica, sistemas eléctricos que procesan y amplifican la señal eléctrica y componentes transductores que finalmente convierten nuevamente la señal eléctrica en una señal auditiva que llega al receptor. En este estudio nos centraremos en la etapa eléctrica de la cadena, y por lo tanto se analizan las señales de ruido eléctricas.

El ruido, en sistemas eléctricos, se define como cualquier tipo de señal de naturaleza eléctrica o magnética, diferente de la señal que deseamos transmitir y que interfiere con esta. El resultado de la señal transmitida es una suma de la señal de interés y la otra señal lo que se traduce en una pérdida parcial o, en algunos casos, total de la señal original que se desea transmitir. De esta forma encontramos el ruido propio de un equipo o sistema y el ruido de interferencia electromagnética que es producto de la influencia de otros o los propios equipos eléctricos o electrónicos del sistema; si esta influencia es controlada entonces el ruido propio establece el ruido de fondo de un sistema; de caso contrario, el ruido de fondo del sistema será determinado por el ruido inducido por las interferencias electromagnéticas (EMI). La diferencia en dB del ruido de fondo y la máxima salida posible de señal determina el rango dinámico de un circuito, equipo o sistema. Se desea que el rango dinámico sea lo más grande posible, por lo que hay que tratar de obtener y mantener el nivel de ruido de fondo lo más bajo posible.

4.2.- Ruido Propio de un Equipo

En todos los conductores existe una fluctuación randómica que produce una variación aleatoria de potencial en los extremos del conductor. Aunque “fluctuaciones espontáneas”, es el mejor término aplicable en la teoría, no es el que se ocupa habitualmente, donde simplemente a este fenómeno se le llama ruido o generalmente es referido equívocamente como ruido térmico, ya que, como veremos a continuación, este corresponde a un tipo de las diferentes fluctuaciones.

El ruido producido por los componentes pasivos y activos de un amplificador o procesador será el que limite la capacidad de amplificar o procesar un nivel mínimo de señal y corresponderá al nivel de ruido de fondo mínimo. Cualquier señal que este por debajo del nivel del ruido propio del equipo será enmascarado por este, haciendo imposible o casi imposible, dependiendo del grado de enmascaramiento, de discriminar la señal original del ruido. Como ya se adelantó, hay distintos tipos de estos ruidos dependiendo del fenómeno físico asociado, y se producen en los distintos elementos pasivos y activos de un amplificador o procesador. Entre estos encontramos:

- **Ruido Térmico o de Johnson:** Es un fenómeno de carácter aleatorio que aparece de forma natural en los conductores por agitación de los electrones y por lo tanto estará presente en todo componente pasivo que ofrezca una resistencia al paso de corriente. Es dependiente de la temperatura, de modo que aumenta su potencia conforme aumenta la temperatura y corresponde al límite inferior de ruido alcanzable por cualquier elemento resistivo.

El voltaje del ruido térmico esta definido como:

$$(e_{R.M.S.}) = \sqrt{4 KRTdf} \quad (4.1)$$

K = constante de Boltzmann = $1,374 \times 10^{-23}$ [Joule/° Kelvin]

T = Temperatura en grados Kelvin

R = Valor ohmico de la resistencia

df = ancho de banda

Expresado en dBu seria:

$$e_{R.M.S.} (dBu) = 20 \log \left(\frac{e_{R.M.S.}}{0,775} \right) \quad (4.2)$$

Y la potencia del ruido será:

$$N = e^2 / R = 4KTdf \quad (4.3)$$

● **Ruido de Impacto (Shot Noise):** Es un ruido propio de las uniones semiconductoras, el cual es generado por la corriente que pasa a través de ellas, ya que lo hace en forma de cargas discretas y un impulso es generado por el paso de cada partícula, es decir el cambio de velocidad de movimiento de la carga eléctrica conlleva la radiación de un campo eléctrico, y que por el mecanismo de recombinación es puramente aleatorio. El ruido es proporcional a la corriente de paso.

● **Ruido de Llameo (Flicker Noise):** Ruido cuya amplitud varía en forma inversamente proporcional con la frecuencia por lo que también es llamado ruido $1/f$. Corresponde al ruido provocado en los conductores a causa de las impurezas del material y en los transistores está asociado a la corriente continua que circula en el semiconductor, ya que es inversamente proporcional a la frecuencia deja de tener influencia bajo los 2 kHz.

● **Ruido Pulsante (Popcorn Noise):** Este ruido presente en los materiales semiconductores, es producto de imperfecciones en el material y a implantes de iones pesados en el dopaje, conocido también como ruido de fritura, dependerá de cuan prolijo sea el proceso de construcción de los materiales semiconductores. Su espectro de frecuencia es descrito por el cuadrado inverso de la frecuencia, $1/f^2$, por lo que tendrá influencia a muy baja frecuencia.

● **Ruido de avalancha o de plasma:** Este ruido es particular de las uniones inversamente polarizadas de los semiconductores, donde el campo eléctrico puede alcanzar valores del orden de 10^5 V/cm, por lo que se obtiene una corriente producto de la ruptura de enlaces. Su magnitud es considerable, de donde se puede deducir que los diodos Zener y de Avalancha son muy ruidosos

En definitiva, la suma de todos estos ruidos inherentes a los elementos de la circuitería propia de un equipo, serán los limitadores de la capacidad de este para manejar un nivel mínimo de señal, a este ruido se le denominará ruido propio de un equipo. La disminución de los niveles de ruido propio corresponde a un problema de optimización de diseño de equipos y de la elección de los elementos constituyentes de los circuitos, lo cual escapa a los objetivos de este estudio y son presentados como información general y complementaria. Para un análisis teórico detallado y medición del ruido propio, ver [5], [12] y sus referencias.

4.3.- Interferencia o EMI

Se llama interferencia al ruido producido en un circuito por fuentes externas al circuito considerado; son de origen electromagnético y conocida como interferencia electromagnética o EMI, por sus siglas en inglés (ElectroMagnetic Interference).

Todos los circuitos, dispositivos y sistemas eléctricos en funcionamiento producen y hacen uso de campos eléctricos, magnéticos, y electromagnéticos. Estos campos viajan por el aire y pueden acoplar diferencias de potencial, producir corrientes o causar otros funcionamientos defectuosos extraños e imprevisibles a simple vista en la circuitería de equipos cercanos o en las interconexiones entre estos, y por lo tanto son fuentes generadoras de ruido en los sistemas. La EMI ocurre en forma de radiación, donde el aire es el medio por el cual se radia el campo o interferencia y producto de la inducción capacitiva o inductiva son acoplados al circuito víctima; o por conducción, en que el camino hacia el interior y fuera del equipo afectado incluye uno o más cables de interconexión. Los campos al acoplarse elevan el ruido de fondo de los equipos o sistema en perjuicio del rango dinámico utilizable.

Al momento de invertir esfuerzos en controlar la EMI es necesario tener en consideración la susceptibilidad de los equipos a los campos electromagnéticos y los métodos de interconexión. Hay que recordar que la calidad de un sistema está limitada por el componente de menor calidad dentro de la cadena de componentes del sistema, y el grado de susceptibilidad a la EMI no es la excepción a la regla. Se dice que un sistema electrónico o equipo tiene compatibilidad electromagnética EMC, si satisface tres criterios:

- 1.- no causa interferencia con otros sistemas.
- 2.-no es susceptible a las emisiones de otros sistemas.
- 3.-no causa interferencia consigo mismo

Y de la misma forma se dirá que un equipo o sistema es susceptible a la EMI si no cumple los criterios antes señalados.

4.4.- Tierra

Al hablar de tierra intuitivamente pensamos en una conexión hacia el suelo o la superficie terrestre, de ahí su nombre, que sirve para evitar las sobrecargas de sistemas, y minimizar los peligros de golpes eléctricos a los usuarios de estos. Para la industria de distribución de energía el concepto de tierra implica un sistema de conductores y electrodos que son conectados a los electrodos de tierra. Estos últimos son definidos por la norma chilena, **NCh Elec 4/2003**, como “... *conductores desnudos, enterrados, cuya finalidad es establecer contacto eléctrico con el suelo*”. En la electrónica esto no es un requisito, aunque algunas tierras sean eventualmente conectadas a tierra firme. En términos electrónicos una tierra es un conductor, o punto de referencia de un circuito. Puede ser uno de los extremos de un suministro de energía, o el marco de una caja o encerramiento de metal. Puede haber muchas tierras o conductores de referencia en un circuito o instalación. Las tierras incluso pueden ser flotantes, es decir, ellas pueden tener escasa o ninguna asociación con otro circuito. En términos electrónicos una tierra ideal sería un punto o plano equipotencial que sirve como una referencia de potencial para un circuito o sistema. Por lo tanto dentro del concepto de tierra encontramos, según sus objetivos y funciones, tierras de protección o seguridad y tierras técnicas o de señal.

4.4.1.-Tierra de protección

Según la norma chilena se entenderá por puesta a tierra o tierra de protección al conjunto de electrodos y conductores que unen los electrodos de tierra, que corresponden a barras o mallas de cobre enterradas en tierra firme, con la instalación eléctrica o sistema de alimentación en uno o más puntos a lo largo de su tendido. Estos puntos del sistema a su vez están unidos a una serie de

conductores y electrodos que en conjunto conforman el sistema de tierra de protección y cuya finalidad es establecer contacto con tierra firme de piezas conductoras que en caso de falla pueden quedar energizadas. En otras palabras el sistema de tierras de protección o poner a tierra un sistema, consiste en conectar al suelo todos los elementos conductores de los equipos y sistema de alimentación que, bajo condiciones normales, no deberían presentar tensiones de contacto peligrosas. Es para esto que a los enchufes llegan tres alambres (fase, neutro y tierra), con su respectiva codificación de colores como se muestra en la figura 4.1. Lo que permite que cada artefacto que sea enchufado a una toma de corriente pueda quedar conectado a la tierra de protección.

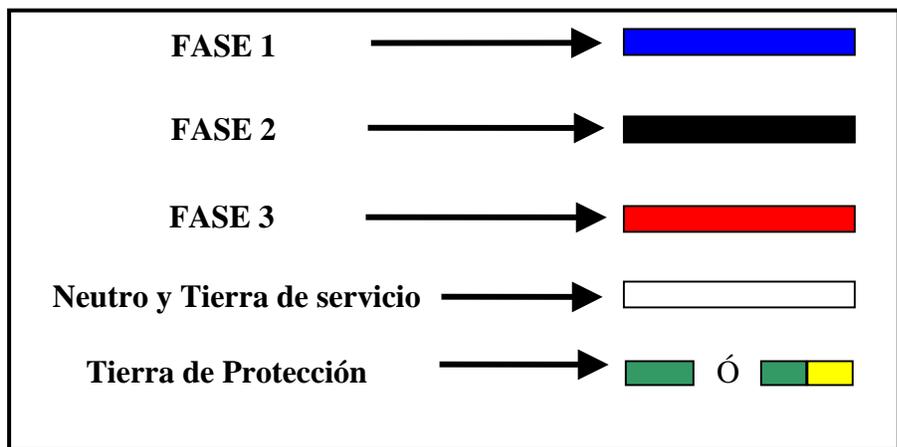


Figura 4.1.- Código de colores para los conductores del sistema de distribución de energía.

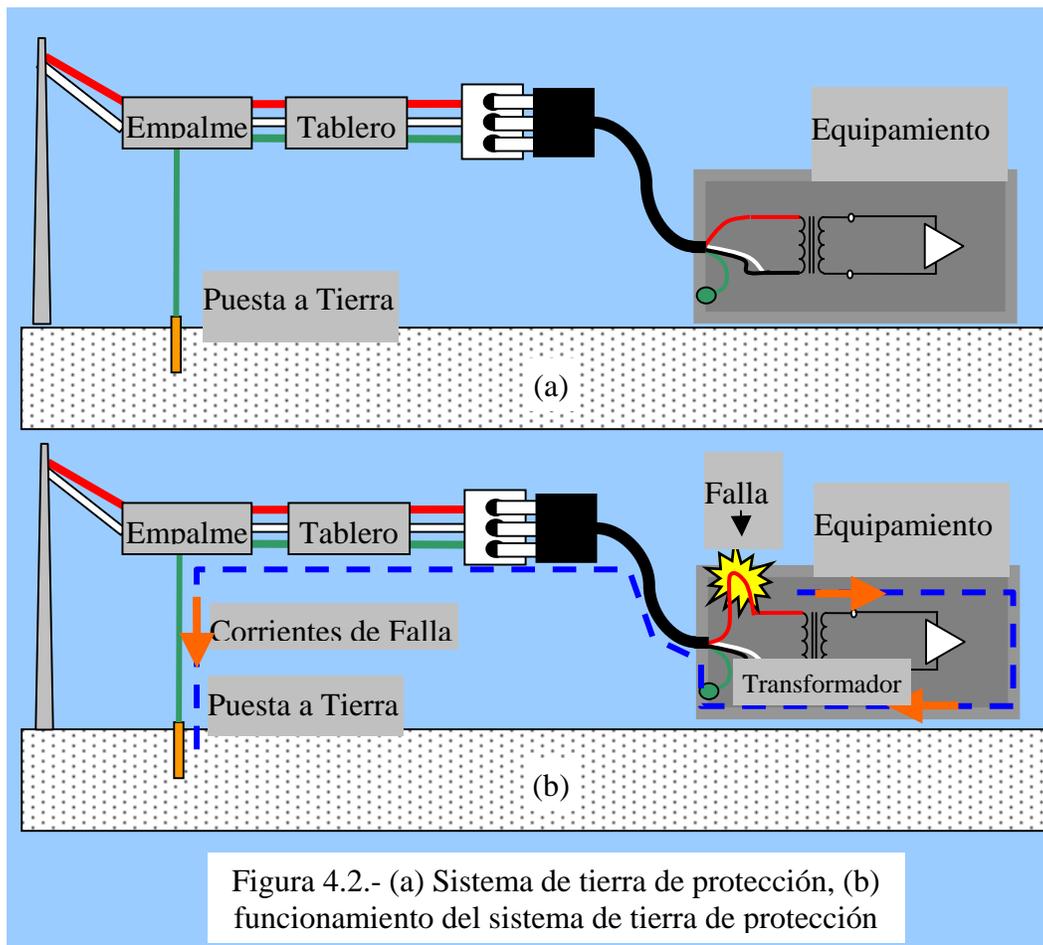
La conexión a la tierra de protección es uno de los elementos más importantes de una instalación eléctrica, en lo que se refiere a protección de las personas contra contactos indirectos. Una buena conexión a la tierra de protección nos asegura que ante una falla de aislamiento se produzca la descarga al suelo por medio del sistema de tierras de protección, operando las protecciones del caso y no quede esta falla latente, a la espera de que alguien toque esa superficie y canalizarse a través de esa persona, electrocutándola. El buen funcionamiento del sistema de tierra de protección depende del valor de resistencia eléctrica que se logre en su instalación. En la práctica, para la conexión del sistema de tierra de protección al suelo se emplean electrodos de cobre o barras tipo Copperweld, o bien, enmallados conductores de cobre, enterrados a cierta profundidad.

4.4.1.1.-Funcionamiento

El suministro de energía por parte de las empresas distribuidoras se hace por medio de los cables ubicados en los postes instalados en las aceras. Si la alimentación a una instalación o edificio es trifásica, provenientes del tendido eléctrico exterior llegan 4 conductores, 3 fases y un conductor de referencia o neutro (cuando se trata de industrias el sistema de alimentación puede ser diferente). En el caso de sistemas monofásicos llegan dos conductores la fase y el neutro. La entrada de servicio es también llamada empalme y es en este punto donde a los conductores de entrada se añade el conductor de puesta a tierra, que está unido al sistema de electrodos de tierra (barras o mallas de cobre).

Para suministrar energía a equipamiento electrónico en general de bajo consumo, incluido el equipamiento de audio, es necesario tan solo dos conductores fase y neutro, pero se les añade el conductor del sistema de tierra de protección. En el caso de que un sistema trifásico sea utilizado para alimentar un sistema de audio, los centros de consumo finales o enchufes que alimentan el sistema comprenderán una fase y un neutro derivado de las tres fases más el conductor verde del sistema de tierra de protección. Por ejemplo al empalme de una casa llegan dos conductores, fase y neutro, y en este punto a estos conductores es agregado un tercer conductor que parte de una barra enterrada en tierra firme, cercana a este punto y que corresponde a la puesta a tierra. Luego estos tres conductores llegan al panel de distribución donde están ubicados los dispositivos de paso y de protección pertinentes para finalmente llegar a los distintos enchufes. Al conectar un equipo en uno de estos enchufes utilizamos un cordón de tres conductores, aislados entre si y cubiertos por un material flexible y aislante, con un conector de tres patas, los tres conductores han “entrado” al equipo. La fase y el neutro generalmente alimentan un transformador de suministro de energía que reduce la tensión de entrada a la tensión requerida por la circuitería del equipo y el conductor del sistema de tierra de protección es conectado al chasis metálico del equipo, figura 4.2.(a).

Si por fallas de aislamiento el chasis del equipo queda energizado, figura 4.2.(b), el conductor conectado al chasis proporciona un camino a tierra firme para las corrientes indicado con línea segmentada azul en la figura, evitando que queden en el chasis en espera de que algún usuario lo toque y sea él el camino a tierra. Es necesario que sea un camino de baja impedancia para lograr el máximo flujo de corriente, logrando así que se activen los distintos dispositivos de protección que se encuentran en los tableros del sistema, como diferenciales, interruptores o disyuntores. Por lo recientemente descrito es completamente esencial que las tierras de protección en un sistema permanezcan totalmente funcionales en todo momento.



4.4.2.-Tierra Técnica

Tierras técnicas o tierra de señal, en el caso de suministro de energía, hace referencia a la conexión a la puesta a tierra del conductor neutro en la entrada del servicio de un edificio o recinto, lo que nos asegura que el conductor neutro en condiciones normales de operación tendrá un potencial constante igual al potencial de la puesta a tierra y servirá como referencia para los voltajes del suministro de energía, razón por la cual el conductor neutro también es llamado tierra de servicio. Esta no es la única tierra técnica que existe, si no que al contrario, es tan solo un ejemplo del concepto de tierra técnica, concepto que como se adelantó involucra la idea más pura de tierra en la interconexión de circuitos, la de plano equipotencial de referencia.

Las leyes fundamentales de física plantean que para que exista una diferencia de potencial, y por lo tanto una señal de voltaje, es necesario dos puntos donde medir, donde uno de ellos sirve de referencia para el otro; si el punto de referencia presenta un potencial constante respecto a tierra firme será llamado tierra o tierra técnica. Algunas veces esta tierra será conectada a tierra firme otras veces será flotante, lo importante es que su potencial no cambia y es el punto que nos permite medir las variaciones de voltaje en otro punto, conductor o conjunto de conductores en los circuitos. De esto se desprende que la tierra puede ser un punto, un conductor o un conjunto de estos, donde son referenciados todos los elementos del circuito. Diferentes circuitos son conectados entre si, dando forma a distintos equipos, con diferentes funciones, los que finalmente conforman los sistema de audio. Todos estos circuitos interconectados, dentro de un sistema, tienen como función principal transmitir e intercambiar señales de voltaje. Para que este trabajo se haga lo más eficazmente posible, de forma óptima y por ende se transmita la señal que se desea enviar, libre de señales no deseadas. Los voltajes involucrados deben ser referenciados, valga la redundancia, al mismo punto de referencia. De la extensión del punto de referencia señalado en un comienzo, nace la idea de plano equipotencial de referencia de un sistema o tierra técnica de un sistema. En el caso del sistema de alimentación de energía, el conductor neutro puesto a tierra, es un ejemplo de tierra técnica para el conductor de fase, ya que este nos permite medir que tenemos 220 Volts en la fase con respecto a la puesta a tierra. Existen otras razones para poner a tierra el conductor neutro que se describen muy bien en [6] capítulo 1.

La afirmación de que grandes y complicadas conexiones al suelo o puestas a tierra son esenciales para lograr un performance del sistema libre de ruido en un sistema electrónico no se apoya en la realidad. Sistemas electrónicos muy complejos en autos y aviones trabajan muy bien sin ninguna puesta a tierra de la tierra técnica de referencia, al igual que el resto de equipo electrónico que funciona por baterías. Para una aproximación de como se establece el sistema de tierras en estos sistemas revisar [8], capítulo 10, página 194.

4.5.- Pin 1

El Pin 1 se define como el terminal o los terminales de los conectores de un equipo a los cuales quedan conectados el o los escudos de un cable de interconexión al ser insertados en dichos conectores, sin tener en cuenta el uso o tipo de conector. En el caso de los conectores XLR, el escudo terminal normalmente es el pin 1. Para los conectores de ¼ de pulgada (6.35-mm) o TRS, el pin 1 es la malla o sleeve en inglés; para los conectores de RCA, pin 1 se refiere a la cáscara; y así sucesivamente [1].

4.6.- Tipo de Señales.

Los conceptos a continuación hacen referencia a como una señal eléctrica puede ser generada por una red electrónica y transmitida en un par de cables.

4.6.1.-Señal de tipo desbalanceada o de único extremo

Una señal de voltaje es siempre una diferencia de potencial entre dos puntos o terminales. Si el potencial de uno de estos puntos es constante y sirve como punto de referencia para la obtención de voltaje del otro conductor, la señal es desbalanceada o de único extremo. En la figura 4.3 se observa la representación de dos conductores, uno designado H y el otro L, y en la figura 4.3.(a) se representa una señal del tipo desbalanceada donde los voltajes V_H se obtienen tomando como referencia el conductor L, el que tiene un voltaje V_L constante. Si el punto de referencia es independiente de la tierra (impedancia infinita entre el punto y el suelo), la señal es

desbalanceada y flotante. Si el punto de referencia esta al potencial de tierra, la señal es desbalanceada y puesta a tierra.

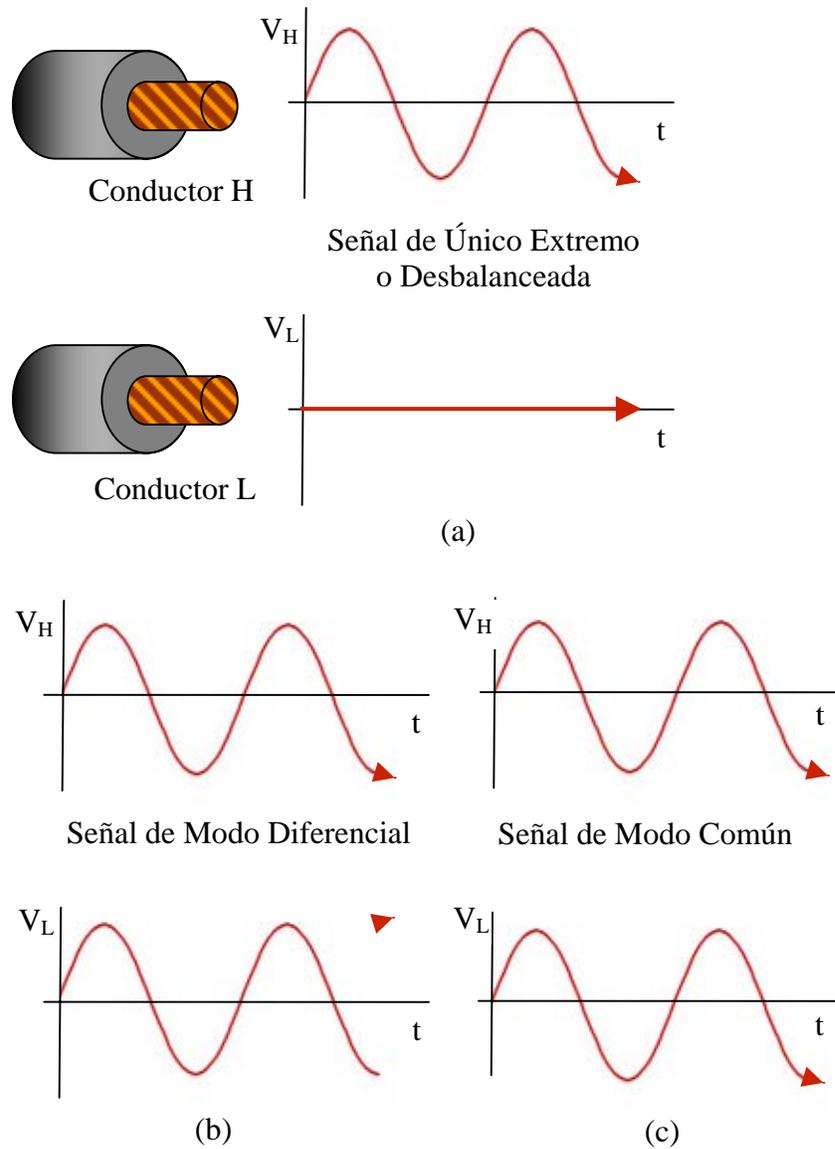


Fig. 4.3.- Modos de transmisión de señal en dos conductores

En la práctica las señales rara vez son independientes de la tierra, ya que entre el punto de referencia y la tierra siempre existirá alguna extraña capacitancia, a no ser que la fuente de la señal se encuentre encerrada por un escudo conductor. Cualquier caída de potencial a través de la impedancia entre el punto de referencia y tierra corresponde a una señal de modo común, se

llama de esta forma pues es común a los dos conductores, es decir estará presente tanto en el punto de referencia como en el conductor de señal, y constituye una interferencia.

4.6.2.-Señales de modo diferencial

Las señales de modo diferencial son medidas u obtenidas de la diferencia entre las señales o voltajes de los conductores o terminales de un circuito electrónico, medidos respecto a un punto de referencia y cuyos potenciales cambian en la misma cantidad pero con polaridad opuesta o en direcciones opuestas respecto a el punto de referencia, que puede ser tierra, o algún otro punto que tenga un potencial fijo respecto a tierra. Los circuitos que producen estas señales, las transmiten o responden a estas, son llamados circuitos diferenciales. También este modo es llamado a menudo modo normal o modo transversal. En la figura 4.3 se observa la representación de dos conductores, uno designado H y el otro L, y en la figura 4.3.(b) una señal diferencial medida respecto a un punto de referencia. Para una señal diferencial se define el voltaje diferencial como:

$$v_d = v_H - v_L \quad (4.4)$$

Donde:

V_H = Voltaje en el conductor H respecto al punto de referencia.

V_L = Voltaje en el conductor L respecto al punto de referencia.

Algunas veces, la señal de interés es la diferencia del potencial eléctrico entre dos puntos cuyos respectivos potenciales con respecto a un punto de referencia cambia, pero no de una forma simétrica, esta señal también será considerada diferencial.

4.6.3- Señales de modo común

Las señales de modo común son medidas u obtenidas desde cada uno de los conductores a un punto de referencia, que puede ser tierra o un plano equipotencial, es decir cuando existe un voltaje positivo en un conductor y también esta misma señal existe en el otro conductor. Estos tipos de señales generalmente no son de interés, si no que mas bien molestas, y están ocasionadas por caídas de voltaje entre el punto de referencia y la tierra o la puesta a tierra, o por señales en los conductores o terminales producto de la EMI. La figura 4.3.(c) representa una señal de modo común presente en los conductores H y L.

Para una señal diferencial, el voltaje de modo común esta definido como:

$$v_c = \frac{v_H + v_L}{2} \quad (4.5)$$

Donde:

V_H = Voltaje en el conductor H respecto al punto de referencia.

V_L = Voltaje en el conductor L respecto al punto de referencia.

Es posible tener una señal de tipo desbalanceado o de modo diferencial junto con una señal de modo común en un par de conductores o terminales; la primera como señal que se transmite y de interés y la segunda producto, por ejemplo, de campos electromagnéticos y considerada como interferencia.

4.7.- Circuitos Balanceados

Un circuito balanceado es aquel en que los voltajes medidos en los conductores o terminales son del modo diferencial, y cuyas impedancias equivalentes respecto a tierra son iguales, o como es citado en [2] *“El Diccionario de IEEE define una línea equilibrada como una línea de transmisión que consiste en dos únicos o dos grupos interconectados de conductores capaces de operar de tal manera que cuando los voltajes de los dos grupos de conductores*

respecto a cualquier plano transversal sean iguales en magnitud y contrarias en polaridad con respecto a tierra, el total de las corrientes a lo largo de los dos grupos de conductores serán iguales en magnitud y contrarios en dirección". Para tener estas condiciones, las impedancias deben ser también iguales con respecto a tierra. Es importante entender que la impedancia eficaz de cada conductor a tierra es determinada por todo lo conectado a él. Por consiguiente, para apreciar los beneficios máximos del sistema cada componente conectado a una línea equilibrada debe mantener su equilibrio rigurosamente. Esto incluye al conductor de línea, la línea de transmisión o cable y el receptor de línea. El modo diferencial es el modo normal de operación de todos los circuitos de audio balanceados.

4.8.- Circuitos Desbalanceados

Un circuito desbalanceado es aquel en que las impedancias equivalentes respecto a tierra, de cada conductor o terminal, son desiguales y los voltajes medidos pueden ser del tipo desbalanceado o del modo diferencial, pero producto de la desigualdad de impedancias la señal no es inversamente simétrica, por lo que la señal es diferencial y desbalanceada.

Circuitos de micrófonos de alta impedancia y bajo costo consistentes de un solo conductor y una protección son un ejemplo de un circuito desbalanceado, al igual que los cables y sistemas de interconexión de los sistemas caseros de reproducción musical.

4.9.- Proporción de Rechazo de Modo Común

La proporción de rechazo de modo común o CMRR por sus siglas en inglés, es la habilidad o característica de una entrada balanceada para rechazar o cancelar una señal de modo común aplicada en su entrada. La razón o proporción es obtenida por medio de la división del voltaje de modo común de entrada por el voltaje de salida, la cual es expresada en dB. El ruido captado por las líneas balanceadas será de modo común en tanto sean señales generadas por diferencias alrededor del potencial de referencia de la fuente de señal y el receptor, producida generalmente por la EMI.

La CMRR decrece con la frecuencia. Esto es debido a la dificultad de mantener a alta frecuencia la misma capacitancia e inductancia a tierra en cada uno de los terminales del circuito y cableado balanceado entrante. A 1 kHz, una CMRR de 90 dB es común, pero a 20 kHz, una CMRR de 90 dB es encontrada solo en equipos de alta calidad.

Rechazo o cancelación de señales de modo común es imposible de realizar en las entradas de equipo desbalanceado. Este es su mayor defecto y desventaja frente a los circuitos balanceados.

5.- Problemas de Interferencias en los Sistemas de Audio

A continuación se describen los principales problemas de interferencia en los circuitos de audio, en el primer punto, llamado problemas de interferencia electromagnética, se explicará el mecanismo del fenómeno del acoplamiento de interferencias. Posteriormente se explican los casos más habituales en que este fenómeno es encontrado y que la mayor parte de la bibliografía sobre el tema señala como problema de interferencia.

5.1.- Problemas de Interferencia Electromagnética - EMI

El problema de la EMI surge de que la mayoría de las instalaciones de sistemas se encuentran ubicadas en áreas modernas y pobladas en las que se encuentran numerosos campos magnéticos, eléctricos y electromagnéticos de intensidades variables, producidos por la inmensa cantidad de aparatos electrónicos y eléctricos que son utilizados en nuestra vida cotidiana y a su vez como factor inherente de los mismos circuitos y elementos constituyentes del sistema. Estos campos pueden acoplarse al interior de los circuitos e inducir ruido en los sistemas por una de las siguientes maneras: a través de una corriente en una impedancia común, por un campo eléctrico, un campo magnético y un campo electromagnético a alta frecuencia [12].

5.1.1.-Acoplamiento Inductivo o Magnético

Los campos magnéticos existen alrededor de todo los conductores eléctricos que transportan corriente. Una corriente i_1 en un circuito, figura 5.1, crea un campo magnético de densidad B_1 proporcional a esta. Dos circuitos están acoplados inductivamente o magnéticamente cuando el campo magnético producto de la corriente en uno de estos circuitos induce un voltaje en el segundo circuito; este voltaje aparece en serie con cualquier fuente de señal que alimente el circuito afectado. El acoplamiento de campo magnético entre los circuitos cercanos puede describirse y puede cuantificarse en términos de su inductancia mutua. La inductancia mutua entre los circuitos da cuenta de la cantidad de flujo magnético en uno de estos dividido por la corriente en el otro y está definida como:

$$L_m = L_{12} = L_{21} = \frac{\int_{S_2} \vec{B}_1 d\vec{S}_2}{i_1} = \frac{\int_{S_1} \vec{B}_2 d\vec{S}_1}{i_2} = \frac{\phi_{12}}{i_2} = \frac{\phi_{21}}{i_1} \quad (5.1)$$

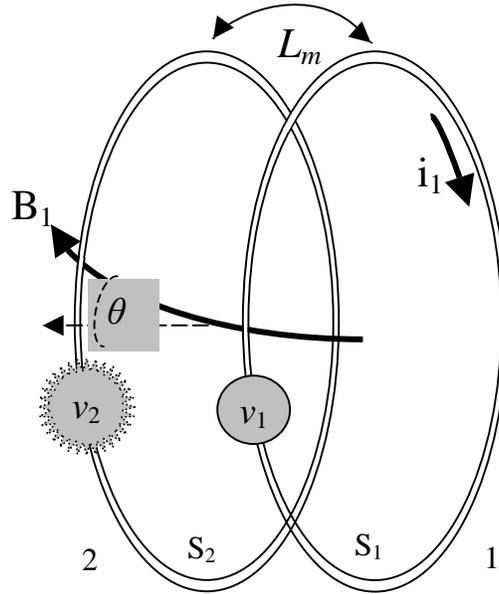


Figura 5.1.- Una corriente i_1 en el circuito 1, crea un campo magnético B_1 , que induce un voltaje v_2 en el circuito 2

Al mismo tiempo el voltaje inducido en un circuito por la variación del flujo magnético ligado a este es:

$$v = - \frac{d\phi}{dt} = - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S} \quad (5.2)$$

En el caso práctico, para que exista un voltaje inducido es necesario una variación del campo magnético respecto al tiempo, producto de una variación de la corriente en el circuito fuente, ya que las superficies asociadas a los circuitos en el caso de los sistemas de audio permanecen constantes.

Por lo tanto en la figura 5.1 una corriente i_1 en el circuito 1 induce en el circuito 2 un voltaje:

$$v_2 = - \frac{d\phi_{12}}{dt} = -L_m \frac{di_1}{dt} \quad (5.3)$$

La inductancia mutua, y por lo tanto la interferencia aumentará para grandes superficies de circuitos. Para entender mejor este fenómeno, analicémoslo de una forma simplificada, supongamos que en la figura 5.1, el circuito 2 es atravesado con un flujo magnético senoidal variable en el tiempo de densidad B_I constante, producto de la corriente i_1 en el circuito 1. El voltaje rms inducido de la ecuación (5.3), puede formularse (sin las constantes dimensionales) como:

$$v_{2(rms)} = \omega i_{1(rms)} L_m \cos \theta \quad (5.4)$$

ó de acuerdo a la ecuación (5.1) como:

$$v_{2(rms)} = 2\pi f B_{1(rms)} S_2 \cos \theta \quad (5.5)$$

Donde:

$i_{1(rms)}$ = valor rms de la corriente en el circuito 1

$B_{1(rms)}$ = valor rms de la densidad de flujo magnético senoidal

f = frecuencia del flujo magnético

S_2 = superficie encerrada por el circuito 2

θ = ángulo entre la dirección del vector de flujo y la normal a la superficie S.

Hay dos puntos prácticos importantes a tener en cuenta; el voltaje inducido es proporcional a la frecuencia f y también es proporcional a la superficie S_2 del loop. Para poder reducir este acoplamiento nuestro objetivo es minimizar v_2 , el voltaje inducido. Todo lo que esta a la derecha de la ecuación. (5.5) es un producto. Así nosotros podemos minimizar v_2 minimizando cualquiera o todos los factores que están a la derecha. En un caso práctico, el campo de flujo magnético será causado probablemente por radiaciones del suministro de energía

principal. De esta forma f generalmente no es una variable que podamos controlar. La densidad de flujo magnético B y el ángulo θ pueden ser cambiados, ya sea, alterando la ubicación de los conductores o circuitos, aumentando la distancia entre estos y los conductores de alimentación, moviendo fuentes de alimentación como transformadores, o en el caso de que se tengan que cruzar cables de señal y de energía, tratar de hacerlo en ángulo recto, de esta forma no habrá flujo asociado a la superficie S_2 , o una combinación de todas las anteriores. Si el circuito no está cerrado, no existe ningún loop conductivo y por consiguiente ninguna superficie asociada al circuito, es decir $S_2 = 0$ y por lo tanto $v_2 = 0$, es decir no hay ningún voltaje inducido magnéticamente. Hay una limitación importante la cual es que para que la señal de un circuito sea útil, la corriente debe fluir y la corriente puede fluir sólo en un loop, por lo que es imposible tener circuitos de transmisión de señal abiertos. Por lo tanto el método de mitigación primario en este caso es minimizar la superficie del loop.

De manera general, de la ecuación (5.3) vemos que la interferencia inductiva es proporcional a la inductancia mutua, minimizando esta disminuimos la interferencia. De la ecuación (5.1) se obtiene, como regla básica, que para reducir L_m se deben arreglar los circuitos receptores afectados de forma tal que capten un mínimo de flujo magnético de circuitos de corrientes altas, y como ya se señaló, una forma de lograrlo será minimizando la superficie del loop del circuito afectado.

La inducción magnética crea un voltaje en serie con la fuente del circuito afectado y por lo tanto con la señal, por lo que la interferencia no depende de como el circuito afectado sea puesto a tierra. La inducción magnética aumenta para circuitos que tienen baja impedancia, esto es que su resistencia y capacitancia a tierra sea pequeña. Para un mayor análisis revisar [12] de Pallás-Areny y Webster.

5.1.2.-Acoplamiento Capacitivo

Los campos eléctricos rodean a todos los conductores en que existe una carga sin tener en cuenta la presencia o ausencia de flujo de corriente. Son modelados como líneas de fuerza emanando radialmente del cable. Estos se radian usando el camino de menor resistencia alrededor de él, en este caso el espacio alrededor del mismo. Si en el cable hay un potencial positivo, debido a la ausencia de electrones, la dirección de las líneas de campo es hacia fuera. Si tuviera un potencial negativo, la dirección de las líneas es hacia adentro, ver figura 5.2. La densidad de líneas indican la densidad del campo y el alejarse implica una disminución de la fuerza del campo, en el caso de una fuente lineal, como es el caso de un cable, la fuerza del campo disminuye 3 dB por duplicamiento de distancia.

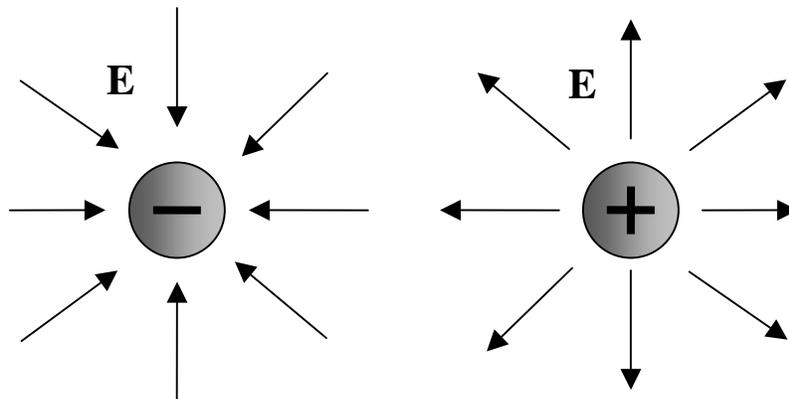


Figura 5.2.- Corte transversal de dos conductores, con potencial negativo (-) y positivo (+), y el modelo de los campos eléctricos E asociados

Tal como un potencial crea un campo eléctrico, un campo eléctrico crea un potencial. Cuando un conductor está a un cierto potencial con respecto a un conductor de referencia, por ejemplo tierra, hay líneas de flujo eléctrico emanando desde el conductor a tierra. Si un segundo conductor es ubicado cerca del primero, algunas líneas de flujo se desviarán y terminarán en este segundo conductor, el que a causa de las líneas de flujo, alcanzará un cierto potencial respecto a tierra. Existe una capacitancia entre los conductores, llamada capacitancia mutua y también entre cada uno de ellos y tierra.

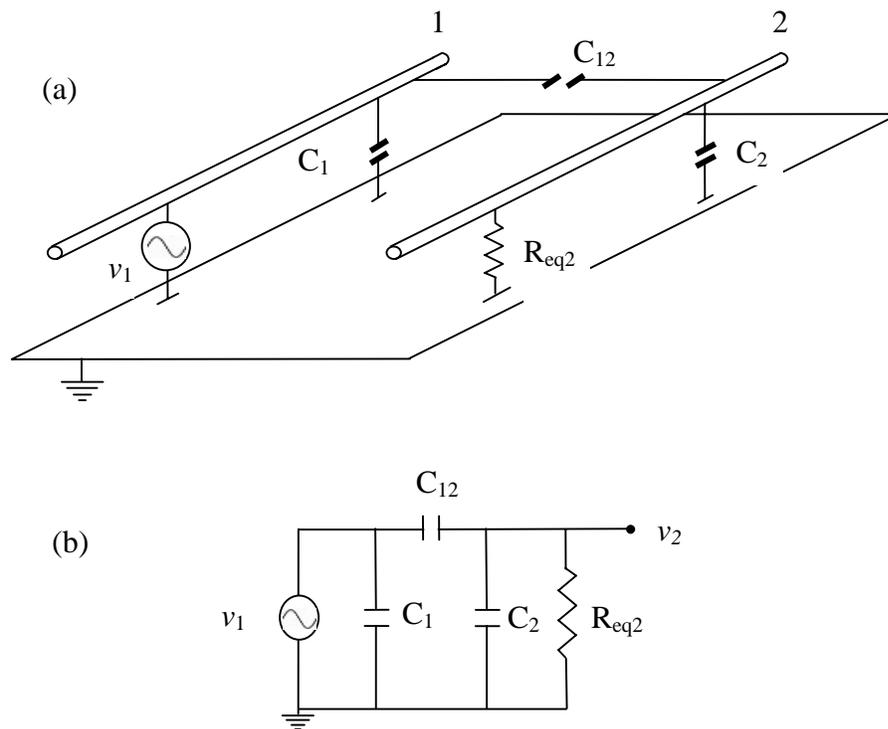


Figura 5.3.- (a) Acoplamiento capacitivo, entre el conductor 1, que está a un potencial variable, y el conductor 2. (b) Circuito análogo. (Fuente: adaptado de [11])

El acoplamiento de un campo eléctrico entre circuitos cercanos puede describirse y cuantificarse por medio de la capacitancia mutua. En la figura 5.3.(a) se representan dos conductores y un plano de tierra, uno de ellos con una señal variable v_1 , las capacitancias a tierra respectiva de cada circuito C_1 , C_2 , y la capacitancia mutua C_{12} , además de la resistencia equivalente R_{eq2} , desde el conductor 2 al plano de tierra. En la figura 5.3.(b) está representado el circuito equivalente, donde el voltaje en el conductor 2 producto de v_1 será:

$$v_2 = v_1 \frac{j\omega R_{eq2} C_{12}}{1 + j\omega R_{eq2} (C_{12} + C_2)} \quad (5.5)$$

Y la frecuencia crítica de esta función será:

$$\omega_c = \frac{1}{R_{eq2} (C_{12} + C_2)} \quad (5.6)$$

Para frecuencias mucho menores que ω_c :

$$v_2 = j\omega R_{eq2} C_{12} v_1 \quad (5.7)$$

Por lo que el voltaje de interferencia es proporcional a la frecuencia y a la capacitancia mutua por lo que aumenta junto con ellas. Para frecuencias mucho mayores que ω_c :

$$v_2 = v_1 \frac{C_{12}}{(C_{12} + C_2)} \quad (5.8)$$

Y el voltaje de interferencia deja de ser proporcional a la frecuencia y aumentará para los incrementos de C_{12} . Note que en las ecuaciones (5.7) y (5.8), el voltaje de interferencia es proporcional a v_1 , y en ambos casos a mayor capacitancia de acoplamiento se obtiene una mayor interferencia. Por otra parte ω_c depende de la resistencia equivalente a tierra del circuito afectado, para circuitos con una resistencia equivalente baja la interferencia se incrementará con la frecuencia, pero al ser pequeña R_{eq2} , v_2 será pequeña. Si el circuito afectado tiene una resistencia equivalente a tierra alta, la interferencia es independiente de la frecuencia y mayor que para los circuitos de resistencia pequeña. Por lo tanto, la interferencia capacitiva será mayor para los circuitos de alta impedancia al contrario de lo que ocurre con la interferencia inductiva que será menor en estos circuitos y mayor para circuitos de baja impedancia.

La capacitancia mutua depende de la geometría y de los materiales entre los conductores. Esta es proporcional a la porción de área y permeabilidad del medio que hay entre la fuente y el

receptor e inversamente proporcional a la distancia Pueden darse problemas de acoplamiento capacitivo de campos eléctricos debido a la proximidad de las líneas conductoras del suministro de energía o el sistema de tierra al sistema de audio. En [12] pagina 468, tabla 10.1 se entregan valores de inductancias y capacitancias mutuas para geometrías de configuraciones comunes de circuitos de cables y de tablas de circuitos impresos.

5.1.3.-Radiación Electromagnética y Acoplamiento directo

Como el propio nombre lo indica, un campo electromagnético es un fenómeno compuesto de dos partes. Una parte eléctrica y una parte magnética, en una proporción específica entre la fuerza de estos campos. Las principales fuentes de energía electromagnética son: los transmisores de radiofrecuencias en general (estaciones de radio y televisión, los intercomunicadores de carabineros, bomberos, ambulancias, de taxis y vehículos privados, servicios de circuitos cerrado de comunicación vía radio, transmisión de datos, entre otros), servicios de telefonía móvil, cargas inductivas conmutadas, como motores de alta potencia y otras fuentes distantes del receptor. Este fenómeno puede ser estudiado en los llamados campo cercano y campo lejano. En el campo cercano es posible realizar un análisis aislado de los campos magnético y eléctrico. A medida que la radiación electromagnética continúa su recorrido, es alcanzado el campo lejano, donde la propagación deja de ser en forma de ondas esféricas para tener un comportamiento de onda plana, debiendo ser analizada entonces como una radiación electromagnética. A modo de referencia se considerará campo lejano para un campo, cuando este ha recorrido una distancia mayor a $\lambda/6$ desde la fuente. En la tabla 5.1, se observan algunas distancias críticas de campo lejano para frecuencias de campos electromagnéticos.

Tabla 5.1

Frecuencia campo electromagnético (Hz)	$\lambda/6$ de la frecuencia (m)
1 M	50
10M	5
100M	0,5
1G	0,05

Distancias críticas de campo lejano para frecuencias de campos electromagnéticos.

El acoplamiento de radiación electromagnética, también llamado acoplamiento directo en un circuito, se produce a través de cualquier conductor que con insuficiente blindaje y que se encuentra expuesto a una radiación electromagnética actúa como antena. La tensión de ruido aparece entre el conductor receptor y tierra.

El potencial de acoplamiento de un campo electromagnético es directamente proporcional a su intensidad. El valor está expresado en volt/metros y es calculado de forma aproximada por medio de la siguiente formula [6]:

$$I_{EM} = \sqrt{0,03 P/d} \quad (5.8)$$

Donde:

P = potencia radiada por la fuente en kilowatts

d = distancia entre la fuente y el receptor en metros

Cuando la intensidad es inferior a 0,1 v/m, los riesgos de interferencia son mínimos. Para valores entre 0,1 v/m y 3 v/m potencial riesgo de interferencia y sobre 3 v/m el riesgo de interferencia es real.

Si el espectro electromagnético es ordenado según la longitud de onda de menor a mayor, el principio estará ocupado por las ondas de radiofrecuencia, que comprenden campos de ondas de algunos cuantos Hz hasta las de 1 GHz. En una instalación moderna es casi imposible que grandes campos de radio frecuencia, RF, no estén presentes y simplemente porque un conductor se etiquete como "cable de tierra" o "escudo de cable" no evita la posibilidad que en presencia de RF se comporte también como una antena. Por consiguiente la presencia de energía de RF en los terminales I/O de todos los dispositivos del sistema debe ser considerada inevitable.

5.1.4.-Acoplamiento Conductivo

A diferencia del acoplamiento inductivo y el acoplamiento capacitivo, que son interferencias producidas por radiación, el acoplamiento conductivo, como su nombre lo indica, se origina por conducción y es llamado generalmente acoplamiento de impedancia común ya que el acoplamiento de la señal de interferencia se lleva a cabo por corrientes que circulan en una impedancia común de dos o más circuitos. Para entender este tipo de interferencia nos referiremos a la explicación de Pallás-Areny y Webster [12].

En la figura 5.4.(a) se muestra un amplificador operacional inversor conectado a una fuente de señal de voltaje, circuito al cual se le añade otro circuito alimentado por la misma fuente de voltaje en un bloque externo al amplificador considerado, pero en que la tierra de la fuente es común a ambos. El conductor de tierra entre el amplificador y el punto de tierra posee, aunque pequeña, una cierta impedancia Z en la que se producirá una caída de potencial producto del paso de la corriente i_i proveniente del circuito externo llamada v_i :

$$v_i = i_i Z \quad (5.9)$$

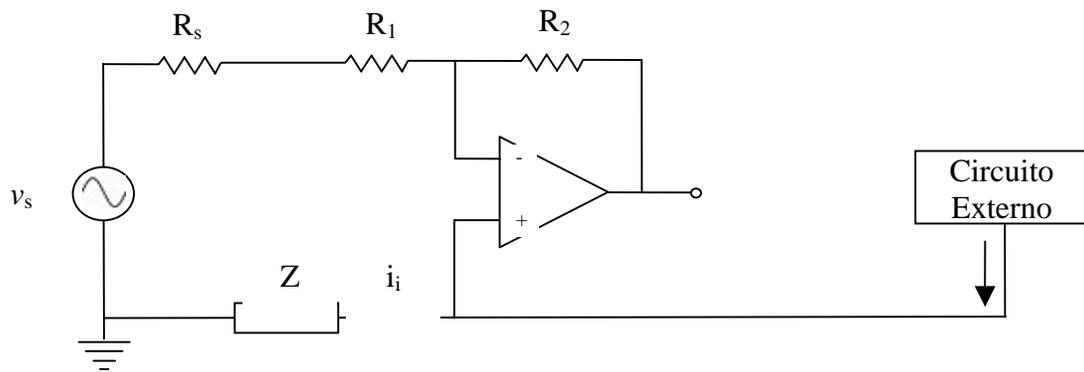
El circuito análogo es el de la figura 5.4.(b) y tendremos entonces dos fuentes para el amplificador, la fuente de voltaje de señal y una fuente de voltaje de interferencia, por lo tanto la salida del amplificador operacional será:

$$v_o = G(v_s + v_i) \quad (5.10)$$

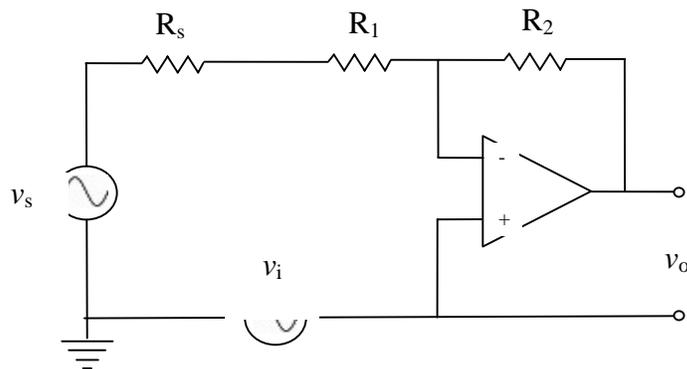
En el caso de un amplificador diferencial, la fuente de voltaje de interferencia, aparecerá como una fuente de voltaje de modo común, más que como una fuente en serie, y el voltaje de salida del amplificador será entonces:

$$v_o = G \left(v_s + \frac{v_i}{CMRR} \right) \quad (5.11)$$

La corriente proporcionada por la fuente de voltaje al circuito externo afectará al circuito considerado por medio de la impedancia común. Esta situación puede surgir en el suministro de energía, señal, y circuitos de tierra, y será probablemente indeseable en todos los casos y causa de ruido en los sistemas. Otros caminos de acoplamiento de impedancia común, no tan evidentes, se originan en los siguientes casos: fuentes de alimentación común a más de un circuito, inductancia o capacitancias entre circuitos, a alta frecuencia inductancia de cables, resistencias hacia la puesta a tierra, y capacidades parásitas entre escudos y tierra.



(a)



(b)

Figura 5.4.- (a) Acoplamiento conductivo, producto del flujo de corriente por una impedancia de tierra común a dos circuitos, (b) circuito análogo. (Fuente: adaptado de [12])

5.2.- Loops de Tierra

Un problema común en los circuitos son los loops de tierra. Una práctica fundamental en el diseño de tierras de equipos establece que la tierra técnica y la tierra de protección tienen que estar conectadas en un único punto, que será llamado punto de referencia de potencial cero. Esto nos asegura que el punto de referencia para los voltajes de señal se encuentra al potencial de la puesta a tierra, que es el voltaje al que teóricamente se encuentra la tierra de protección, evitando además así, extrañas capacitancias entre la tierra de señal y el chasis del equipo. Si esta conexión se realiza en más de un punto al interior del equipo se formarán loops en los que se puede producir acoplamiento magnético o conductivo. Pero, ¿qué ocurre cuando se interconectan dos equipos? Antes de responder esta pregunta, analicemos una de las funciones de la tierra de protección. Los conductores de protección en los cordones de alimentación de los equipos permiten llevar lejos de los encerramientos metálicos las corrientes parasitarias acopladas en estos. Además una serie de dispositivos como motores o equipos conmutables pueden contaminar con corrientes parásitas la tierra del sistema de alimentación de energía las cuales pueden ser pequeñas o pueden llegar a ser muy grandes dependiendo del grado de acoplamiento. Las corrientes en el conductor originan caídas de potencial y como consecuencia los enchufes, incluso de una misma habitación, rara vez tienen el mismo potencial a la puesta a tierra. Estas diferencias son pequeñas en comparación con los 220 volts del voltaje de suministro de energía, pero exceden fácilmente los niveles de voltaje de señal de audio.

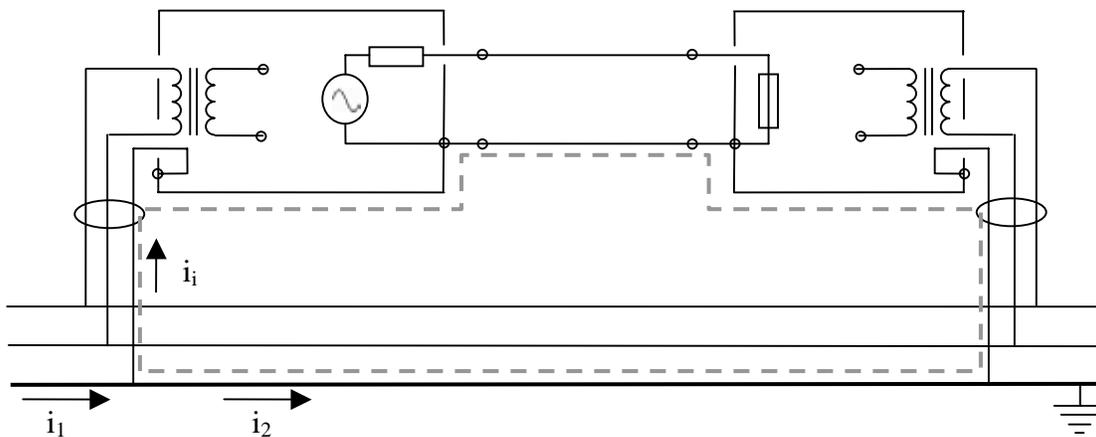


Figura 5.5.- Loop de tierra formado por la interconexión de dos equipos con transferencia de señal de único extremo o comúnmente llamada desbalanceada.

La figura 5.5 muestra una conexión de único extremo o desbalanceada, entre dos equipos que están enchufados a la misma línea de distribución de energía. Por otra parte la transferencia de señal, entre los equipos, implica conectar ambos encerramientos metálicos por medio del escudo del cable. Pero estos ya se encuentran conectados por medio del conductor de protección del cordón de alimentación de ambos equipos y el conductor de puesta a tierra del sistema de distribución. Por lo tanto parte de las corrientes parásitas del conductor de puesta a tierra fluirán a lo largo de la tierra de la señal, resultando en una interferencia conductiva, que en este caso en particular de una interconexión desbalanceada producirá una caída de potencial v_i en el escudo del cable, la que aparecerá en serie con la fuente de señal del circuito de interconexión. Este es tan solo uno de los casos de los loops de tierra dentro de las interconexiones de los equipos de un sistema y no debe tomarse como el único.

Si la configuración mostrada en la figura 5.5 la analizamos en forma de sistemas, podemos considerar los circuitos que conforman la transferencia de señal como un único sistema, figura 5.6, que involucra los dos dispositivos. Se tiene entonces un circuito en que se está transmitiendo una señal, en el que existe una tierra de referencia. La tierra de señal se encuentra conectada a la tierra de protección al interior de cada equipo, pues de esta forma se provee el potencial de referencia a la tierra de señal, además que al estar al mismo potencial de referencia

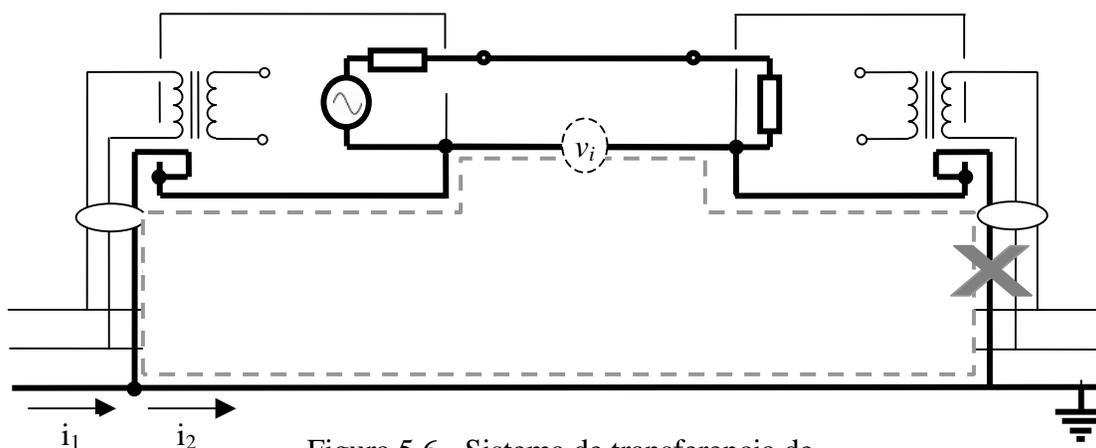


Figura 5.6.- Sistema de transferencia de señal puesto a tierra en dos puntos

el chasis del equipo y los circuitos de señal, se evitan extrañas capacitancias que también pueden inducir ruido. Al establecer el sistema de transmisión interconectando los equipos, el sistema de transmisión de señal queda conectado a la tierra de referencia en dos puntos, no cumpliéndose la regla fundamental de conectar la tierra de señal y la de referencia en un único punto, formándose así los loops conductivos. Se podría pensar en sistemas de transferencia de señal flotantes, pero en la práctica esto eleva los costos de los equipos sin que se logren resultados óptimos, ya que es difícil lograr un aislamiento completo pues siempre existirán capacitancias a tierra.

Este problema se puede evitar minimizando las corrientes parasitarias en el sistema de tierra del sistema de alimentación y las diferencias de potencial en diferentes puntos de la misma. En sistemas balanceados se pueden evitar desconectando uno de los extremos de los escudos lo que se traduce en la no formación de loops conductivos. Otro método es la utilización de un sistema de tierra estrella técnico aislado en el que cada equipo tiene su propio conductor de tierra de referencia que a la vez provee de tierra de protección y que son conectados en un único punto que presenta una impedancia hacia la puesta a tierra muy baja.

5.3.- Problema del PIN 1

La tierra de señal es conectada a la tierra de protección al interior de los equipos para tener una referencia común en la transmisión de señal y proveer un camino para las corrientes de retorno en el caso de los circuitos de único extremo. A pesar del riesgo de interferencia proveniente de los loops de tierra al momento de interconectar equipos la tierra de señal es universalmente conectada a la tierra de protección.

Los equipos electrónicos utilizan comúnmente transformadores en su etapa de alimentación para disminuir el voltaje de las líneas de energía y aumentar la seguridad del usuario limitando las corrientes entre el primario y el secundario. Sin embargo existen corrientes de fuga producto de la capacitancia existente entre el primario y el secundario que resultan significativas, comparadas con la señal. Si el secundario no estuviese conectado a la tierra de protección –chasis metálico o conductor verde-, las líneas de transmisión interiores del equipo pueden acoplar interferencias en la tierra de señal, debido a que la capacitancia existente entre

ellas proporciona un camino a tierra para las corrientes de fuga [12]. Como consecuencia es necesario conectar la tierra de señal y el secundario del transformador de alimentación a la tierra de protección. Esta conexión debe hacerse en un único punto de referencia de potencial cero de la señal, usualmente es una conexión central en el bobinado secundario del transformador de alimentación. Este punto único, será llamado, referencia de potencial cero de la señal.

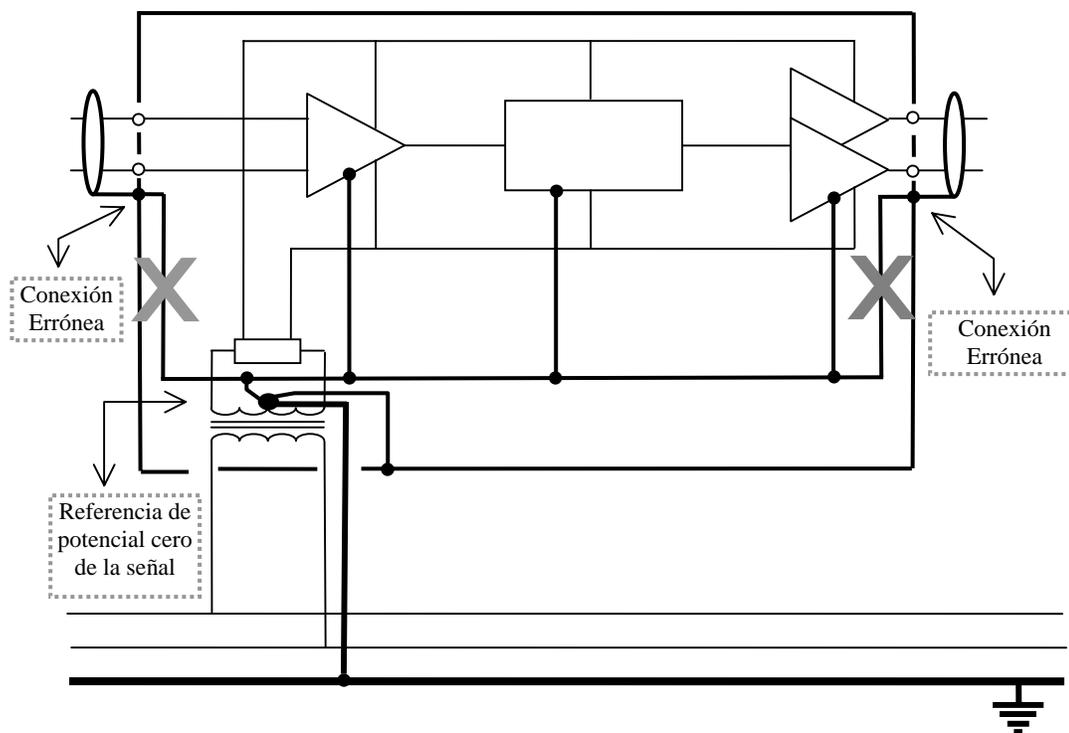


Figura 5.6.- Problema del PIN 1, en equipo con entradas y salidas balanceadas

En un hecho sin precedentes en el mundo de la electrónica, quizás por desinformación, o conceptos errados, algunos fabricantes de equipos de audio fueron llevados a construir equipos con la tierra de señal conectada en más de un punto a la tierra de protección, practica que se fue extendiendo en el tiempo según lo aseguran las publicaciones que dan cuenta de este problema. En los equipos de audio con este problema, además del punto referencia de potencial cero de la señal que corresponde al punto donde está conectado la tierra de señal y el encerramiento metálico que a su vez esta conectado al conductor de protección del cordón de alimentación, existe una unión de la tierra de señal con la tierra de protección en las entradas y salidas del equipo ya que el escudo de los cables de interconexión entrantes y que salen del equipo son

conectados al chasis del equipo y al mismo tiempo a la tierra de señal. En la figura 5.6 podemos ver el diagrama de un equipo con entradas y salidas balanceadas en que existe un problema del pin 1 y en donde las conexiones erróneas son marcadas con equis. Como se puede ver en la figura, se crean pequeños loops de tierra al interior del equipo susceptibles a interferencias por acoplamientos conductivos o inductivos, o lo que es peor aún, por las corrientes acopladas al escudo de los cables de señal, afectando finalmente a los circuitos de señal aumentando los niveles de ruido de los sistemas en los que estos equipos son participes. Aunque este problema es nivel de diseño de equipos, puede ser considerado al momento de realizar el diseño de las interconexiones entre los equipos de un sistema, por medio de la identificación de los equipos con este problema mediante los métodos descritos en [13]. Una vez identificados es posible realizar una reconfiguración de sus entradas y/o salidas. De no ser posible la reconfiguración, es recomendable no usarlos en sistemas en que los niveles de ruido son críticos o tener presente que pueden significar la disminución del rango dinámico del sistema.

5.4.- Inducción de Ruido por Corriente en el Escudo (SCIN)

La mayoría de los cables de par trenzado vendidos en Estados Unidos, que luego son importados a nuestro país, tienen un problema de diseño que causa lo que Neil Muncy [19], llama inducción de ruido por corriente en el escudo, o en ingles shield-current-induced-noise y conocido entonces como SCIN. El escudo de estos cables consiste de una hoja de aluminio con un cable de cobre, llamado cable de drenaje, en contacto con la hoja. En casi todos estos cables el cable de drenaje es torcido en la misma forma y proporción que el par conductor de señal, por lo que esta más próximo a un conductor que a otro. Cualquier corriente fluyendo en el escudo inducirá una corriente en cada uno de los conductores de señal. Por debajo de los 4 MHz aproximadamente, casi toda la corriente del escudo fluye por el drenaje ya que su resistencia es mucho mas baja. Debido a que el conductor de drenaje esta físicamente más cerca de un conductor que del otro, la corriente en el drenaje inducirá una corriente mayor en este conductor más cercano. En otras palabras, la corriente del escudo se convierte en un voltaje diferencial en el par de conductores de señal.

6.- Reducción de Interferencia en los Sistemas de Audio

Ya hemos establecido las principales causas y el modo de acoplamiento de los problemas más comunes de interferencia, que es posible encontrar en los circuitos e interconexiones de un sistema de audio. Existen otras causas y problemas que no son tan evidentes y que irán apareciendo en este capítulo como limitantes a ciertas “soluciones”.

En general visualizar los problemas de ruido y su origen en los circuitos de audio es un tema difícil de abordar dada la multiplicidad de factores que influyen y la diversidad de orígenes para estas interferencias. Si hemos de comenzar por alguna parte hemos de hacerlo por la fuente de energía de nuestro sistema, el sistema de alimentación, que por lo demás es una fuente bastante “contaminada” por decirlo de alguna forma, pero que es posible limpiar. Se continuará con un estudio de los escudos de los sistemas de audio y posteriormente con una mirada a fondo de las distintas formas de realizar las conexiones de audio para tratar de vislumbrar la mejor forma de hacerlo.

6.1.- Sistema de distribución de Energía y Tierra de Seguridad

Considerar el sistema de alimentación al momento de diseñar o procurar un sistema con bajos niveles de ruido es sumamente importante puesto que es una de las fuentes principales de interferencia. El sistema de alimentación puede contener corrientes parásitas debido a que este mismo sirve como sistema de alimentación para otros sistemas que poco o nada tiene que ver con nuestro sistema de audio, sobretodo si alimentan sistemas de alto consumo. Por ejemplo, se puede montar un sistema y ocupar los enchufes que proporciona el edificio; estos enchufes unos cuantos metros mas allá pueden estar interrelacionados a los enchufes que alimentan un motor o los dimmers de un sistema de iluminación, los cuales son sistemas que provocan un cambio de impedancia en la carga del sistema de alimentación y por lo tanto en la corriente que se les proporciona, diferencia que es devuelta al sistema en forma de corrientes parásitas o de fuga o que pueden provocar una sobre o baja de tensión del sistema. Estas corrientes presentes en el sistema pueden producir pulsos y oscilaciones en el sistema de audio ya que son acopladas al equipamiento por medio de los transformadores de alimentación de los mismos, esto genera ruido

de alta frecuencia. Por otra parte la tierra de protección del sistema de energía puede presentar diferencias de potencial en distintos puntos debido a la impedancia propia del conductor, provocando diferencias de potencial de los puntos de referencia respecto a tierra de la señal a transmitir entre los equipos del sistema o puede presentar corrientes que serán acopladas a los circuitos de audio.

Por lo tanto, es necesario tener un sistema de distribución limpio de grandes transientes y corrientes parasitarias o de ruido tanto en la fase como en el neutro y la tierra, con el fin de que estas no circulen por los conductores de señal y que al mismo tiempo esta tierra tenga un potencial lo mas próximo posible al de la puesta a tierra. En teoría debiera ser igual pero en el mundo real solo podemos aproximarnos a la teoría haciendo que la tierra de protección tenga una muy baja impedancia en su recorrido, permitiendo un fácil flujo de corrientes si es que existen. Todo esto en armonía con los códigos y normas de distribución de energía vigentes.

6.1.1.- Tipo de Sistemas de Distribución de Energía

Los tipos de alimentación de baja tensión, que son los que se ocupan generalmente son: monofásico de dos cables con un potencial de 220 volt entre los conductores, monofásico de tres cables uno de ellos proveniente de un tap central del transformador de distribución, proporciona dos potenciales, uno del doble de magnitud del valor nominal del potencial de fase a neutro, entre los terminales del secundario, y el otro de el valor nominal, entre cada terminal y el tap central, o neutro del sistema (forma común de distribución en otros países no permitido por la normativa nacional), trifásico de cuatro cables, tres fases y un neutro, sistema trifásico delta de tres cables y tres fases y sistema trifásico estrella de cuatro cables, tres fases y un neutro. Para una descripción en profundidad de estos sistemas, revisar [6], [10], [14], [16] y normativa nacional vigente.

En Chile se ocupa comúnmente: el sistema monofásico de dos conductores –neutro y fase- para dependencias de bajo consumo y el sistema trifásico de cuatro conductores –tres fases y un neutro- para edificios, ver figura 6.1. En industrias se pueden encontrar otros sistemas de alimentación.

El sistema de distribución óptimo para alimentar un sistema de audio es el monofásico, y la mayoría de los equipos están diseñados para funcionar con los potenciales mínimos de baja tensión, en el caso de Chile, 220 volts a 50 Hz, de no ser así, lo mas probables es que funcionen con 120 o 110 volts, dependiendo del país de origen del equipo, en este caso siempre es posible ocupar un transformador que disminuya el potencial de la tensión del sistema de distribución nacional.

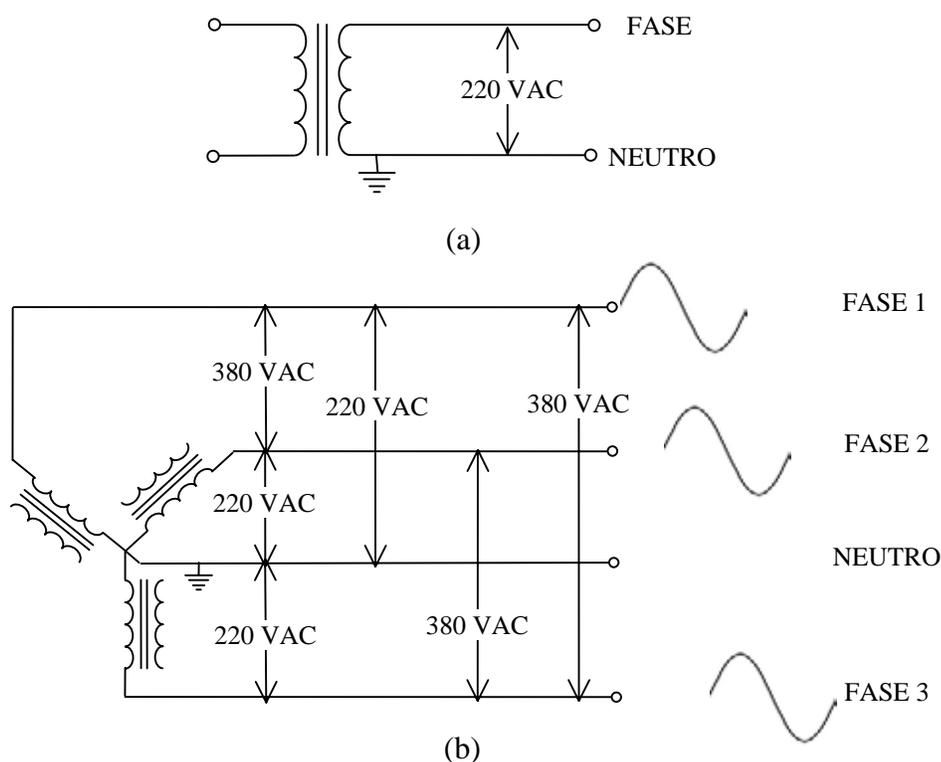


Figura 6.1.- Sistemas de Energía, (a) Monofásico 220 VAC, (b) Trifásico 220/380 VAC.
Fuente: Adaptado de [6]

6.1.2.- Conexiones a Tierra del Sistema de Distribución de Energía

El objetivo primario de conectar a tierra es asegurar y cuidar la vida de los usuarios y proteger el equipamiento y la propiedad. Los peligros principales son los rayos, alzas de tensión en las líneas – picos - y fallas en los equipos o en el cableado de estos que pueden energizar alguna parte expuesta.

La mayoría de los sistemas de distribución de energía de la compañía eléctrica, ese que esta tendido en los postes de la calle, están puestos a tierra. Los transformadores de distribución tienen uno de los conductores conectados a tierra por medio de una barra conductora colocada principalmente para entregar protección ante un rayo, rara vez es una buena tierra y puede ser eléctricamente ruidosa.

La norma nacional requiere de dos puestas a tierra; una puesta a tierra del sistema, que funciona como tierra técnica para el sistema de alimentación llamada por la norma tierra de servicio, que en definitiva es la puesta a tierra del conductor neutro y la puesta a tierra del equipamiento del sistema de alimentación o tierra de protección del sistema que en definitiva corresponde al conductor verde en una instalación.

La puesta a tierra de servicio debe ser hecha en el punto más cercano posible al empalme o entrada de servicio. De forma general se debe poner a tierra el conductor neutro de cualquier sistema derivado separadamente, que son los que nacen de transformadores de aislación, en que los conductores del primario no tienen contacto con el secundario. Las funciones principales de la tierra de servicio es proteger de rayos y sobretensiones del sistema de alimentación proveyendo un camino directo a tierra y entregando una referencia de potencial de tierra respectivamente.

La norma también establece que los sistemas tienen que estar protegidos por fusibles, interruptores automáticos o disyuntores antes de cualquier aparato de desconexión y que la puesta a tierra del sistema o puesta a tierra del servicio debe estar también antes de este aparato. Además establece que los conductores del sistema de tierra de protección deben ser transportados con los conductores de fase y neutro hacia cada panel de distribución y de ahí a cada lugar donde la corriente sea transportada. Con este fin se ocupa el conductor especializado, es decir el conductor verde. En algunas normas internacionales este conductor no es siempre necesario y cuando el sistema de tierra de protección sea suministrado por las canalizaciones y gabinetes metálicos del sistema. Este último si está bien instalado, puede proveer un camino de menor impedancia que un conductor. Es recomendable aplicar los dos sistemas en conjunto para el sistema de alimentación de un sistema de audio.

6.1.3.- El sistemas de Electroodos de Tierra

La función principal de los sistemas de electrodos de tierra es proveer un camino de muy baja impedancia hacia la superficie terrestre para las corrientes de rayos y otras transientes altas que puedan estar presentes en las líneas de energía principal.

Los estudios de la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) han demostrado que la energía de un rayo tiene un gran ancho de banda que va desde la corriente continua hasta muchos MHz, con un amplio pico alrededor de 1MHz. Es para esta componente que se debe asegurar un camino de baja impedancia. A 1 MHz la característica dominante en la impedancia de los conductores del sistema de puesta a tierra es su inductancia y no su resistencia. La inductancia de un cable esta determinada básicamente por su longitud, para reducirla, es importante que el conductor sea tan corto como sea posible. Al mismo tiempo tanto la inductancia como la resistencia, se reduce al tener muchos caminos en paralelo, o haciendo la conexión por medio de una cinta muy amplia de cobre o una trenza. La trenza es menos recomendada ya que se corroe más fácilmente, aunque para instalaciones no fijas puede ser mas práctica. Otra opción es hacerla por medio de una trenza plana de cobre pero es de un elevado costo.

El efecto piel en un cable causa que a medida que aumenta la frecuencia aumenta la resistencia del cable. Para el caso de los cables conductores del sistema de alimentación de energía su efecto es apreciable a los 180 Hz, por lo que hay que tenerlo en cuenta al momento de diseñar y elegir las dimensiones del conductor neutro para un sistema de 3 fases. Conductor que se ve afectado por el efecto de corrientes de terceros armónicos, corriente que en algunas ocasiones puede superar a las de una fase y por lo tanto este conductor tendrá que ser de un calibre mayor que el conductor ocupado para cada fase. Revisar [19], [22] y [23]

Por otra parte la inductancia de un cable varía muy poco al aumentar su diámetro. Por lo que aumentar su calibre solo sirve para disminuir la resistencia de este y evitar su sobrecalentamiento. Sin embargo si el conductor corre al interior de un conducto metálico acerado su inductancia puede aumentar bastante, tanto como en un factor 40, debido a la mayor

permeabilidad del acero. Para solucionar esto basta con conectar el cable al conducto en cada uno de los extremos y en cada empalme. Al hacer esto quedan en paralelo. A frecuencias superiores (en caso de un relámpago) casi toda la energía fluye por el conducto y a las frecuencias de energía fluye por el conductor, produciéndose así una sinergia, reduciéndose la inductancia.

La inductancia y la resistencia no son los únicos factores limitantes del sistema de electrodos de la tierra de protección. La conductividad del terreno varia ampliamente dependiendo de su composición y también del grado de humedad.

En general, la impedancia a tierra del sistema de electrodos puede ser minimizada para satisfacer las necesidades de un sistema de puesta a tierra para audio de la siguiente manera [19]:

- 1.- Usando más electrodos de tierra
- 2.- Alargando los electrodos de tierra y hundiéndolos más en la tierra, 3 metros es considerada una profundidad mínima.
- 3.- Espaciar los electrodos lo más prácticamente lejos posible; la norma chilena establece un mínimo de dos veces su longitud.
- 4.- Colocando los electrodos donde se encuentren constantemente expuestos a la humedad.
- 5.- Evitar el mejoramiento químico del sistema de electrodos. Ya que esto requerirá atención en el tiempo para mantener sus propiedades químicas.
- 6.- Aumentar el área específica de contacto con la tierra, usar un electrodo de mayor sección transversal y de mayor longitud o utilizar un electrodo U-fer (electrodo enterrado en hormigón conductivo).

La receptividad de diversos tipos de cementos armados varía en menos cuatro órdenes de magnitud dependiendo del preparado y de cómo es derramado. Algunos hormigones son específicamente diseñados para ser conductivos y pueden usarse para encajonar el electrodo de tierra, aumentando así la superficie de contacto con el suelo.

Es importante considerar la conductividad del cemento si equipos o racks son colocados sobre algún piso de hormigón y tener contacto conductivo con este. Pueden ser separados por medio de aislantes.

6.1.4.- Sistema de Tierra Técnico Estrella Aislado

Hasta hora se ha hablado solo sobre conexiones a tierra para seguridad de los usuarios y protección de los equipos. De aquí en adelante hablaremos mayoritariamente sobre conexiones a tierra para minimizar ruido en los sistemas de audio y que en Estados Unidos y países Europeos son conocidos como sistemas de tierra técnicos pues sirven para alimentar y poner a tierra equipos técnicos que necesitan de una referencia de tierra, como es el caso del equipamiento de los sistemas de audio. Se describirá en detalle uno de estos sistemas técnicos, específicamente el llamado sistema de tierra técnico estrella aislado. Antes de la descripción de estos tipos de sistemas analizaremos el por que de su utilización, punto de vista que nos entrega una forma clara de cómo abordar la problemática del ruido en los sistemas de audio.

Una de las reglas fundamentales de las interconexiones de sistemas de audio, establece que el escudo de los cables que conducen señal de audio no debería transportar corriente, especialmente en el rango de frecuencias de la señal. Por lo tanto una forma de minimizar el ruido en los sistemas es evitando que fluya corriente en los escudos que puede provocar un loop de tierra, un problema de SCIN o incrementar el problema de la presencia de un equipo con un problema del pin 1.

Hay tres mecanismos fundamentales que pueden provocar flujo de corriente en los escudos:

- 1.- Diferencia de potencial entre los dos extremos del cable lo que hace que fluya la corriente en el escudo. Consideremos para este caso un escudo conectado en sus dos extremos a tierra -chasis del equipo-, y que cada uno de los equipos tiene un potencial diferente entre las líneas de corriente y el chasis. Esto puede deberse a que casi todos los bobinados de los transformadores de alimentación internos presentan una cierta capacitancia entre ellos y el chasis, por otra parte, casi

todos los equipos presentan filtros para la EMI entre las líneas de alimentación y el punto del equipo establecido como tierra. Estos filtros incluyen capacitores lo que finalmente se traduce en diferencias de potencial entre los chasis de los equipos interconectados. Fallas en el cableado del sistema de alimentación de energía de un edificio pueden establecer grandes diferencias de potencial entre equipos de diferentes locaciones, además las ya mencionadas fallas producidas por las corrientes de fuga de equipamiento en el edificio como motores también son causantes de estas diferencias de potencial.

2.- Inducción Magnética, que hace que el voltaje inducido en un escudo debido a un campo magnético, al estar conectado en ambos extremos fluya.

3.- El efecto Antena, Neil Muncy en [1], señala que uno puede llamar a un conductor cable de audio, pero la madre naturaleza puede decir que es una antena. Cualquier señal de radio puede causar que la corriente fluya en el escudo.

Por lo anterior podemos deducir que para reducir las corrientes en el escudo, primero que nada debemos alimentar y referenciar todos los equipos con los mismos potenciales respecto a tierra, que esta tierra este en lo posible libre de corrientes parasitarias y que presente una impedancia lo más baja posible. Hay dos aproximaciones fundamentales a este objetivo o dos tipos de sistema de tierra técnica, la primera es la de plano de referencia, donde una gran superficie o malla equipotencial es desplegada, unida en todos los puntos en que ella se cruza y puesta a tierra. Posteriormente los chasis de los equipos y los escudos de los cables de señal son conectados a este plano equipotencial en múltiples puntos. En la implementación ideal el plano de referencia sería un conductor sólido esto es, claro está, práctico tan solo en un laboratorio y aún así su ejecución es difícil. La implementación práctica de una malla o plano de referencia consta típicamente de una rejilla conformada de conductores perpendiculares unidos en los puntos en que se cruzan, y a esta rejilla se conectan todos los elementos conductivos del edificio o dependencias.

La rejilla ideal minimizaría las diferencias de potencial entre objetos puestos a tierra en diferentes posiciones, minimizando la impedancia (la resistencia y la inductancia) entre esos

puntos. Los escudos de los cables, teóricamente, podrían ser adheridos al plano de referencia en ambos extremos de la conexión e incluso en muchos puntos entremedio, porque esos múltiples puntos estarían a idéntico potencial. Las corrientes en los escudos causadas por las diferencias de potencial entre los extremos, si llegara a existir, sería disminuida ya que la resistencia y la inductancia del escudo es mucho más grande que la del plano de referencia. La inducción magnética sería minimizada porque las áreas de los loops serían menores. El efecto antena sería minimizado ya que el plano de referencia tendería a "poner en cortocircuito" los campos electromagnéticos, sobretodo los de RF.

La segunda aproximación fundamental hacia un buen sistema de tierra técnico – que evite diferencias de potencial – es el sistema de tierra de estrella aislado. Un sistema de tierra estrella aislado no usa una tierra independiente, de hecho debe estar, unida a la tierra del sistema. Pero es usualmente adherida en un único punto, escogido por el diseñador del sistema. En Estados Unidos, país en que las canalizaciones generalmente se hacen con ductos metálicos, funciona de la siguiente manera; existen dos tipos de enchufes los enchufes normales y los enchufes técnicos, en el caso de los enchufes normales los ductos metálicos son unidos a las carcasas de los enchufes en conjunto con el conductor de tierra de protección (conductor verde), o simplemente la canalización cumple la función de tierra protección, y al enchufar la pata asociada a la tierra del equipo es unida en forma interna a la carcasa del enchufe y de aquí al sistema de tierra de protección. Los enchufes técnicos no conectan en forma interna la pata de tierra del equipo a su carcasa ni a los ductos metálicos, si no que lo hacen directamente al conductor de tierra de protección. Ahora un conductor de tierra aislado especializado es conducido a cada enchufe técnico de energía de sistema en la misma canalización que los conductores de fase y neutro y se conecta al terminal en que la pata de tierra de los equipos es conectada. Por lo tanto se dispone de un sistema de tierra de protección para el sistema de distribución, ductos y paneles, y otro que llega directamente a los equipos y que servirá como sistema de protección para usuarios y equipos y al mismo tiempo como tierra técnica de los equipos al proveer el potencial de referencia de tierra. Ambos sistemas se conectan en un único punto que será el centro de la estrella.

En cada sistema de tierra estrella aislada, ver figura 6.2, debe haber un único punto en donde el conductor de tierra técnico – recordar que es el conductor que llega a los equipo y proveerá el potencial de referencia y la protección requerida – sea unido a la tierra de servicio y la tierra de protección de servicio. Este punto se llama a menudo el punto común de tierra técnica o centro de la estrella. Los conductores de tierra aislados de cada enchufe llegan a una barra de tierra aislada en el panel que los alimenta, y esta barra debe ser conectada al punto común de tierra técnica. Jim Brown señala [19] que en un sistema pequeño que es alimentado desde un único tablero el punto común de tierra técnico puede estar en éste o que puede estar en el tablero principal. Se recomienda que sea preferentemente en la entrada del servicio, para que el sistema de tierra técnico no este relacionado a otros sistemas de tierras que pueden estar vinculados a cargas “ruidosas” [3].

En un sistema de tierra estrella aislada todos los equipos técnicos y conductores del sistema deben estar cuidadosamente aislados del contacto aleatorio con objetos puestos en tierra, pero debe ser puesto a tierra a través de sistema de tierra aislada y el punto común de tierra. Esto quiere decir que las barras de conexión de tierra del sistema conductores y todo equipo, incluyendo los racks de equipos, deben estar aislados de otras tierras incluyendo estructura metálicas del edificio, gabinetes de metal, canaletas conductoras, e incluso pisos de concreto conductivos, excepto en el punto común de tierra técnica.

En la figura 6.2 podemos ver que después de la entrada del servicio o un sistema derivado separadamente, específicamente en el tablero principal, el neutro del sistema es unido al encerramiento y a todas las tierras del edificio como es requerido por la normativa, estableciéndose el punto común de la tierra técnica. El sistema alimenta a uno o más tableros eléctricos locales o subpaneles, los cuales alimentarán enchufes de tierra aislada a lo largo de la instalación. Si otro tablero eléctrico es necesario, sería alimentado desde el tablero principal, y cableado de misma forma como el panel en la figura.

El modelo presentado es una adaptación del modelo usado en estados unidos y países europeos, y hay que señalar que en el caso de usarse dos conductores de tierra, como en la figura, debe quedar establecido un método de identificación del conductor de tierra aislado. En estados

unidos se utiliza un conductor verde con franjas naranjas y a la vez los enchufes con este sistema de tierra técnica son identificados por un símbolo anaranjado en su cara frontal.

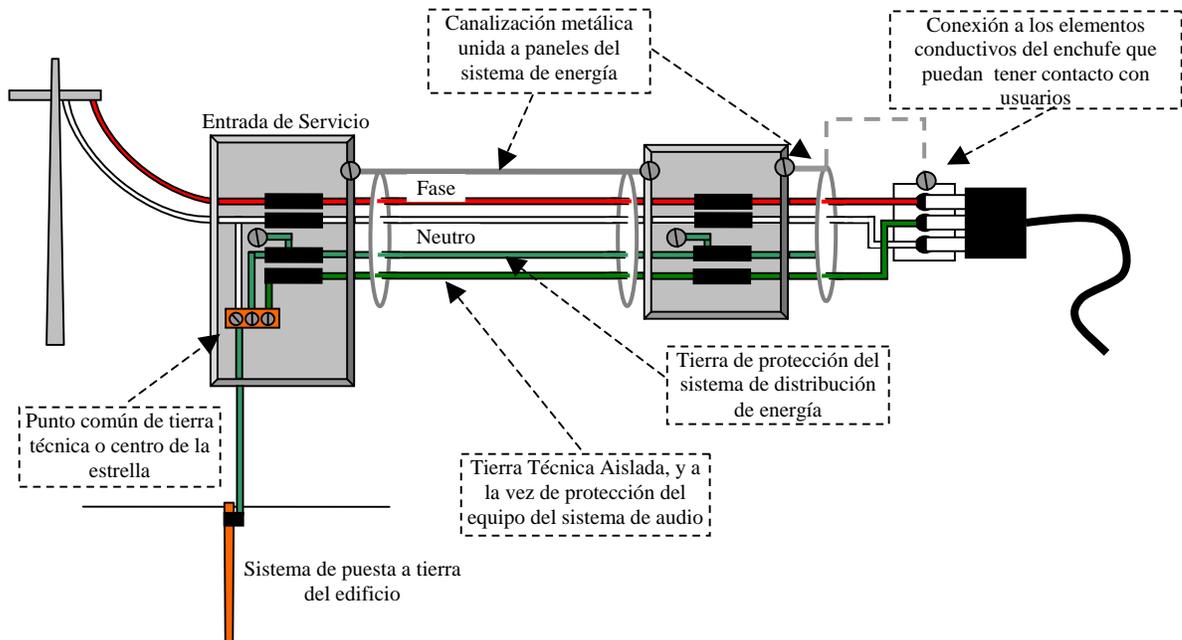


Figura 6.2.- Sistema de Tierra Técnica Estrella Aislado

Los racks de equipos de un sistema de tierra aislada deben estar aislados de otras tierras y unidos al sistema de conductores de tierra aislada, figura 6.3. Hay que tener en cuenta que existen diferentes tipos de racks, racks metálicos o de acero, de plástico con marco metálico o de aluminio, racks de madera u otro material no conductor y que llevan rieles metálicos para montar los equipos, por lo tanto se tiene que tener precaución de no conectar las partes conductoras del rack con algún otro sistema de tierra que no sea el de la tierra aislada. El conductor de tierra aislado del sistema de alimentación debe ser unido a una robusta barra de cobre la cual a la vez es unida al rack en múltiples puntos, armazón, marco de aluminio o rieles según el rack. La tierra de los enchufes al interior del rack debería estar unida a esta barra de cobre.

Recordemos que para cada enchufe que alimenta una unidad del sistema de audio -los racks son considerados como una unidad- debe existir un conductor de tierra aislada proveniente desde el punto de referencia de tierra aislada, en la práctica es difícil de lograr esto, por lo que Atkinson en [3], establece que un conductor de tierra aislado podrá servir como tierra para un máximo de dos enchufes contiguos.

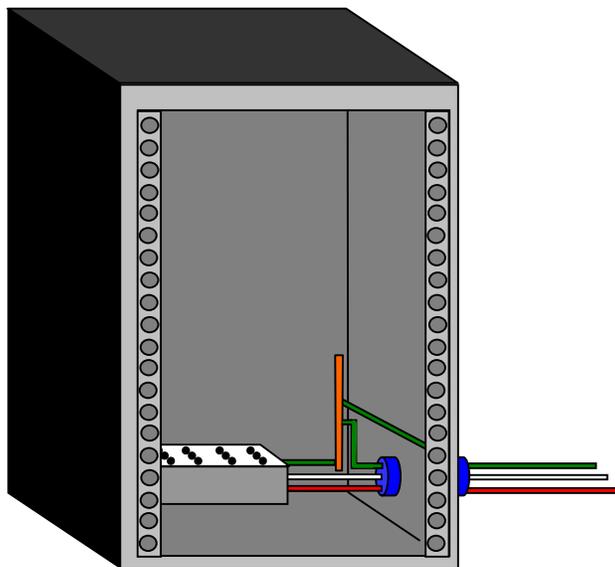


Figura 6.3.- Puesta a tierra de un rack de equipos.

La clave de un sistema de tierra técnico estrella aislado ideal estriba en que todas las tomas a tierra o brazos de la estrella tienen que tener la misma longitud, de ser así, todos los extremos de la estrella tendrán en teoría el mismo potencial respecto a tierra. No importa si los distintos brazos presentan resistencia ya que si todos están hechos del mismo tipo de material y tamaño, todos los brazos tendrán la misma resistencia y por lo tanto no existirá diferencia de potencial entre un extremo y otro, ver figura 6.4.

Los sistemas de tierra aislada minimizan las corrientes relacionadas con energía en los escudos minimizando las diferencias de potencial entre los extremos de los cables. Esto debido a que están conectados a la tierra de protección en un único punto y además porque los equipos no se encuentran conectados a la tierra de protección del sistema de alimentación que puede estar

vinculado a otro equipamiento con corrientes de fugas altas. Los sistemas de tierra aislada no hacen más pequeñas las corrientes de inducción magnética, ni ayudan a reducir las corrientes de RF en los escudos de los cables.

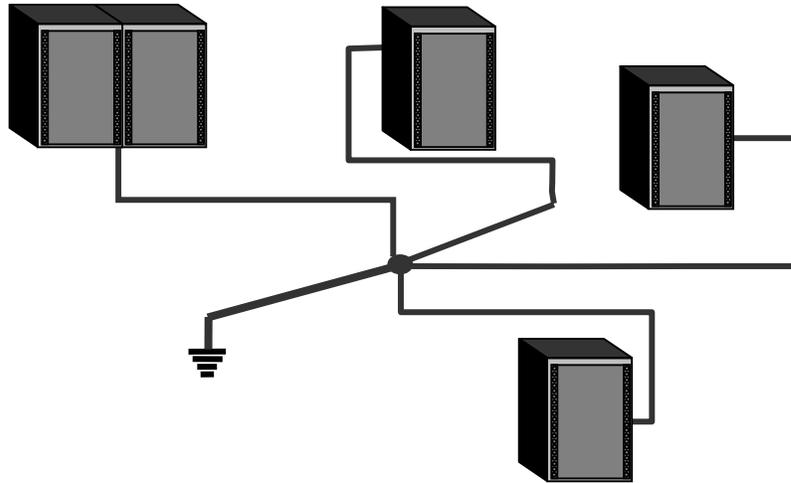


Figura 6.4 Todas las conexiones entre las locaciones de los equipos y el punto de puesta a tierra aislada deben tener la misma longitud.

Por lo tanto los sistemas de tierra estrella aislada o tierra técnica sirven ampliamente para audio, además de ser mucho menos costosos de instalar que un sistemas de malla de tierra proporcionando un nivel igual de protección a problemas de ruido, y porque protección a inducciones magnéticas e interferencia de RF puede ser logrado por medio de otras técnicas simples. Para estudiar los principio y el diseño de un sistema de tierra aislada revisar [3], para consejos prácticos revisar [8] y [19].

6.1.5.- Sistema de Distribución de Energía Balanceado

Un sistema de alimentación de energía balanceado, consiste en un sistema de alimentación derivado separadamente por medio de un transformador de aislación de proporción de tensión de 1:1, proveniente de un sistema de alimentación convencional de fase única, cuyo secundario es puesto a tierra por medio de una conexión central, por lo que la tensión en sus terminales será de la mitad de la tensión nominal del sistema, en el caso de Chile sería de 110

volts respecto a tierra, ver figura 6.5. Dada su complejidad de instalación es recomendado para estudios de grabación e instalaciones fijas. El funcionamiento de este sistema se basa en el mismo principio de los circuitos balanceados de audio y según sus diseñadores y defensores, liderados por la firma **Equi=Tech Corp.**, pretende atacar dos causas comunes de ruido en los circuitos, las corrientes reactivas de las cargas, las cuales son anuladas en el punto de puesta a tierra del bobinado secundario, alma del sistema de alimentación balanceado, y que en los sistemas convencionales son conducidas al sistema de tierra por medio de la puesta a tierra del conductor neutro, y la presencia de RF en los conductores de alimentación, las cuales se acoplaran en la misma cantidad a la tierra de los equipos por medio de filtros de condensadores especiales para esta causa, comunes en los equipos de audio, indicados como FRF en la figura 6.5. Otro problema que evitaría este sistema de alimentación es la sobrecarga del conductor neutro con componentes de corrientes armónicas. El funcionamiento en la eliminación de ruido de estos sistemas es simple, [24], una reducción en el ruido en la tierra de protección de los equipos causara una disminución en el sistema de escudos del equipamiento. En el caso de conexiones desbalanceadas esta reducción es directa y proporcional, 10 dB menos en el escudo significa 10 dB menos en el ruido de la señal.

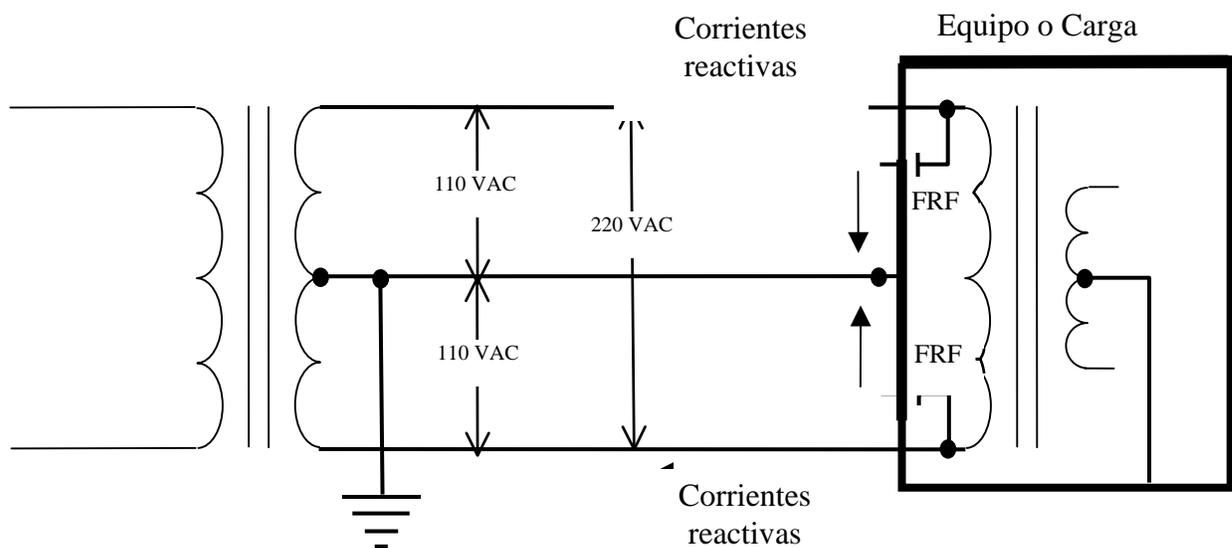


Figura 6.5.- Sistema de alimentación balanceado
Fuente: Adaptado de [19]

Al estudiar sobre este tema se encuentran opiniones contradictorias, sobretodo porque la información acerca del tema es entregada por los propios diseñadores de este tipo de sistemas u otros diseñadores que fabrican otros dispositivos para controlar estos tipos de anomalías en los sistemas de alimentación.

En el paper [24] presentado por el equipo de *Equi=Tech Corp.* se explican los fundamentos del sistema, se señala que al aplicar sistemas de potencia eléctrica balanceada en todo un sistema de audio, se ha notado una mejora de hasta 16 dB en el ruido eléctrico de fondo como promedio. En sistemas que involucren equipos digitales de 24 bit, esta cantidad de mejora puede marcar la diferencia entre usar la máxima capacidad de manejo de señales de los equipos digitales o no.

Se asegura que utilizando un sistema de alimentación de estas características el sistema de tierra permanecerá libre de corrientes parásitas, proveniente del sistema de alimentación, ¿pero que pasa con la tierra de referencia de los distintos equipos? Esta tiene que ser igual para todos los equipos conectados de no ser así las corrientes provocadas por acoplamiento inductivo y magnético terminarían en la tierra del sistema creando diferencias de potencial a lo largo de esta. Para evitar este problema es necesario que cada equipo tenga su propia tierra técnica aislada y que estas tierras provean el mismo potencial de referencia en todos los puntos del sistema

Por otra parte los detractores del sistema de distribución de energía balanceado señalan que un sistema de este tipo no puede proporcionar más que de 10 a 6 dB de reducción en el ruido de fondo de un sistema. Además se señala que en el caso de Estados Unidos la normativa exige una serie de requisitos a estos sistemas, por lo que su costo se eleva, concluyendo finalmente que una implementación de este tipo tiene un costo muy elevado para una disminución de tan solo 10 dB y que una tierra técnica aislada brindaría mejores resultados. En el caso de Chile los sistemas de subalimentación también tienen una serie de exigencias y obviamente una instalación de este tipo debe ser autorizada por la SEC u otro organismo o persona autorizadas para realizar esta función por dicho organismo.

6.1.6.- Mejorando la Calidad de la Energía

En teoría la energía del sistema de alimentación debiera ser constante, tanto en su potencia como frecuencia, pero la realidad es distinta y estas anomalías pueden producir un mal funcionamiento del sistema lo que se puede producir ruido o pérdida de datos en los sistemas digitales. La energía del sistema de alimentación puede presentar una o más de las siguientes anomalías:

1. Subvoltajes o sobrevoltajes, que varían dentro de un rango pequeño.
2. Pérdidas intermitente del servicio o caídas del sistema. Estas pueden ser de tan solo una fracción de segundo o de horas e incluso días.
3. Altas transientes de voltaje u oleadas de voltaje. Las causas más comunes de transientes son los relámpagos y el encendido, generalmente en una posición remota, de algún equipo de alto consumo (motor o un generador). Estas transientes pueden ser de algunos voltios a muchos miles de voltios y pueden durar algunos segundos o menos.
4. El factor de potencia de desplazamiento (coseno del ángulo de retraso entre la corriente y el voltaje en un sistema de energía) puede ser bajo. La causa primaria de un factor de potencia bajo de desplazamiento es la presencia de cargas altamente inductivas (principalmente motores, pero también la magnetización e inductancias de fuga de grandes transformadores). Las preocupaciones principales con un factor de potencia bajo de desplazamiento están que; la compañía de energía debe entregar más corriente para una cantidad dada de energía y que la corriente causa incrementó en el calentamiento del cableado, los conectores, los transformadores, y los generadores. El factor de potencia de desplazamiento no es generalmente una preocupación principal en los sistemas de audio.
5. El ruido de radiofrecuencia puede ser acoplado en las líneas de energía o en la tierra de protección, por fuentes de alimentación conmutadas, especialmente aquellas que son pobremente diseñadas. Este ruido puede causar interferencia seria en receptores de radio (emisoras y

receptores de AM y FM, receptores de micrófonos inalámbricos). Si este ruido afecta el blindaje de los cables, podría acoplarse en circuitos de la señal por medio del problema del pin 1, por medio del fenómeno de SCIN, desequilibrio en la capacitancia en los circuitos balanceados y las caídas de potencial en el escudo del cableado desbalanceado. Las fuentes de alimentación, los cargadores de baterías de alto consumo y equipamiento comercial como herramientas mecánicas, iluminado de bajo voltaje, entre otras, son fuentes notorias de ruido de RF.

En la figura 6.6 se muestra el espectro de las corrientes de ruido en el escudo del cableado de una conexión entre equipos en posiciones muy distantes. Los picos grandes en la izquierda son la fundamental de 60 Hz y armónicos de orden inferior. Las componentes por encima de 100 kHz comúnmente tienden a ser ruido de fuentes conmutadas y una cierta cantidad de estas por encima de 500 kHz pueden ser debido a interferencia de radiodifusión AM. Los componentes de al medio, de 1 kHz y 100 kHz son probablemente debido al ruido acoplado de motores, campos radiados por monitores CRT, y el ruido de conmutación de una variedad extensa de otros equipos. Los espectros de ruido se extienden muy por encima del límite de 1 MHz de este barrido.

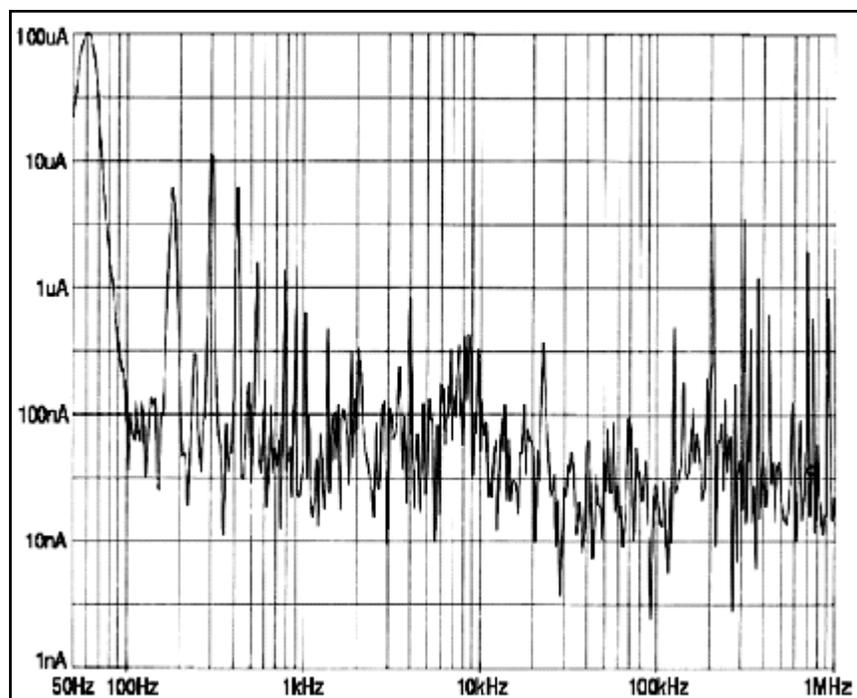


Figura 6.6.- Espectro del ruido típico en el escudo de una interconexión de audio.
Fuente: Extraído de [19]

El mejoramiento de la calidad de energía abarca muchos conceptos, no solo la mejora del sistema de tierra, y es un término más bien amplio que involucra corregir los problemas presentados recientemente. Este significado más amplio, conlleva la regulación de voltaje, es decir que sea estable y constante, supresión de sobretensión, evitar fallas de periodos cortos del suministro que puedan dañar el equipo y filtrado de pasabandas para reducir ruido. Algunos incluso pueden tratar de hacer más pequeñas las corrientes armónicas. Hay diversas formas de controlar estas anomalías en el sistema de alimentación, algunas más eficaces que otras, en el sentido que darán solución a más de uno o incluso todas estas fallas. La oferta de dispositivos es amplia y hay que estar informado para hacer una buena elección.

6.1.6.1.- La supresión de sobretensiones

Existen diferentes dispositivos para controlar la sobretensión, son ocupados tradicionalmente los dispositivos conocidos como MOV (metal oxide varistor) los cuales ocupan un método designado de derivación y que por medio de un varistor, que es un elemento cuya resistencia depende de la tensión aplicada a sus terminales, desvía la sobretensión hacia el neutro y de ahí a tierra. Una alta tensión que aparezca a través de un varistor será limitada a un valor específico y la corriente resultante será derivada por el varistor impidiendo que circule por los sensibles circuitos electrónicos de los equipos. Este método acarrea problemas evidentes, contamina el neutro y la tierra del sistema, fallan a menudo sin previo aviso y generalmente de forma destructiva. Puesto que una vez que han fallado, no proveen protección, un MOV tiene una vida finita y su habilidad para desviar las sobretensiones se degenera con el paso del tiempo, y sin dar aviso.

Los dispositivos de eliminación de sobretensión de modo de serie funcionan de forma muy diferente, estos almacenan la energía de sobretensión en un circuito resonante y eliminándola lentamente después hacia la línea de energía eléctrica desde dónde vino. Supresores de sobretensión de modo serie de buena calidad superan todas las limitaciones de los dispositivos de modo de derivación – no tienen duraciones de vida finitas, su actuación no se degenera con el tiempo y no acoplan ruido a la tierra. Los supresores de modo de serie actualmente tienen sólo una limitación importante – es práctico solamente construirlos lo

suficientemente grandes como para proteger ramas de circuitos del sistema de alimentación. Los dispositivos de modo de derivación todavía deben ser usados cuando la protección es necesaria en el servicio del edificio y en los enchufes de sistema.

6.1.6.2.- UPS, Equipos de suministro continuo de energía

Los equipos de suministro continuo de energía, o ampliamente conocidas como UPS por sus siglas en inglés (uninterruptible power sources) son equipos diseñados para asumir el control y proveer energía en caso de la caída del sistema de alimentación. Algunas UPS están también diseñadas para tomar el control cuando el voltaje desciende bajo de un cierto nivel y muchas unidades UPS tienen capacidad de regulación de voltaje. Una UPS para poner a funcionar un sistema entero de sonido sería muy grande y muy cara, pero pueden ser utilizadas para equipos sensibles dentro del sistema de audio, siendo compatibles por lo demás con el sistema de tierra del sistema.

Las UPS vienen en varias formas básicas, y con varias variantes dentro de estas. En un principio existía la UPS conocida hoy como fuente de energía continua en línea, o UPS verdadera, dispositivo que esta todo el tiempo produciendo corriente continua para mantener una batería de seguridad siempre cargada y simultáneamente usando aquella corriente continua para energizar un inversor que regenera el voltaje inicial de corriente alterna requerido para energizar el equipo protegido. Idealmente el voltaje regenerado debiera ser una onda senoidal pero en realidad el voltaje regenerado puede ser sólo una aproximación de una onda senoidal verdadera. Cuando la energía desciende, la batería provee la corriente que será dirigida al inversor y de ahí al equipo o los equipos protegidos.

El segundo tipo, y ahora el más común, es la UPS fuera de línea o suministro continuo de energía eléctrica "de relevo". La unidad UPS monitorea la línea de energía para asegurarse de que la energía principal está presente y dentro del rango de tolerancia, y mantiene la batería de reserva completamente cargada. Cuando la energía principal es "buena" el equipo protegido funciona con la energía proveniente directamente de las líneas de energía eléctrica. Si la energía

es interrumpida la UPS rápidamente entra en acción, usando la batería como una fuente de energía para regenerar el voltaje de las líneas de energía.

La UPS verdadero siempre opera como una fuente derivada separadamente, y por su naturaleza, provee un grado alto de aislamiento al ruido de las líneas y sus transientes. También funciona como un regulador de voltaje – siempre y cuando haya suficiente voltaje para manejar el proceso de conversión de AC/DC/AC y que la corriente de carga permanezca dentro de los límites. La UPS auxiliar es un sistema separadamente derivado sólo cuando regenera energía, y sólo entonces provee aislamiento al ruido de las líneas de alimentación y las transientes. Aunque muchas unidades modernas de suministro continuo de energía eléctrica incluyen un circuito ingenioso de regulación de voltaje, que utiliza transformadores elevadores-reductores o transformadores “boost-buck” adentro y fuera del circuito de la UPS

Virtualmente todas las unidades modernas de UPS proveen supresión convencional de sobretensión de modo de derivación usando MOVs. Por esta razón, siempre debería haber una unidad de supresión de sobretensión en modo serie entre la UPS y las líneas de energía.

6.2.- Escudos

Un escudo se puede definir como una partición metálica colocada entre dos regiones del espacio que es usada para controlar la propagación de campos eléctricos y magnéticos de un lugar a otro. En el caso de los circuitos y conductores el control de la propagación minimiza la interferencia capacitiva e inductiva mediante la reducción de la capacitancia e inductancia mutua respectivamente entre el circuito fuente de la interferencia y el receptor.

6.2.1.- Escudos Eléctricos

Proteger o escudar un conductor contra campos eléctricos significa encerrar este por otro conductor llamado escudo eléctrico o escudo de Faraday, el cual se mantiene a un potencial constante. Si el conductor interior se encuentra a un potencial diferente las líneas de flujo eléctrico de este terminarían en el conductor que lo encierra, de forma inversa, las líneas de flujo eléctrico de cualquier conductor externo alcanzarán solo al escudo y no llegarán al conductor interno. Como uno de los resultados, la capacitancia mutua entre un conductor externo y el conductor interno será igual a cero.

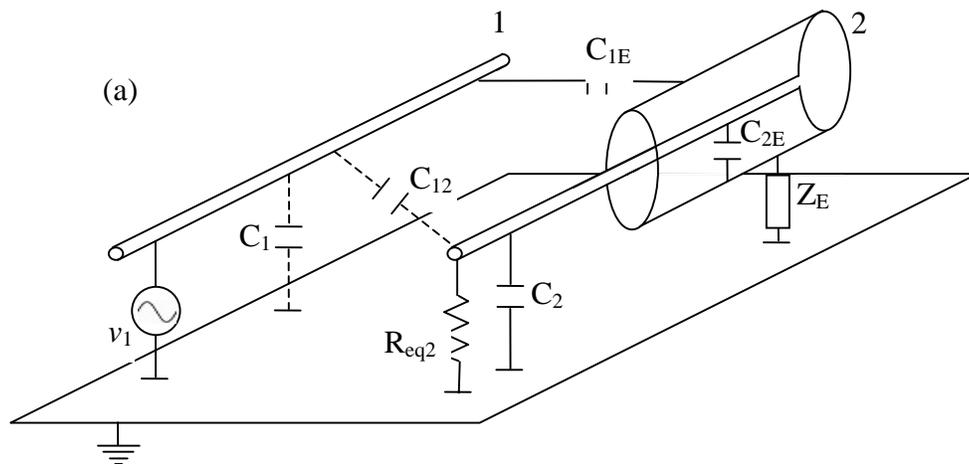


Figura 6.9.- Acoplamiento capacitivo, entre el conductor 1, que está a un potencial variable y el conductor 2 encerrado por un escudo conectado a tierra. Extraído de [13]

En la figura 6.9 se describe un acoplamiento capacitivo entre dos conductores, uno de estos encerrado por un cilindro conductivo o escudo eléctrico, por lo que en este caso la capacitancia C_{12} entre los conductores será muy pequeña, idealmente 0, si es que el conductor 2 se encuentra totalmente encerrado por el escudo. Entonces el potencial que puede alcanzar el conductor 2 producto de un acoplamiento capacitivo dependerá del potencial que alcance el escudo, pero este potencial será bajo si la impedancia Z_E es lo suficientemente baja. Ahora si el escudo no estuviera conectado a la tierra, es decir si Z_E fuera infinita o muy alta, este podría alcanzar algún potencial que sería fácilmente acoplado al conductor 2 debido al gran valor de la

capacitancia mutua C_{25} entre el escudo y el conductor. Un escudo flotante es a menudo peor que el no tener un escudo, esto no significa que los escudos deben estar siempre puestos a tierra, si no que los escudos deben ser conectados al punto de referencia de potencial cero de la señal de los circuitos encerrados por estos, sin importar si los circuitos se encuentran puestos a tierra o no.

La interferencia capacitiva puede ser reducida por medio del escudamiento de la fuente de la interferencia, el receptor o ambos. Comúnmente solo el receptor es escudado debido a que este es más pequeño y a la vez es difícil controlar todas nuestras fuentes de campos eléctricos. En todo caso un escudo eléctrico completo es difícil de llevar a cabo cuando en los dispositivos hay conexiones de entrada y salida de señal, como comúnmente sucede, a menos que estas conexiones de entradas o salidas sean ópticas.

6.2.1.1.- Conexión a Tierra de los Escudos Eléctricos.

Los escudos eléctricos que encierran circuitos conectados a tierra deben ser ellos mismos conectados a tierra, pero sin olvidar la regla de que debe hacerse en un único punto, de otra forma corrientes de interferencia acopladas al escudo podrían producir una caída de voltaje entre los diferentes puntos de conexión a tierra debido a la impedancia finita del escudo produciéndose los loops de tierra y por lo tanto interferencia conductiva. El punto de conexión a tierra de los escudos eléctricos debe ser elegido de manera que las corrientes de interferencia acopladas al escudo no sean inyectadas al interior del camino de la señal. En el caso de los equipos, el conductor de puesta a tierra del sistema de alimentación, como se puede ver en la figura 6.10, llega al punto de referencia de potencial cero R de la señal de la circuitería interior y es en este punto donde debe ir conectado el escudo de la circuitería o chasis, como se observa en (a) y no a un punto cualquiera de la tierra de señal como se ha hecho inadvertidamente en (b), en este último caso las corrientes acopladas al escudo serán introducidas a la circuitería de señal por medio de un acoplamiento de impedancia común.

Los escudos eléctricos de los cables de señal deben ser conectados a tierra de acuerdo a la misma regla de los escudos que encierran circuitos, es decir en un único punto cuidadosamente elegido de forma tal de no introducir señales de interferencia en la tierra de señal, esta regla es

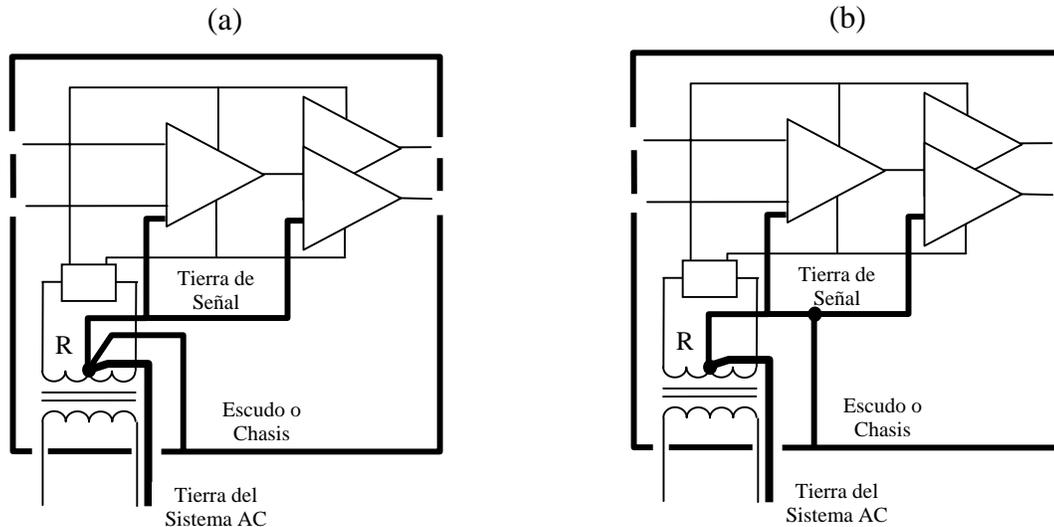


Figura 6.10.- Conexión a tierra de un escudo eléctrico, (a) hecho de forma correcta, haciendo que las corrientes de interferencia drenen por la tierra del sistema AC, en (b) estas corrientes recorrerá parte de la tierra de la señal

inadvertidamente quebrada cuando se utilizan tanto conexiones de único extremo o desbalanceadas y conexiones balanceadas en que los dos extremos del escudo son conectados a los chasis de los equipos, formándose así los loops de tierra. Hay que señalar que en el caso de conexiones desbalanceadas, el escudo del cable es utilizado como parte del camino de retorno de señal. Los equipos que introducen en su diseño el llamado problema del pin 1 poseen múltiples conexiones entre el escudo eléctrico y la tierra de señal.

Que lado elegir para conectar el escudo, es un tema que hay que analizar en cada caso puesto que este debe ser conectado al punto de referencia de potencial cero de la señal y este ponerlo a tierra asegurándose así que las corrientes parásitas fluyan solo por el escudo del sistema convirtiendo al escudo del cable en tan solo una extensión del escudamiento eléctrico del equipo. Los siguientes ejemplos descriptivos ayudaran a tener una idea general de donde realizar la conexión del escudo en pos de la configuración de la fuente y el receptor. Una señal desbalanceada referenciada a tierra dirigida hacia una entrada diferencial, figura 6.11. (a) o desbalanceada flotante, 6.11. (b) es mejor conectarla con un cable de par trenzado con el escudo conectado en el lado de la fuente.

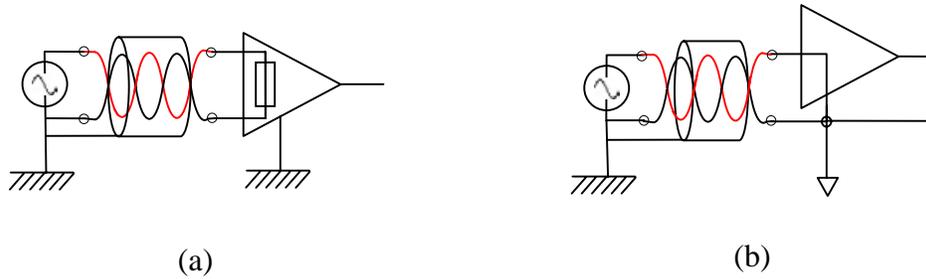


Figura 6.11.- Conexión a tierra del escudo eléctrico de un cable de una señal referenciada a tierra en la fuente, (a) hacia una entrada diferencial (b) hacia una entrada desbalanceada flotante. Fuente: Adaptado de [12]

En el caso de la figura 6.11.(b) si el escudo fuera conectado en el lado del amplificador desbalanceado, las corrientes acopladas en el escudo regresarían a la tierra de señal por medio de los cables de señal. Si fuera conectado a tierra en ambos extremos la interferencia resultante dependería de las diferencias de voltaje entre las tierras de señal de la fuente y el amplificador y de la impedancia del loop de tierra creado.

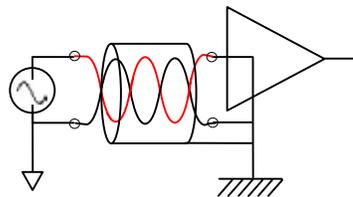


Figura 6.12.- Conexión a tierra del escudo eléctrico de un cable de una señal flotante

Las señales flotantes ya sean desbalanceadas o diferenciales, pueden ser directamente conectadas a un amplificador conectado a tierra desbalanceado o balanceado respectivamente y el escudo conectado entonces al lado del amplificador, como se observa en la figura 6.12.

Se debe considerar la selección del cable, por ejemplo el factor de cubrimiento de las protecciones trenzadas no es de un 100 %, ni cercana a esto, ya que dependerá de la cantidad de cables y de los espacios abiertos en el trenzado. Los cables protegidos por hojas entregan un 100 % de protección o aislamiento, pero son más caros y difíciles de maniobrar. Los cables planos se ven bien, pero incluso los modelos escudados son inapropiados para señales de bajo nivel, dada la

geometría del cable. El experimento de prueba de cables descrito por Muncy en su paper [1] puede ayudar a determinar que tipo de cable utilizar. El montaje del experimento es mostrado en la figura 6.13. El rango dinámico del sistema era mayor al rango dinámico considerado aceptable en un sistema de audio, con un ruido de fondo de -96 dBu y un nivel de clip de $+22$ dBu, el nivel de corriente inyectado a la tierra del sistema fue de 100 mA. Se probaron muestras de 53 metros de longitud de diferentes cables de dos conductores escudados. Se hicieron mediciones para ver con que tipo de configuración se acoplaba mayor cantidad de ruido, con el escudo conectado en ambos extremos y con el escudo conectado solo en la fuente para cada una de las muestras de los cables. El orden de los tipos de cables de mayor a menor inmunidad a la SCIN es el siguiente:

- 1.- Cable con dos escudos de alambre de cobre enrollado envueltos en oposición.
- 2.- Cable de par torcido con escudo trenzado
- 3.- Cable Star-Quad (cuatro conductores) con escudo trenzado
- 4.- Cable de par torcido con escudo de alambre de cobre enrollado y cable de drenaje interior.
- 5.- Cable de par torcido con escudo de lámina con cable de drenaje interior enrollado en la misma dirección y grado de inclinación que el par de conductores.
- 6.- Cable de dos pares escudados, escudo de lámina individual para cada par con un cable de drenaje exterior enrollado en la misma dirección y grado de inclinación que los pares.

En todas las mediciones en que se conecto solo un extremo el ruido de fondo del sistema no se incremento, es decir no hubo acoplamiento de interferencia y el caso de los dos extremos conectados solo en dos muestras de cables los niveles de ruido acoplado estuvieron por encima de -70 dBu el cual es considerado el limite aceptable para un sistema digital de 16 bit, esto ocurrió para los dos últimos tipos de cable de la lista. Los resultados del experimento sugieren que el mecanismo principal de acoplamiento es magnético puesto que el acoplamiento con el escudo desconectado en un extremo es mínimo comparado con el ruido de fondo del sistema.

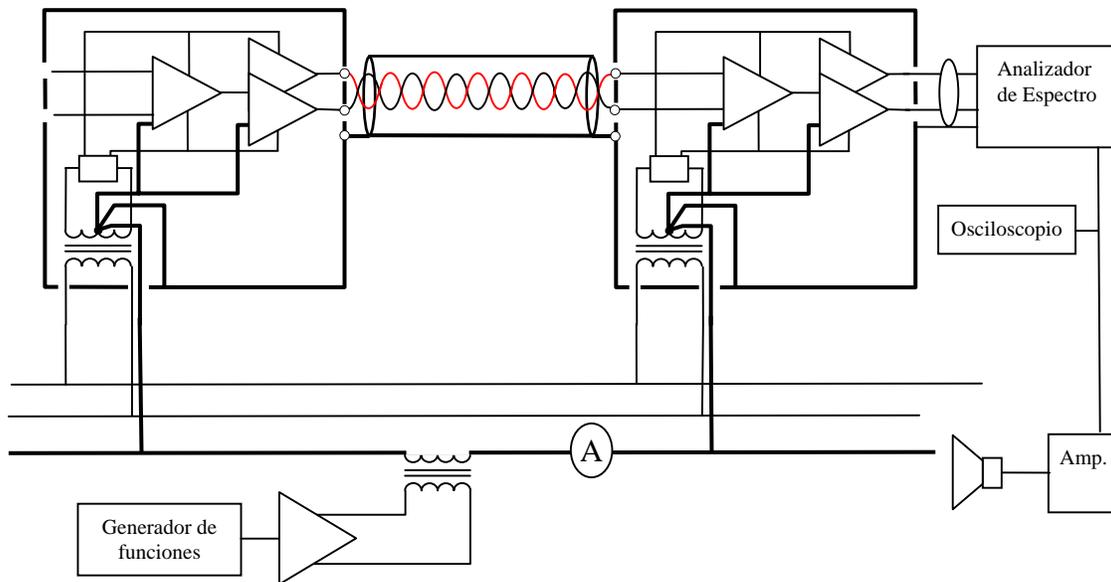


Figura 6.13.- Experimento realizado por Neil Muncy para medir la inmunidad al ruido inducido por las corrientes en el escudo (SCIN) en diferentes tipos de cable.

Aunque conectar el escudo en un solo extremo es la mejor forma de hacerlo, su implementación requiere de un análisis que es factible realizar solo para instalaciones fijas y no para instalaciones móviles en que la reconfiguración del equipamiento del sistema es habitual. Por otra parte la mayoría de los cables que se venden traen conectado el escudo en ambos extremos por lo que es necesaria una configuración personal de los cables de interconexión. Hay sistemas que tienen el escudo conectado en ambos extremos pero sus niveles de ruido son aceptables, tal como lo demuestra el experimento de Muncy, recordemos que si el escudo del cable es conectado en ambos extremos a puntos extremos que presentan el mismo potencial, se minimizará el flujo de corrientes acopladas. Una correcta implementación de un sistema de tierra estrella aislado aproxima a estas condiciones ideales de interconexión de equipos en que todos los dispositivos presentan el mismo potencial, respecto a la puesta a tierra del sistema de alimentación, en sus tierras internas. Distinto es el caso de los sistemas desbalanceados los cuales regularmente son flotantes.

6.2.2.-Escudos Magnéticos

Un escudo eléctrico conectado en un único punto como el mostrado en las figuras 6.9 y 6.12 no tiene ningún efecto sobre la geometría o el material magnético entre el conductor 1 y el conductor 2, por lo que no tendrá influencia alguna sobre la inductancia mutua entre ambos conductores. El escudo eléctrico obviamente se acoplara magnéticamente a ambos conductores pero este recordemos se encuentra conectado en un único punto, por lo que es imposible que se induzca una corriente. Por lo tanto un escudo eléctrico no proporcionará ningún escudamiento magnético, si se encuentra conectado en un solo extremo.

Los escudos magnéticos son análogos a los escudos eléctricos. Si un material magnético encierra completamente un circuito, las líneas de flujo magnético externas e internas serán confinadas a este y la inductancia mutua entre un circuito externo y el circuito encerrado por el material será 0. Sin embargo los materiales magnéticos son caros y algunas veces difíciles de trabajar con ellos por lo que son usualmente utilizados en aplicaciones puntuales de fuentes o receptores pequeños y localizados, como es el caso de cabezales magnéticos y no para cables. Además los materiales utilizados para escudamiento de cables presentan una alta conductividad pero una baja permeabilidad, como resultado, una delgada hoja de cobre o aluminio proporciona un buen escudo eléctrico pero para prevenir interferencias magnéticas de baja frecuencia debería ser una canalización muy gruesa y rígida, lo que no es práctico.

Esto no significa que los escudos de los cables no puedan proporcionar algún grado de protección magnética, a alta frecuencia, pero para esto es imprescindible que este conectado en ambos extremos con la consecuencia de un posible problema de interferencia capacitiva. El voltaje en un escudo conectado en ambos extremos, presentara una corriente que inducirá una interferencia en el conductor que rodea. Esta interferencia se ira incrementando con la frecuencia hasta que llegue a ser igual que el voltaje en el escudo, es decir el voltaje en el escudo estará completamente presente en el conductor, este fenómeno ocurre cuando la frecuencia angular de la interferencia es igual al cuociente entre la resistencia y la inductancia del escudo, $f_c = R_e / (2\pi L_e)$, lo cual para muchos cables ocurre sobre los 10 kHz [9].

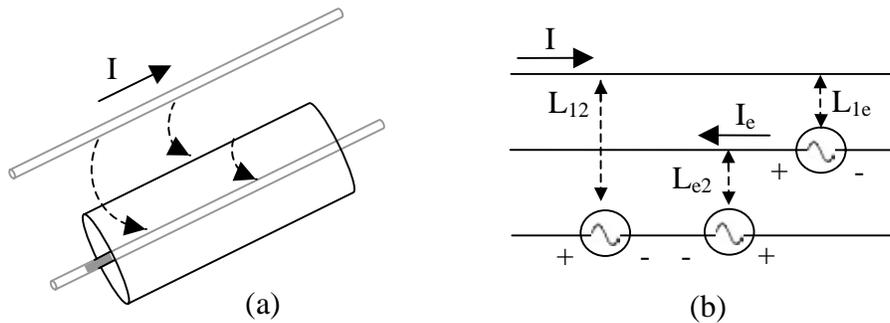


Figura 6.14.- (a) Acoplamiento Magnético en un cable escudado, (b) polaridad de las interferencias producidas

El fenómeno recién descrito nos ayudara a entender como puede brindar protección magnética el escudo de un cable. Supongamos que tenemos un cable escudado bajo la influencia de un campo magnético producto de la corriente en algún circuito cercano, como se muestra en la figura 6.14. (a). Esta corriente induce una interferencia en el escudo y en el conductor interior, y al mismo tiempo esta corriente inducida en el escudo por la interferencia, inducirá una señal de interferencia en el conductor interior, de polaridad opuesta, como se observa en la figura 6.14.(b). La interferencia total en el conductor es la suma de estas dos señales opuestas de interferencia. Como resultado para frecuencias muy por debajo a la frecuencia crítica f_c es como si el escudo no existiese y el voltaje de interferencia es por lo tanto igual al producto entre la corriente del circuito fuente y la inductancia mutua entre este y el receptor, sin embargo, a alta frecuencia el voltaje de interferencia total será:

$$V_I = IL_{12} \left(\frac{R_e}{L_e} \right) \quad (6.5)$$

El cual es constante, dependiente de los parámetros del escudo, y obviamente menor a que si el escudo no estuviera. Nuevamente el método de control primario en estas circunstancias es la disminución de la inductancia mutua L_{12} , entre la fuente y el receptor. Recordemos que esto es en el caso de escudos conectados a ambos extremos, lo que crea un eminente peligro de acoplamiento capacitivo. Por ultimo una forma de reducir el área del circuito receptor, y con ello

la inductancia mutua, es la utilización de cables del tipo de par torcido. Torciendo los cables el área asociada al circuito se hace en cada vuelta “positiva” y “negativa”, resultando un área total pequeña.

6.3.- Interconexiones

Ya se ha estudiado la forma de realizar una buena puesta a tierra de los equipos y como optimizar el sistema de alimentación de energía AC, las principales causas de ruido y la teoría aplicaciones y limitaciones del funcionamiento de los escudos en un sistema de audio. En este capítulo estudiaremos la forma de realizar las interconexiones entre los equipos, y ¿por que estudiar algo que se supone no debiera traer mayores complicaciones? La razón es que lamentablemente existen una serie de incompatibilidades y de vicios en la construcción y diseño de equipos de audio que hace imposible comprar equipamiento de distintos fabricantes, comprar cables ya ensamblados conectar todo y que el sistema opere sin problemas de zumbidos y ruido, aunque muchas veces los usuarios consideran el ruido que escuchan en su sistema como parte inherente de este [21]. Uno de los principales problemas es la incompatibilidad entre equipo balanceado y desbalanceado, este último abunda como procesadores de señal, ecualizadores, salidas de reproductores de audio, algunas salidas de consolas, o como salidas RCA y TS de ¼" en algunos equipos, loops de efectos, los puntos de inserción en las consolas, las grabadoras digitales y analógicas semiprofesionales, las tarjetas de computadores, entre otros y casi siempre se encontrara un equipo con entradas o salidas desbalanceadas dentro de una cadena electroacústica. Hay que señalar que el equipo desbalanceado no es el problema, la mayoría de los equipos caseros funcionan con entradas y salidas desbalanceadas, sin ruido. Por otra parte un sistema completamente balanceado no nos asegura un sistema con un performance libre de ruido, ¿como es esto posible? Los problemas de incompatibilidad entre equipo balanceado y desbalanceado y el hecho de que un sistema enteramente balanceado no sea inmune a interferencias de ruido radican en el sistema de tierra interno de cada equipamiento y como este esta asociado a las entradas y salidas del mismo.

Casi todos los problemas de ruido se pueden reducir a loops de tierra, sistemas de tierras mal diseñados o la falta de estas conexiones. Es importante entender el mecanismo que causa el ruido en las conexiones de tierra para eficazmente poder eliminarlo. Cada componente de un sistema de sonido tiene su propia tierra interna. Esta tierra es usualmente designada tierra de señal de audio o tierra de señal, la cual puede estar unida, generalmente lo es, al punto de referencia de potencial cero de la señal, punto al cual esta también conectado al chasis del equipo por lo que es llamado muchas veces tierra de chasis y es el punto donde el conductor del sistema de puesta a tierra del sistema de alimentación también es conectado, lográndose así que todas las tierras del equipo se encuentren al potencial de tierra del sistema de alimentación. La función primaria de la tierra de chasis y del conductor de tierra del sistema de alimentación es proteger a los usuarios y el equipamiento y una segunda función, y que es la que interesa por ahora, es la de escudar los circuitos internos y entregar un camino a las corrientes parasitarias acopladas hacia la puesta a tierra lo mas lejos posible de los conductores de señal internos del equipo, estos ultimo incluyen la tierra de señal. La función de la tierra de señal es la de tierra técnica de las señales de audio en el equipo.

Al interconectar equipos por medio de cables las tierras de los equipos quedan unidas y estas conexiones son susceptibles a toda clase de interferencia electromagnética, EMI, ya sea por medio de loops de tierra, acoplamiento capacitivo o inductivo e interferencia de radiofrecuencia, las cuales todas pueden inducir corrientes de ruido en los escudos de los cables de interconexión. No es simplemente la presencia de esta corriente que crean los zumbidos y el ruido en los sistemas, si no que es cuando estas corrientes fluyen a través de la tierra de señal de audio del equipo que se crea la interferencia. De la misma forma estas corrientes no son causa de alarma si el sistema usa interconexiones completamente balanceadas y correctamente implementadas, las cuáles son excelentes para rechazar corrientes de ruido de los escudos de los cables ya que fueron desarrolladas para esto. Desafortunadamente, muchos fabricantes de equipos de audio balanceado diseñan inapropiadamente el sistema de tierra de señal interno, es el caso de los equipos con problemas del pin 1 creando así equipo balanceado que no es inmune a las corrientes en el escudo del cableado. Las corrientes en los escudos también existen en los sistemas desbalanceados, sin embargo, las corrientes en los sistemas desbalanceados nunca se vuelven lo suficientemente grande como para transformarse en una interferencia para la señal de audio [21].

A continuación se describirán varias implementaciones recomendadas para todos los tipos de interconexiones según el tipo de entrada o salida y la configuración de la conexión del pin 1 o escudo del cable a la tierra del equipo en el caso de utilizar cables de dos conductores con un escudo. Esto basado en el trabajo de Stephen R. Macatee expuesto en [4] y en la Nota Técnica 110 de Rane [21] complementado con las opiniones de otros autores e impresiones personales.

6.3.1.- Conexión por medio de un cable de dos conductores escudados

La figura 6.15 muestra las recomendaciones de cableado para todas las posibles combinaciones en interconexiones de entradas y salidas balanceadas y desbalanceadas utilizando un cable de dos conductores escudado. También incluye los dos esquemas más comunes de las conexiones a tierra de los fabricantes que es conectar el escudo con la tierra de la señal - problema

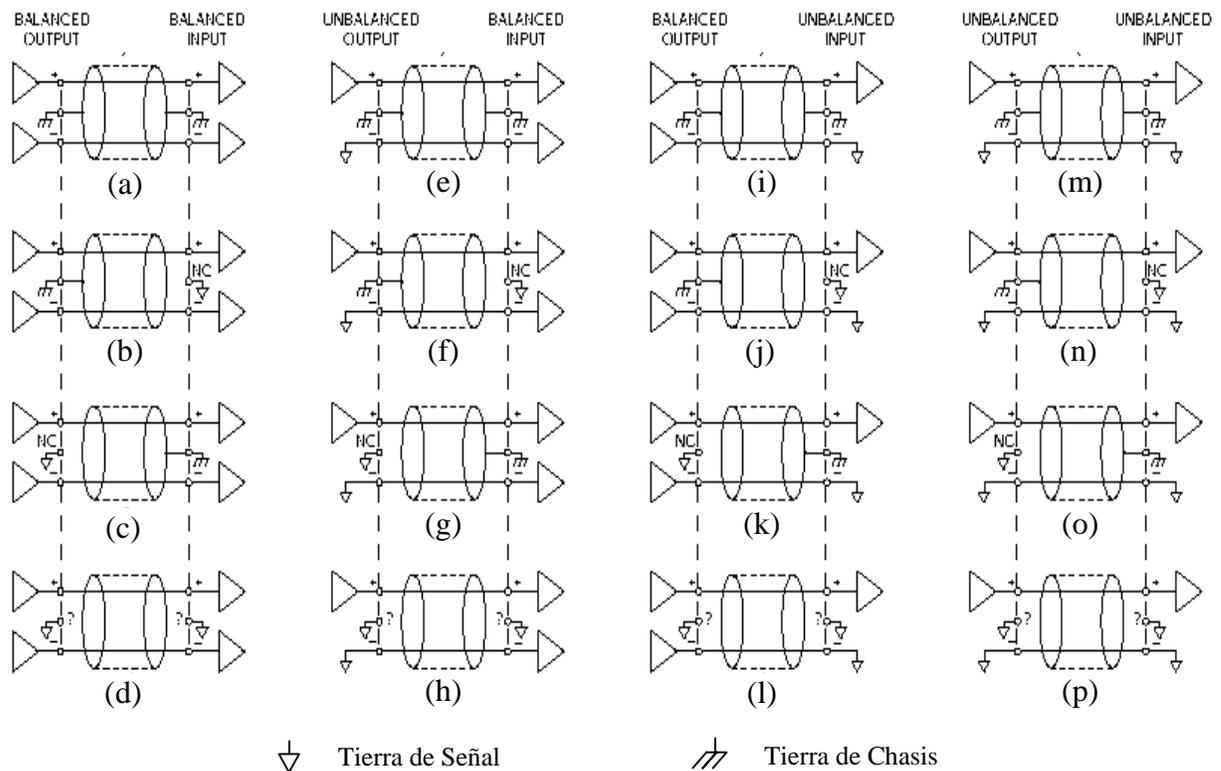


Figura 6.15.- Interconexiones usando solamente cables de dos conductores escudados. El asterisco denota la posibilidad de utilizar cables ensamblados desde fábrica.

Fuente: Adaptado de [4]

del pin 1 - o conectarlo con la tierra de chasis. La identificación de estos esquemas para cada unidad en un sistema es esencial para eliminar los problemas de interferencia en el sistema. Esta no es ninguna tarea simple ya que los fabricantes rara vez especifican como es hecha esta conexión.

El objetivo es averiguar si el fabricante conectó la tierra de chasis a la tierra de señal de tal manera que las corrientes del escudo no afectan la señal del audio. Las líneas segmentadas en la figura 6.15 representan los límites del chasis de las unidades. Las conexiones entre las líneas segmentadas corresponden a las del cable y lo que esta por fuera de las líneas segmentadas corresponde a la conexión realizada por el fabricante consciente o inconscientemente en la respectiva entrada y salida. La figura 6.15 esta ordenada de tal forma que el dibujo extremo superior mas a la izquierda, es decir la figura 6.15.(a) es teóricamente la "mejor" manera de conectar equipamiento con óptimos resultados.

El "mejor" modo significa que todo esta completamente balanceado y con todos los escudos o los pines 1 conectados a la tierra de chasis en el punto de salida y entrada. A medida que se desciende y nos movemos a la derecha en la figura, se espera una degradación en la performance del sistema.

La calidad y la configuración de las entradas y salidas de la figura 6.15 fueron omitidas al igual que la discusión resultante para focalizarse en la configuración de la instalación de los cables y del cableado de la instalación eléctrica interior de los equipos. Los circuitos de entrada y salida son consideradas ideales.

6.3.1.1.- Salida balanceada dirigida a entrada balanceada

Los sistemas totalmente equilibrados mostrados en la columna de la extrema izquierda en la figura 6.15 proporcionan el mejor performance cuando ambos extremos del escudo están conectados al equipo, siempre y cuando las conectores de las unidades conecten los escudos con la tierra de chasis como es mostrado en la figura 6.15.(a). Aunque producto de los problemas de SCIN encontrados en los cables, ni la mejor entrada balanceada rechazará un ruido en modo

diferencial, es mejor evitar las corrientes en el escudo. Cuando las entradas y salidas de los equipos conectan el escudo del cable a la tierra de señal, desconecte los escudos en los extremos conectados con la tierra de la señal, figura 6.15.(b) y 6.15.(c). Esto mantiene a las corrientes inducidas en el escudo lejos de la tierra de señal de audio. La situación mostrada en la figura 6.15.(d) es quizás la mas común en el que ambas unidades involucradas conectan el escudo con la tierra de señal, ante este caso la mayoría de los usuarios desconecta un extremo del escudo. Que extremo desconectar es fuente de debate sin embargo hay que recordar que nunca se debe desconectar ambos extremos de un escudo.

6.3.1.2.- Salida desbalanceada dirigida a entrada balanceada

La segunda columna en el figura 6.15 muestra salidas desbalanceadas conectadas a entradas balanceadas y nuevamente se utiliza un cable de dos conductores escudado para la conexión. El mejor caso aquí tiene ambos extremos del escudo conectado a la tierra de chasis de las unidades, figura 6.15.(e). Aunque este mejor caso puede ser objetado ya que las corrientes en los escudos inducen señales de interferencia en los conductores de señal que pueden acoplarse a la señal en la unidad conductora en la etapa de salida desequilibrada por otra parte una salida desbalanceada rara vez ofrecerá la posibilidad de un salida de tres conectores que permita una conexión independiente a la tierra de chasis y a la tierra de señal. Para reducir este problema se puede desconectar el escudo en el lado de la fuente reduciendo así las corrientes de acoplamiento en el escudo y por lo tanto el efecto de SCIN, aumentando, sin embargo, el peligro de acoplamiento de RF que puede ser mayor o menor dependiendo de la calidad de la entrada balanceada. De igual forma que en el caso completamente balanceado, cuando se encuentran unidades con los escudos conectados con la tierra de la señal, se desconecta el escudo en los extremos conectados con la tierra de señal, como se muestra en la figura 6.15.(f), o 6.15.(g), este ultimo caso es el más común de encontrar puesto que las salidas balanceadas rara vez proporcionan tres conectores y por lo general el escudo se encuentra directamente conectado a la tierra de señal o a ambas tierras, la de chasis y la de señal. Por lo tanto el desconectar un extremo del escudo mantiene a las corrientes inducidas en éste lejos de la tierra de señal de audio Si ambas unidades involucradas tienen el escudo conectado con la tierra de la señal, figura 6.15. (h) se debe conectar solo un extremo.

6.3.1.3.- Salida balanceada dirigida a entrada desbalanceada

La tercera columna de la figura 6.15, en la que salidas balanceadas son conducidas a entradas balanceadas son las más molestas puesto que la etapa de entrada no es equilibrada y el ruido inducido en modo común en los conductores de señal no se rechaza. Si se debe usar una entrada desequilibrada, use un cable de entrada tan corto como sea posible, reduciendo así el ruido inducido. La figura 6.15.(i) muestra ambos extremos del escudo del cable conectados a las unidades con los escudos conectados con las tierras de chasis, esto esta lejos de ser la mejor opción ya que si las unidades están a una gran distancia, la oportunidad de que las corrientes del escudo induzcan ruido en los conductores de señal es mayor. Manteniendo este cable muy corto se reduce la corriente del escudo y por consiguiente reduce el ruido que no es rechazado por la etapa de entrada desbalanceada, aunque lo más probable es que sea necesario desconectar un extremo del escudo para este caso ya que incluso una corriente pequeña en el escudo puede causar una gran interferencia para una etapa de entrada desequilibrada.

Si el escudo se encuentra conectado a la tierra de señal en una de las unidades, desconecte ese extremo del escudo, como se menestra en la figura 6.15. (j) y 6.15. (k). Si ambos extremos tienen los escudos conectados a la tierra de la señal, nuevamente hay que desconectar un extremo.

En estos esquemas se conecta la salida negativa de la salida equilibrada a la tierra de la señal en lugar de una entrada de alta-impedancia, como ocurre al conectarla a una entrada balanceada. Muchos circuitos de salida equilibrada intentarán conducir la señal a la tierra de señal, causando gran distorsión y potencialmente dañando la etapa de salida. Otras etapas de salidas equilibradas son las llamadas balanceadas "flotantes" o también llamadas salidas cross-coupled, como el circuito integrado analógico conductor de línea balanceado SSM-2142, son circuitos que imitan el performance de un transformador de aislación completamente balanceado y que están diseñados para que la salida negativa pueda ponerse en cortocircuito a la tierra de la señal. La utilización de estos dispositivos en estos esquemas asegura que la etapa de salida equilibrada puede conducir su salida negativa de señal hacia la tierra de la señal adecuadamente y sin problemas.

6.3.1.4.- Salida desbalanceada dirigida hacia entrada desbalanceada

Los equipos con salidas o entradas desbalanceadas rara vez proporcionan un conector de tres conductores para habilitar el uso correcto de un escudo, de ser así, un sistema de cableado como el mostrado en la cuarta columna de la figura 6.15 es el apropiado para realizar las interconexiones, de igual forma que en el caso de equipo balanceado conducido a desbalanceado, manteniendo las longitudes de los cables se reducirán los problemas de ruido, con o sin un escudo.

La mayoría de los sistemas de audio casero son totalmente desbalanceados y trabajan virtualmente libres de ruidos, debido a su naturaleza pequeña, conexiones por medio de cables cortos, y cordones de alimentación de dos conductores. Los problemas empiezan cuando uno intenta agregar una unidad equilibrada a tales sistemas. En los productos de audio caseros desequilibrados ninguno de los conductores del cordón de alimentación es conectado al chasis, la falta del tercer pin en el cordón de línea previene los loops de tierra en estos sistemas ya que un segundo camino a tierra, o entre las unidades, no está disponible, en cambio el equipo de audio profesional generalmente viene provisto con un cordón de alimentación de tres conductores donde el tercer conductor o conductor de protección es utilizado para ser conectado al chasis proporcionando así el segundo camino hacia la puesta a tierra de una unidad a la próxima, formándose los loops de tierra.

El potencial o el voltaje que hace a estas corrientes de ruido pasar a través del circuito son desarrolladas entre las tierras independientes de las dos o más unidades en el sistema. La impedancia de este circuito es baja y si bien el voltaje es bajo, la corriente es alta.

6.3.2.- De la teoría a la práctica

En el apartado anterior hemos visto como realizar las conexiones según a las conexiones de la tierras de los equipos sin considerar el tipo de conector que encontramos en la salida y las entras de los distintos equipos. Ahora consideraremos el tipo de conector de las distintas etapas de salida y entradas [21].

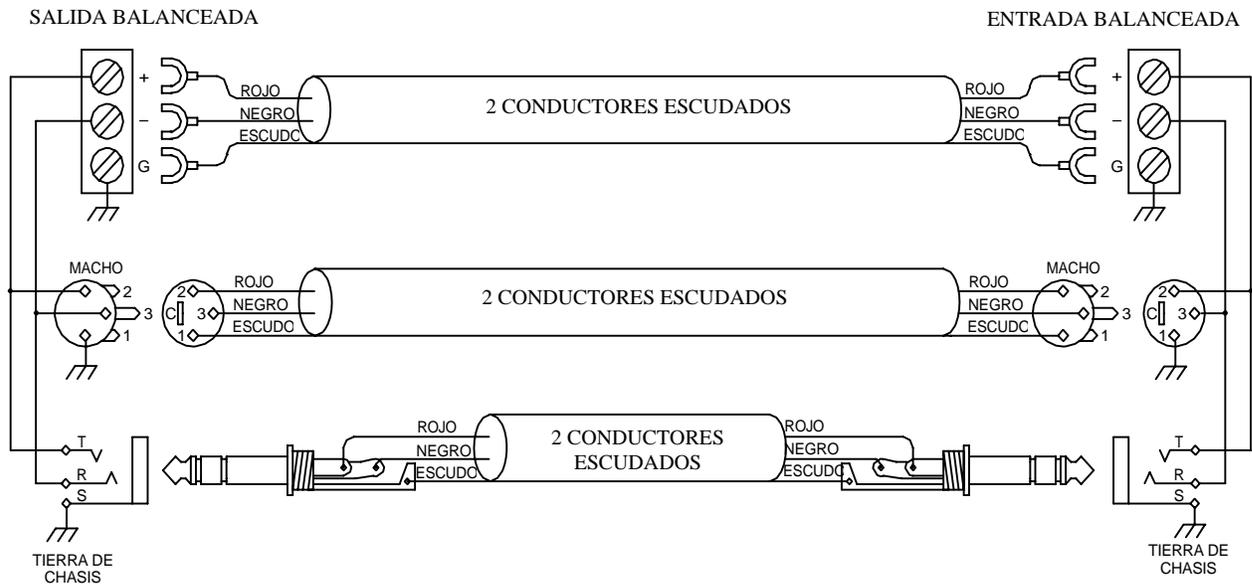


Figura 6.16- Interconexiones balanceadas que garantizan un performance libre de ruido (Fuente: adaptado de [21])

Para garantizar realmente un sistema de interconexiones libre de ruido se deben utilizar entradas y salidas balanceadas apropiadamente conectadas, como se muestra en la figura 6.16. Esto quiere decir que el escudo del cable conectado al pin 1 del conector de los equipos debe estar unido tan solo al chasis del equipo o tierra de chasis como es llamada comúnmente, no a la tierra de señal del circuito, lo que por desgracia es muy común, y es conocido como el problema del pin 1, diseño por el cual las corrientes en el escudo son indeseadas y ante no poder diseñar nosotros nuestros propios equipos se deben buscar formas de interconexión que eviten el flujo de corrientes por los escudos y es aquí donde se debe decidir que extremo del escudo del cable se debe desconectar. Es tan común este problema, que incluso en algunas publicaciones no se le considera un problema de diseño.

Antes de revisar el ensamblaje especial de cables dependiendo de la naturaleza de las salidas, las entradas y los tipos de conectores revisaremos otra forma de realizar estas conexiones entre equipo balanceado y desbalanceado sin incurrir aún en el ensamblaje especial de cables.

6.3.2.1.- Aislamiento de las conexiones desbalanceadas

El método mas rápido, silencioso y la mayoría de las veces infalible para conectar equipo balanceado a desbalanceado es aislar todas las conexiones desbalanceadas por medio de transformadores como el ilustrado en la figura 16.17.

Muchos fabricantes proveen varias herramientas para esta tarea, el objetivo de estos adaptadores es permitir el uso de *cables "convencionales"*, sin necesidad de tener que desconectar uno de los extremos del escudo. Con estas cajas con transformadores de aislamiento, la modificación de cables ya ensamblados desde fábrica es innecesaria. Virtualmente dos piezas cualesquiera de equipamiento de audio pueden ser exitosamente interconectadas sin riesgo de interferencias y ruidos indeseados.

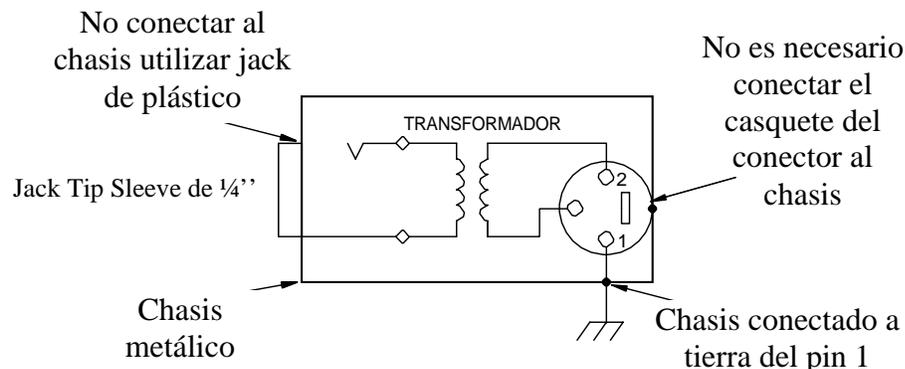


Figura 6.17.- Transformador de aislamiento
(Fuente: adaptado de [21])

Otra forma de crear el aislamiento necesario es usar una *caja directa*. Originalmente denominadas así por su uso para convertir los altos niveles de salida de señal y la alta impedancia de una guitarra eléctrica a los bajos niveles de señal y baja impedancia requeridos por las entradas de una consola de grabación, lo que permitía conectarse directamente a la consola, en la actualidad este término se usa comúnmente para describir cualquier caja usada para convertir las líneas desbalanceadas a líneas balanceadas.

6.3.2.2.- El ensamble especial de cables

Si los transformadores de aislamiento no es una opción dado su costo, hay que incurrir en el ensamblaje de cables especiales. La clave es impedir que las corrientes de los escudos fluyan al interior de las unidades que cuya configuración y esquema de tierras internas cree un loop de tierra, problema del pin 1, o que esta corriente afecte a la tierra de la señal y con esto a la señal que se desea transmitir.

Es verdad que conectando ambos extremos del escudo es teóricamente la mejor forma de interconectar equipamiento – sin embargo, como ya se describió anteriormente, esto asume que los equipos interconectado esta correctamente conectado y puesto a tierra internamente, todo esto sin considerar los problemas de ruido producto del sistema de alimentación de energía.

Puesto que la mayoría de los equipos no esta correctamente conectado a tierra internamente, conectar ambos extremos no es la práctica común o no debería serlo, sobretodo en sistemas fijos, puesto que haciendo esto usualmente se crean interconexiones ruidosas.

Según la nota 110 de RANE [21] y Macatte [4] el mejor extremo a desconectar es cuestión de preferencia personal y debería ser seguida religiosamente aunque otros autores como Muncy [1] y Whitlock [2] señalan que es mejor desconectar el escudo solo en la entrada de los equipos y conectarlo a la salida de los equipos. En lo que sí están de acuerdo es que siempre se debe seguir el extremo que se desea levantar. Una conexión de único extremo aumenta la posibilidad de interferencia de RF, puesto que el cable actúa como antena. Muchos reducen esta potencial interferencia de radiofrecuencia por medio de un camino para estas frecuencias a través de un condensador pequeño (disco cerámico de 0.1 o 0.01 microfaradios) conectado entre el extremo del escudo levantado y el chasis.

Si los problemas de ruido pueden ser aislados y adjudicados a una unidad, puede que no este apropiadamente conectada a tierra internamente, aunque las especificaciones del equipo digan lo contrario, ante una sospecha de este tipo los cables de prueba especiales mostrados en la figura 6.18, son realmente útiles. Estos cables permiten conectar el escudo a la tierra de chasis en

el punto de entrada o dejarlo flotante en uno de los extremos. La tarea se torna más difícil cuando la unidad que se está analizando tiene salidas y entradas múltiples. En unidades sospechosas con múltiples salidas y entradas, hay que probar con distintas configuraciones de conexiones para ver si la configuración especial de cables es necesaria en más de una interconexión.

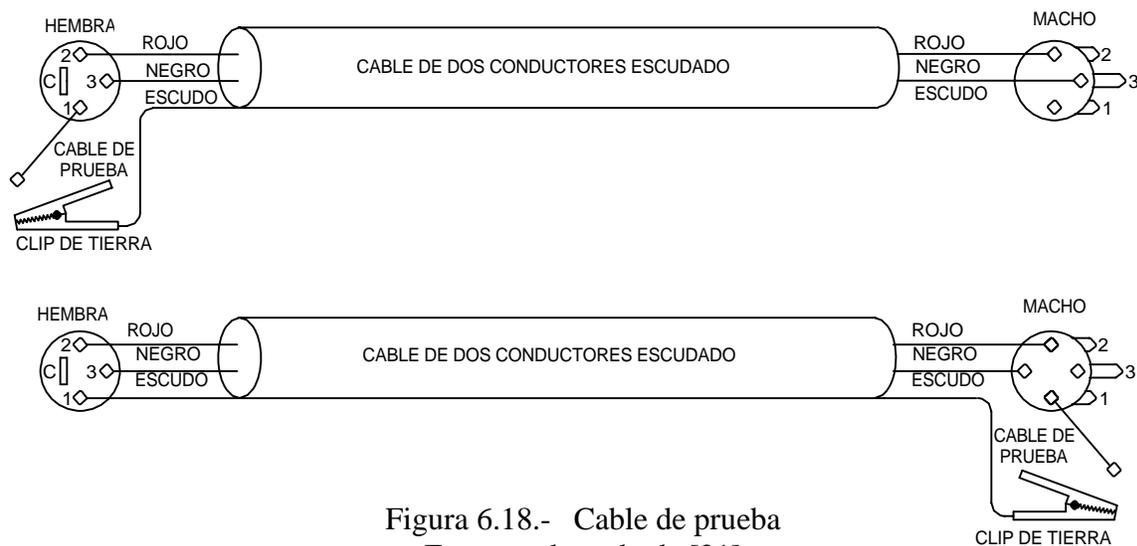


Figura 6.18.- Cable de prueba
Fuente: adaptado de [21]

A continuación en la figura 6.19 se encuentran las sugerencias de ensamblaje de cables para las necesidades particulares de interconexión. Encuentre la configuración apropiada de salida (en la columna de la izquierda de la página) y luego júntela con la configuración correcta de entrada (fila superior de la página). Luego refiérase a las páginas siguientes para un diagrama de instalación de cableado recomendado.

Hacia Entrada

Desde Salida

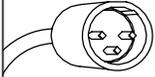
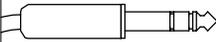
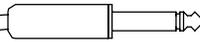
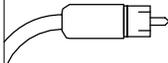
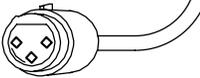
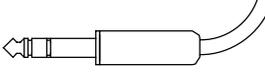
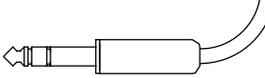
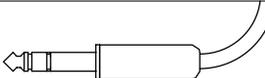
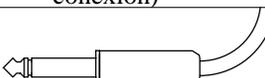
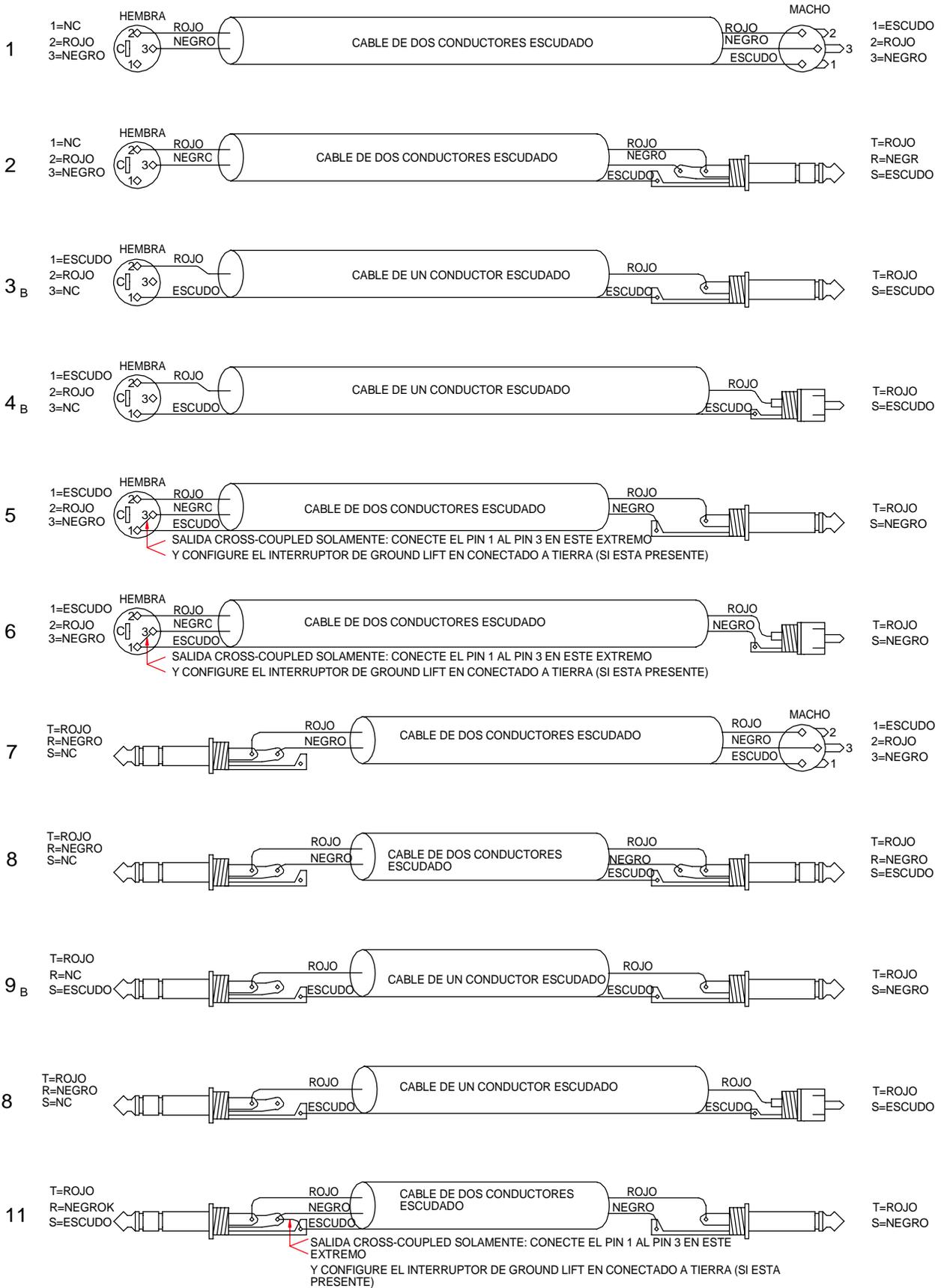
Conectores de Cable	 XLR Balanceado Macho	 TRS Balanceado 1/4"	 TS Desbalanceado 1/4"	 RCA Desbalanceado
 XLR Balanceado Hembra (Salida diferente a transformador o cross-coupled)	1	2	3 _B	4 _B
 XLR Balanceado Hembra (Salida transformador o cross-coupled)	1	2	5	6
 TRS Balanceado 1/4" (Salida diferente a transformador o cross-coupled)	7	8	9 _B	10 _B
 TRS Balanceado 1/4" (Salida transformador o cross-coupled)	7	8	11	12
 TRS Flotante Desbalanceado 1/4" (Malla en la unidad sin conexión)	21 _A	22 _A	11	12
 TS Desbalanceado 1/4"	13	14	15 _A	16 _A
 RCA Desbalanceado	17	18	19 _A	20 _A

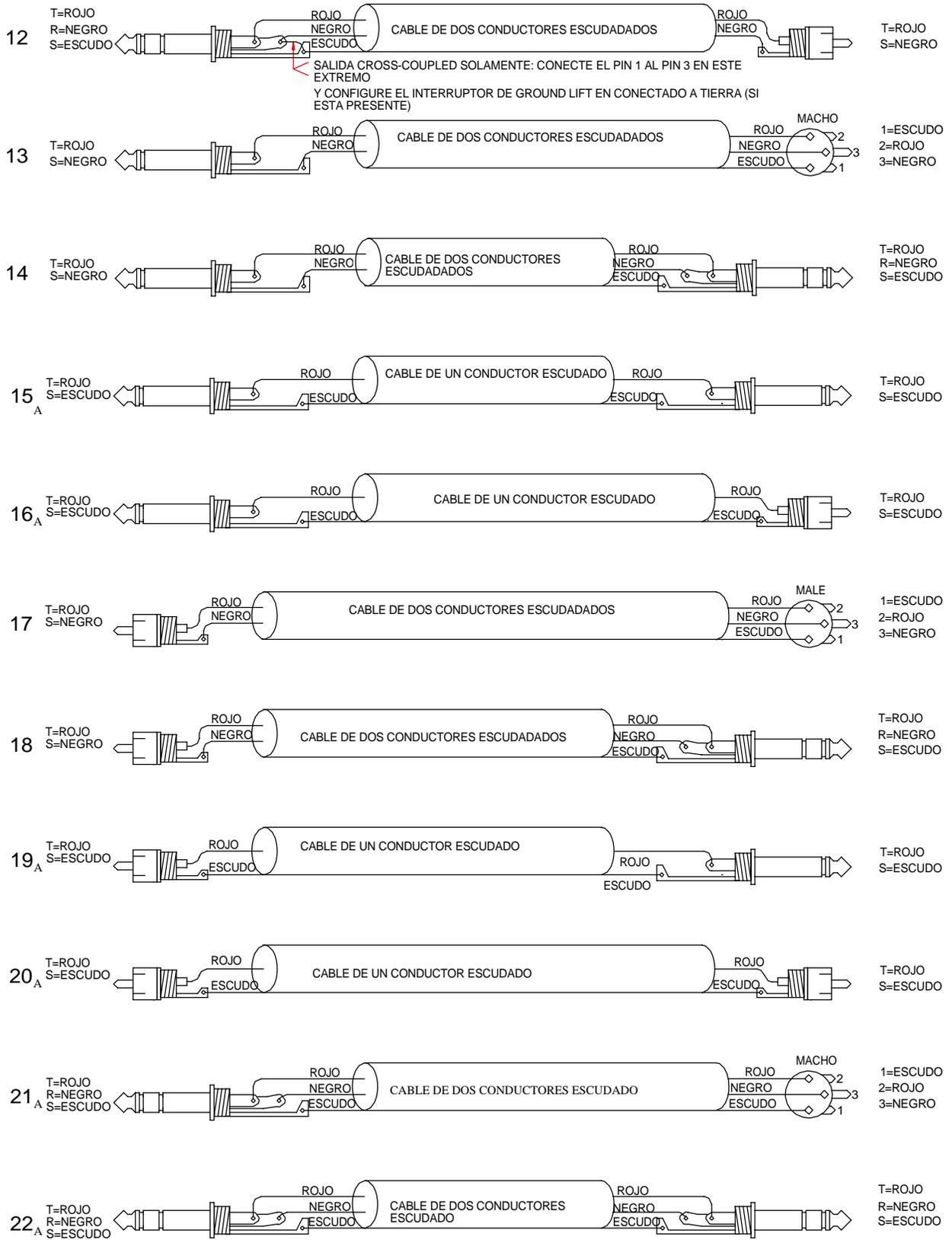
Figura 6.19.- Matriz de interconexiones para localizar la correcta configuración del cable en las siguientes hojas.

Nota A: esta configuración permite utilizar cables ensamblados de fábrica.

Nota B: Esta configuración causa una pérdida en la señal de 6 dB. Compensar esta elevando el sistema en 6 dB.

Fuente: Adaptado de [21]





6.3.2.3.- Que extremo del escudo conectar

Ya adelantamos que ante el tema de cual extremo del escudo conectar existe una gran controversia entre quienes dicen que es mejor conectar el escudo en el equipo emisor, en el receptor o en ambos extremos, a continuación se exponen dos razones objetivamente fundamentadas de por que poner a tierra el escudo del cable en el receptor es una mala idea [26].

Que extremo conectar influirá en la cantidad de señal de ruido de tierra, señal de modo común, que será convertida en señal diferencial tanto por el equipo conductor como por la desigualdad de las capacitancias propias del cable entre los conductores y el escudo, esta capacitancia es de aproximadamente 221 pF/m en un cable típico, el problema radica en que esta capacitancia total no esta uniformemente dividida entre los dos conductores del cable y el escudo. Estas diferencias de capacitancia están dentro de las tolerancias normales en el espesor del aislador del cable y son producto finalmente porque los cables de diferentes colores son moldeados en máquinas diferentes.

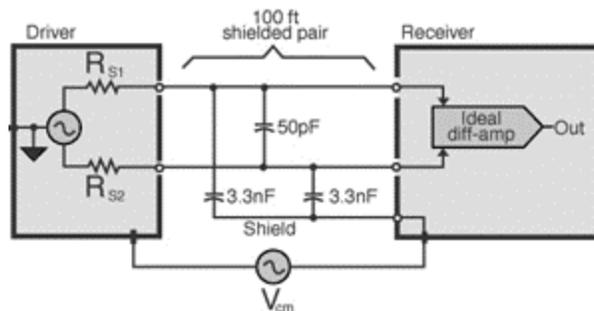


Figura 6.20.- Escudo puesto a tierra en el receptor. Fuente: Extraído de [26]

Si el escudo del cable es puesto a tierra sólo en el extremo receptor, entonces estas capacitancias y las impedancias de salida del equipo conductor, R_{S1} y R_{S2} en la figura 6.20 y figura 6.21, forman dos filtros pasa bajos. Las impedancias de salida del equipo conductor por lo general también presentan un grado de desequilibrio. A menos que estos dos filtros sean exactamente iguales, lo que requiere un emparejamiento exacto de la impedancia de salida del

equipo conductor y de las capacitancias de los cables, la conversión de modo tendrá lugar. La conversión de modo hace que parte del ruido de tierra, o voltaje de modo común, V_{cm} en la figuras 6.20 aparezca como una señal de modo diferencial en el cable. Esta conversión será peor mientras mas largo el cable y mayor sea el desequilibrio de impedancias de salida del equipo conductor. En la figura 6.20 el ruido de modo común es filtrado por el filtro pasa bajos. En ambos casos el punto de referencia es la tierra del aparato receptor. Esta conversión modo puede ser completamente evitada si en lugar de poner a tierra el escudo en el receptor se hace en el equipo conductor, como se muestra en la figura 6.21. Ahora, ningún voltaje de ruido de tierra aparecerá a través de las capacitancias del cable y no se producirá ningún filtraje. Ya que el escudo ahora esta al mismo voltaje que la tierra del equipo conductor no hay voltaje de ruido de tierra a través de las capacitancias del cable, y este efectivamente desaparece. Esto virtualmente elimina los efectos de desequilibrio de las capacitancias desiguales de los cables.

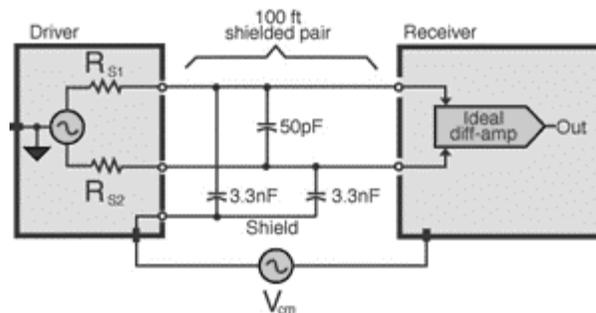


Figura 6.21.- Escudo puesto a tierra en el equipo conductor. Fuente: Extraído de [26]

Al poner a tierra el escudo en ambos extremos el efecto de conversión estará en un punto intermedio entre conectar el escudo solo en el receptor y conectarlo solo en el extremo del equipo conductor, ya que por una parte se reduce el ruido de modo común entre los dos equipos pero el efecto de conversión se produce degradando el rechazo de este por el receptor. Los dispositivos con enchufes de dos pines son los más problemático, con su voltaje de chasis a menudo sobre los 50 V_{AC} por sobre el sistema de tierra de seguridad utilizado, aunque no plantea un peligro de seguridad ya que la corriente disponible es pequeña, crean un gran voltaje de modo común a menos que haya un camino de puesta a tierra.

La segunda razón para no conectar el escudo del cable en el extremo del receptor es que producto de las desigualdades de la capacitancia del cable y de las impedancia de salida del equipo conductor habrán corrientes de señal en el escudo, estas corrientes de señal tienen que volver a la línea conductora, si el escudo es conectado en el equipo conductor estas corrientes retornarán por un camino conocido. Si, por otra parte, el escudo es puesto a tierra sólo en el aparato receptor, esta corriente de señal regresará por un camino desconocido. Este camino podría incluir circuitos sensitivos que se acoplan en el camino de vuelta de la señal pudiendo causar diafonía u oscilaciones. Recuerde, este acoplamiento es capacitivo, empeorando sus síntomas en frecuencias altas.

El único beneficio posible de poner a tierra el escudo en el extremo del aparato receptor es que algunas veces esto ayuda a suprimir la interferencia de radio frecuencia, pero una falta de inmunidad a la interferencia de radiofrecuencia (IRF) es un síntoma de mal diseño, la solución verdadera para esto, son filtros de IRF en las entradas al interior del equipo.

6.3.2.4.- Los elevadores de tierra (Ground Lift)

Muchas unidades vienen equipadas con interruptores elevadores de tierra. Salvo en algunos casos se puede mostrar que los interruptores elevadores de tierra mejoran el ruido de tierra relacionado [21]. En realidad, la presencia de un interruptor elevador de tierra disminuye la capacidad de una unidad de ser apropiadamente conectada a tierra y por consiguiente inmune a los loops de tierra zumbidos y ruidos de tierra. Los interruptores elevadores de tierra son simplemente otro parche para tratar los problemas de conexiones a tierra sin atacar el problema de que la mayoría de los equipos no esta puesto a tierra correctamente. Lo que realizan estos switch es desconectar la tierra de la señal de audio de la tierra de chasis o de protección, con los posibles problemas e inconvenientes que esto conlleva. La mayoría de las unidades con elevadores de tierra son dirigidas a equipos que esta puesto a tierra, lo que quiere decir que el chasis está conectado a la tierra de señal de audio. Esta debería ser lo mejor y es la posición “más segura” para un interruptor elevador de tierra.

7.- Optimización del sistema de ganancia del sistema

Todos los esfuerzos por eliminar los ruidos e interferencias de un sistema de sonido persiguen aumentar el rango dinámico de éste, es decir que el ruido de fondo del sistema sea producto del ruido inherente de los equipos y no producto de interferencias externas. Una vez que se ha logrado eliminar las interferencias por medio de los métodos ya descrito, podemos aumentar aun más el rango dinámico del sistema por medio de una adecuada estructura de ganancia de la cadena eléctrica del sistema. El método a continuación descrito pretende optimizar la interacción entre los distintos dispositivos tomando en consideración las limitaciones y características propias de cada uno de ellos, tomando como referencia el paper publicado por Chuck McGregor [27].

7.1.- Estructura de ganancia de sistemas

El rango dinámico de un sistema es la diferencia de nivel entre el nivel máximo que es capaz de manejar el sistema antes del recorte y el nivel de ruido de fondo, sin embargo para que una señal sea realmente útil debe estar unos 20 dB sobre el ruido de fondo, esto limita aun mas nuestro sistema, y por ende aumenta la necesidad de aumentar el rango dinámico del mismo. Como una adecuada estructura de ganancia eléctrica se entenderá la adecuada configuración de los niveles de entrada y salida de los dispositivos que conforman una cadena eléctrica, de forma tal que podamos obtener y utilizar el máximo rango dinámico del sistema. Una configuración habitual es colocar todos los procesadores en ganancia unitaria y los amplificadores al máximo, dado que existen diferencias en el rango dinámico de los equipos, esta disposición esta lejos de ser la mejor estructura de ganancia. La figura 7.1 muestra un sistema simple consistente en 6 piezas de equipamiento. El nivel de recorte de cada dispositivo (máxima salida) esta anotado en cada uno según lo especificado por el fabricante, o de la deducción a partir de las especificaciones, al igual que el ruido de fondo. Para este ejemplo todos los dispositivos entre la salida de la mezcladora y la entrada del amplificador están configurados con ganancia unitaria y la entrada del amplificador configurado para sensibilidad máxima.

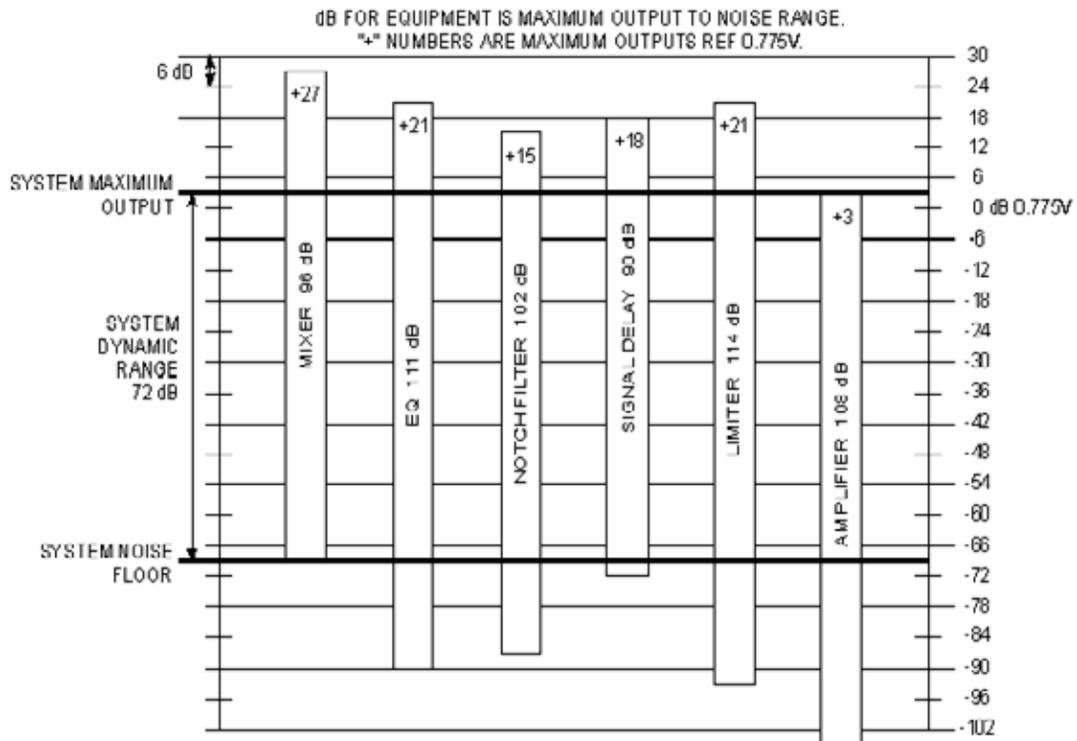


Figura 7.1.- Habitual estructura de ganancia, en que los procesadores están configurados con ganancia unitaria, y el amplificador con máxima sensibilidad.

Fuente: Extraído de [27]

Como se puede ver en la figura o se analiza brevemente, el rango dinámico del sistema esta limitado entre un valor máximo de señal o nivel de recorte y un cierto nivel de ruido de fondo, el primero de estos valores corresponde al menor de todos los niveles máximos de los distintos dispositivos, en el caso de la figura corresponde al nivel máximo del amplificador, y el segundo valor corresponderá al mayor de los niveles de ruido de fondo de todos los dispositivos, en este caso la mezcladora al principio de la cadena. Por lo tanto el rango dinámico con esta estructura de ganancia es de tan solo 72 dB, si se piensa ahora en los 20 dB mínimos que debe haber entre el ruido de fondo y la señal para que esta sea realmente útil, el rango dinámico del sistema queda reducido a tan solo 52 dB.

Si se analiza la figura es posible darse cuenta que la sensibilidad de recorte del amplificador esta limitando la capacidad de todos los dispositivos anteriores y por lo tanto la del sistema, es decir se está perdiendo capacidad de rango dinámico en cada uno de los dispositivos. Por otra parte si se analiza el rango dinámico de los dispositivos se puede ver

que cada uno tiene un rango dinámico muy superior al obtenido con esta configuración de estructura de ganancia y que además el dispositivo que presenta el menor rango dinámico es el delay de señal y por lo tanto debiera ser este elemento el que limite la capacidad de rango dinámico del sistema pues una cadena es tan débil como su eslabón mas débil y una cadena de equipos eléctricos no es la excepción, es decir este equipo debiera determinar el ruido de fondo del sistema y su nivel máximo antes del recorte. Obviamente hay algo con esta configuración que no esta funcionando bien.

El problema de estructura de ganancia básicamente radica en que los dispositivos dentro de la cadena tienen distintos niveles de recorte y distintos niveles de ruido de fondo, entonces para obtener una adecuada estructura de ganancia se debe hacer coincidir los niveles de recorte introduciendo atenuaciones o ganancias a las interconexiones entre los distintos dispositivos. Al hacer esto con una cadena como la mostrada en la figura 7.1 se obtiene un sistema como el mostrado en la figura 7.2.

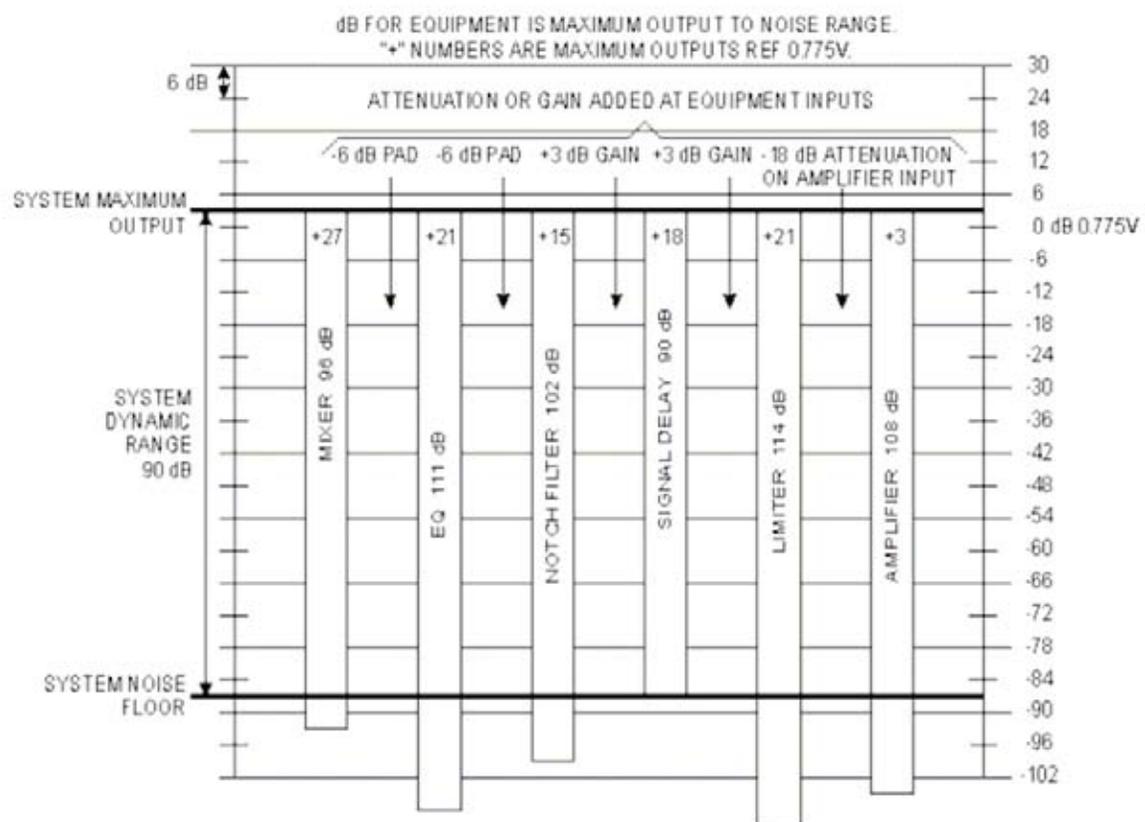


Figura 7.2.- Sistema con una adecuada estructura de ganancia.

Fuente: Extraído de [27]

De esta forma se aprovecha todo el rango dinámico que es posible ocupar de los distintos dispositivos, quedando limitados por el delay de señal que como ya se menciono corresponde al eslabón más débil dentro de la cadena eléctrica de este sistema. Para esta nueva y optimizada estructura de ganancia el rango dinámico del sistema es de 90 dB y considerando los 20 dB mínimos que debe haber entre el ruido de fondo y la señal para que esta sea útil, el rango dinámico es de 70 dB, lo cual es 18 dB mayor que el obtenido con la configuración mostrada en la figura 7.1. Para una visión general del tema y un análisis practico en detalle revisar [28] y [27].

Hoy en día las atenuaciones o ganancias requeridas entre las interconexiones de los dispositivos, se pueden realizar con los atenuadores de entrada de cada dispositivo, nunca hay que realizarlas con los controles de nivel de salida de los dispositivos, a no ser de estar un cien por ciento seguro de que tan tolo se trata de un atenuador antes del conector de salida del dispositivo. De no contar con un atenuador de entrada en el dispositivo, la atenuación necesaria puede ser obtenida por medio de un PAD antes de la entrada del dispositivo. En el caso de los amplificadores los comúnmente llamados controles de volumen del amplificador corresponden a atenuadores de entrada, los que como ya se vio no necesariamente tiene que estar al máximo para obtener la máxima salida del amplificador.

En muchas especificaciones de amplificadores viene señalada la sensibilidad máxima, la cual se define como el nivel mínimo de señal para obtener la máxima salida del amplificador, al decir máxima salida se quiere decir la máxima salida nominal. Por lo tanto no hay que confundir este valor entregado como sensibilidad máxima con el valor de sensibilidad de recorte el cual corresponde al nivel de señal de recorte del amplificador, y que es el que se ocupa para determinar la adecuada estructura de ganancia del sistema. El valor de sensibilidad de recorte no viene especificado pero por lo general corresponde a 3 dB por sobre el valor de máxima sensibilidad. Por ejemplo si se especifica que un amplificador tiene una sensibilidad de + 4dBu, quiere decir que su sensibilidad de recorte es de +7 dBu, y es este valor el que debemos utilizar para calcular la adecuada estructura de ganancia.

7.2.- PADS o red de atenuación fija

Recientemente se analizó como configurar una adecuada estructura de ganancia, para lo cual se deben introducir ganancias o atenuaciones a la entrada de los distintos dispositivos que conforman la cadena eléctrica de un sistema. Se señaló también que estas atenuaciones pueden ser realizadas por medio de los atenuadores de entrada de los dispositivos, sin embargo algunos dispositivos no presentan controles del nivel de la señal de entrada, ante lo cual es preciso insertar un dispositivo que entregue la atenuación requerida por la interconexión. Esto es precisamente lo que realiza un PAD, el cual se define como una red pasiva que reduce el nivel de voltaje de una señal con distorsión insignificante, pero con pérdida de inserción. A menudo se trata de una red puramente resistiva, aunque cualquier combinación de inductancias, resistencias y condensadores es posible. Además un PAD también puede proveer adaptación de impedancias. Los PADS son referenciados según la topología de la red formada, con lo que los dos tipos más comunes son el PAD L y el PAD T.

a) PAD L: una red de dos tramos con la forma de una letra L invertida y de adelante hacia atrás. Usualmente consta de dos resistencias que son fijas o regulables. Un verdadero PAD L variable consta de dos potenciómetros variables que están acoplados juntos mecánicamente. Las secciones acopladas mecánicamente trabajan para proveer ya sea una constante impedancia de entrada o una constante impedancia de salida a pesar de la configuración de atenuación. Puesto que los circuitos electrónicos de audio analógicos actuales constan de etapas caracterizadas por impedancias muy altas de entrada y muy bajas de salida, el término se amplió para incluir todas las redes que conforman una red L sin el requisito de que proporcionen una impedancia constante a la fuente o la carga. El volumen y los controles de nivel son ejemplos comunes.

b) PAD T: Una red de tres tramos con forma de letra T. Usualmente consta de tres resistencias que son fijas o regulables. Un verdadero PAD T variable consta de dos o tres potenciómetros variables que están acoplados mecánicamente. Las secciones acopladas mecánicamente trabajan para proveer ya sea una constante impedancia de entrada o una

constante impedancia de salida a pesar de la configuración de atenuación. Ya que los circuitos electrónicos de audio actuales consisten de etapas características de alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida, el término se ha extendido abarcando todo las redes con forma de T sin el requerimiento de proveer una impedancia constante a la fuente o a la carga.

c) PAD L BALANCEADO: Es una versión balanceada del PAD L anterior, a continuación en la figura 7.3, se muestran valores para aplicaciones generales de audio, según las recomendaciones del IEC* [29]. Para un mayor análisis de la construcción e implementación revisar [10], [30] y [31].

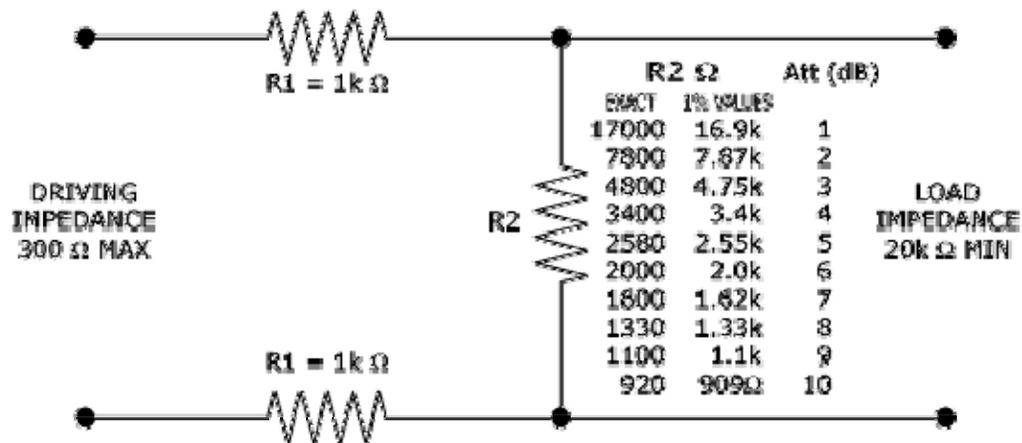


Figura 7.3.- PAD L Balanceado, según recomendaciones de la IEC.

Fuente: adaptado de [29]

* International Electrotechnical Comisión

8.- Optimización de un Sistema de Audio

8.1.- Materiales y Métodos

A continuación se describe el experimento realizado en el laboratorio de mediciones de la carrera de Ingeniería Acústica de la universidad Austral de Chile en relación al tema de optimización del rango dinámico de un sistema de audio y la eliminación de corrientes parásitas inductivas. El experimento consistió en el montaje de una cadena electroacústica básica a la cual se le introdujo una señal de corriente alterna de características similares a las encontradas en el sistema de tierra de los sistemas de audio de acuerdo a lo señalado en [1], [4], [13] y [19] por medio de un “Hummer” [13]. En un primer montaje, con la estructura de ganancia sin optimizar, el nivel máximo de voltaje capaz de producir el sistema y el de ruido de fondo del mismo son medidos, luego introduciendo la señal de la fuente simuladora de corrientes parásitas – Hummer - en distintos puntos del sistema de tierra del sistema de audio estos niveles son medidos nuevamente. En un segundo montaje del experimento la estructura de ganancia de la cadena fue optimizada según [27], se volvió a medir los niveles máximos y de ruido de fondo del sistema primero sin la fuente simuladora de corrientes y luego introduciendo la señal del Hummer en los mismos puntos del sistema de tierra en que fue introducida en el primer montaje. Se midió nuevamente el valor máximo de voltaje capaz de producir el sistema así como el nivel de ruido de fondo. Los valores medidos permiten calcular el rango dinámico obtenido del sistema en cada una de las situaciones de montaje descritas y realizar una comparación de los valores obtenidos.

8.1.1.- Materiales

Para realizar los montajes y mediciones se utilizaron los siguientes equipos de sonido y de medición:

- CD con señales de audio de prueba
- Reproductor de CD Harman/Kardom HD 735
- Mezcladora Yamaha ProMix 01
- Amplificador Samson Servo 260
- Altavoz Philips Full Range Tipo 22 RH 497
- Cables de interconexión con tenazas
- Conectores XLR y TRS ¼"
- Hummer
- Osciloscopio GW GOS-622B
- Osciloscopio Tektronic TDS-220
- Medidor múltiple (Multimeter) Fluke 8060

8.1.2.- Montaje

En el experimento el sistema de prueba estaba constituido por la mezcladora, en la que una de sus salidas principales fue conectada a una de las entradas del amplificador. Con el fin de medir tanto los niveles máximos alcanzados por el sistema como el ruido de fondo en la salida del amplificador fue conectado un osciloscopio, donde también fue conectado un altavoz que sirvió de referencia. La salida de la mezcladora como la entrada del amplificador eran balanceadas puestas a tierra, es decir en ambos casos el pin 1 del conector de entrada como el de salida respectivamente, estaba conectado al chasis del equipo y este a su vez conectado al conductor de puesta a tierra del sistema de alimentación del edificio por medio del tercer conductor del cordón de alimentación de los equipos. El montaje recién descrito se observa a continuación en la figura 8.1.

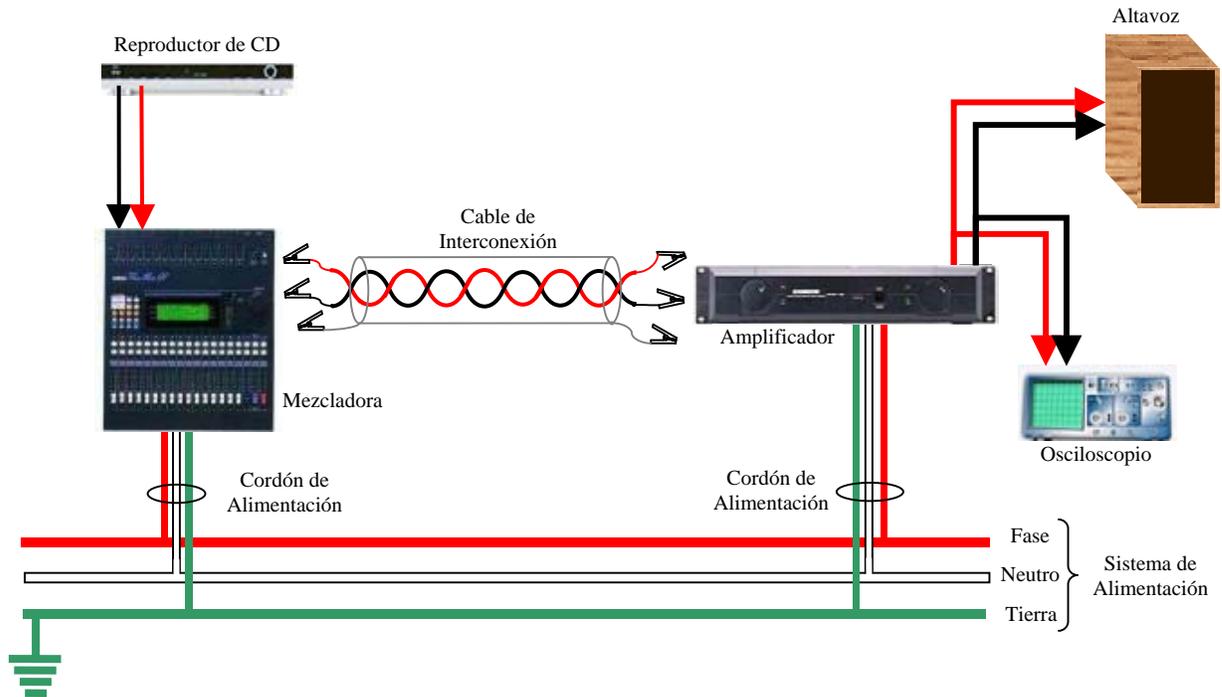


Figura 8.1.- Montaje del experimento para medir el rango dinámico de un sistema bajo diferentes situaciones de prueba

En la figura 8.1 también se observa que a la mezcladora fue conectado un reproductor de CD, el que sirvió para introducir una señal de ruido rosa al sistema lo que permitió determinar el voltaje máximo capaz de producir el sistema por medio de la observación de la señal en el osciloscopio a la salida del sistema.

Para realizar la interconexión de la mezcladora al amplificador se utilizó un cable especial, como el mostrado en la figura 8.1 el cual tiene tenazas adosadas en cada uno de los conductores en ambos extremos. Con este cable de configuración especial es posible tener un serie de conectores y someter a prueba cualquier dispositivo sin importar que conectores tenga y sin tener que confeccionar cables especiales, basta con elegir los conectores apropiados dejar sus terminales al descubierto y enganchar las tenazas en el orden correspondiente según el conector. Además permite una rápida desconexión o conexión de cualquiera de los conductores del cable en cualquiera de sus extremos, lo cual es muy útil al momento de realizar pruebas bajo distintas condiciones.

8.1.3.- Determinando el Rango Dinámico

El rango dinámico de un sistema esta definido como la diferencia del máximo nivel que es capaz de manejar este antes del recorte y el nivel de ruido de fondo del mismo. Para determinar el rango dinámico por lo tanto es necesario medir el máximo nivel que es capaz de producir el sistema antes de que la señal se recorte, esto es fácil de realizar por medio de la visualización de la señal en un osciloscopio. Cuando la señal empieza a llegar al límite de los niveles capaz de producir el sistema, esta comenzara a recortarse. Si la señal es una onda senoidal el pico de la onda comenzaría a achatarse hasta quedar plano. En el caso del ruido rosa es un poco distinto ya que en el osciloscopio se ven todas las componentes del espectro constituyentes de este ruido al mismo tiempo, al incrementar la señal en algún punto dentro del sistema esta aumentara de nivel pero llega un momento en que ya no lo hace y la señal comenzara a producir pequeños destellos de mayor intensidad en el limite donde se alcanzo la máxima amplitud, si el nivel se sigue incrementando ya se podrá comenzar a observar pequeñas líneas rectas en los limites de amplitud alcanzados y estaremos ante una señal recortada y el nivel donde se producen estos recortes corresponderá al voltaje máximo que puede manejar el sistema.

El recorte de la señal se puede producir en varios puntos dentro de la cadena, para el caso específico del sistema del experimento esto podía suceder en el canal de la mezcladora donde se introduce la señal de prueba antes de llegar a la sección master, en la etapa de salida master de la mezcladora o en el amplificador. Se verificó que el recorte se produjera en la salida del amplificador y no en una etapa previa del sistema.

Para el primer montaje el atenuador de entrada del amplificador fue configurado con la máxima sensibilidad de la misma forma como son habitualmente configurados en los sistemas de sonorización, es decir con los controles girados al máximo en la dirección de las manecillas del reloj. En esta posición la señal de entrada del amplificador no es atenuada. El fader master de la mezcladora fue ubicado en la posición de 0 dB y se incremento el fader del canal de entrada hasta que en la salida del amplificador se produjera el recorte. Establecido el

valor del nivel de voltaje pico máximo, la señal de prueba es retirada y se mide el nivel de voltaje pico del ruido de fondo.

El rango dinámico de un sistema se ve disminuido si es que existen corrientes parásitas o campos electromagnéticos que induzcan estas corrientes en el sistema de tierras y este no se encuentra bien configurado – loops de tierra, problema del pin 1, SCIN -. Para comprobar esto de manera experimental se construyó una “Hummer” o fuente de corrientes parásitas y que sirve para identificar problema de diseño de tierras en los equipos. Este aparato, figura 8.2, consiste en un transformador que en el secundario entrega un determinado voltaje y corriente máxima similar a los valores que es posible encontrar en instalaciones reales. El Hummer utilizado entregaba un voltaje rms de 9,24 V y una corriente, limitada por una resistencia en serie con el secundario, de 92,4 mA.

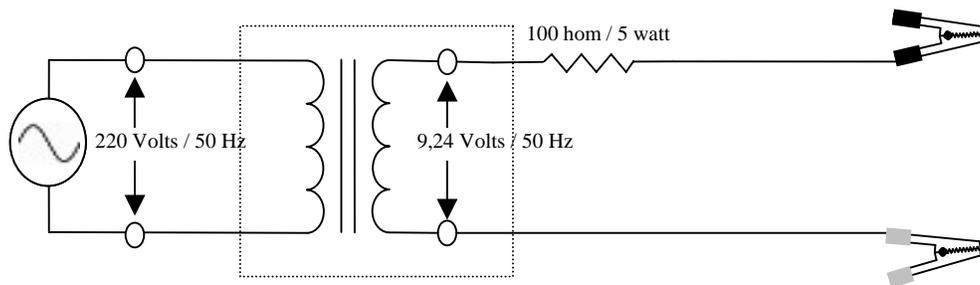
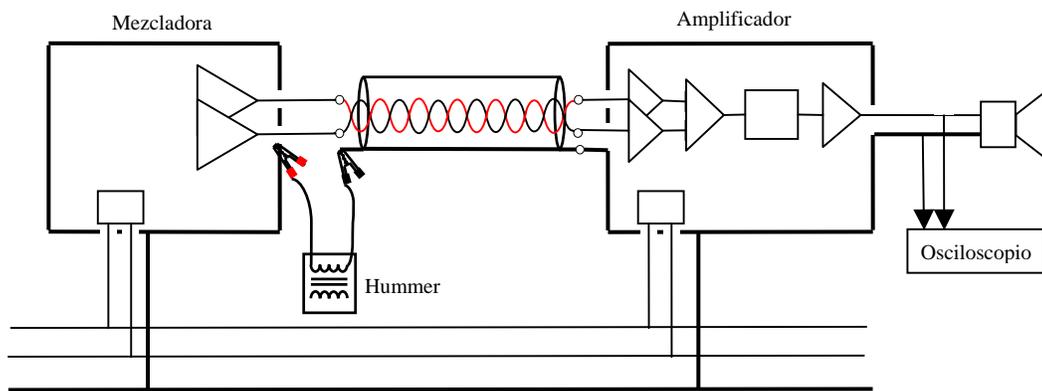
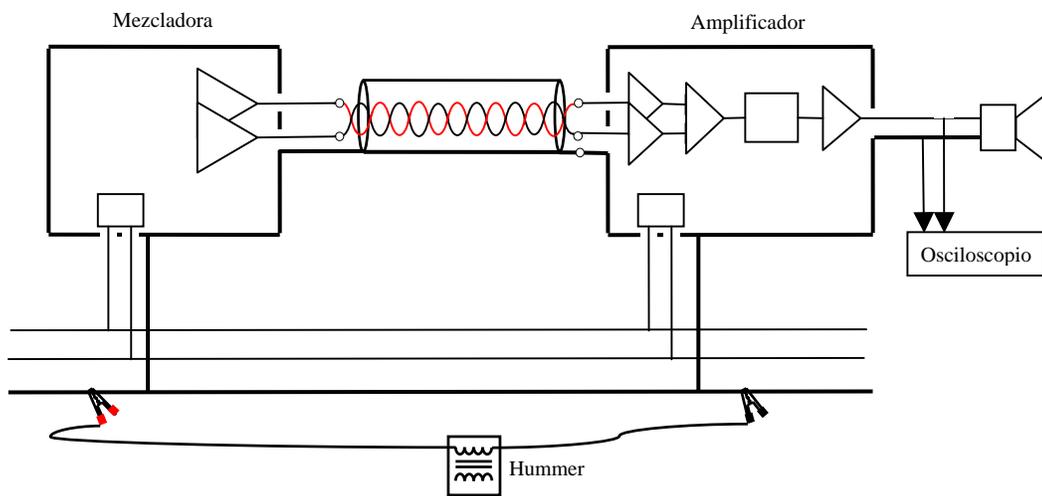


Figura 8.2.- Esquema de un Hummer

El Hummer fue ubicado en dos posiciones, la primera como se muestra en la figura 8.3.- (a), en el escudo del cable de interconexión entre los dos equipos y la segunda como se muestra en la figura 8.3.- (b), en el conductor de puesta a tierra del sistema de alimentación.



(a)

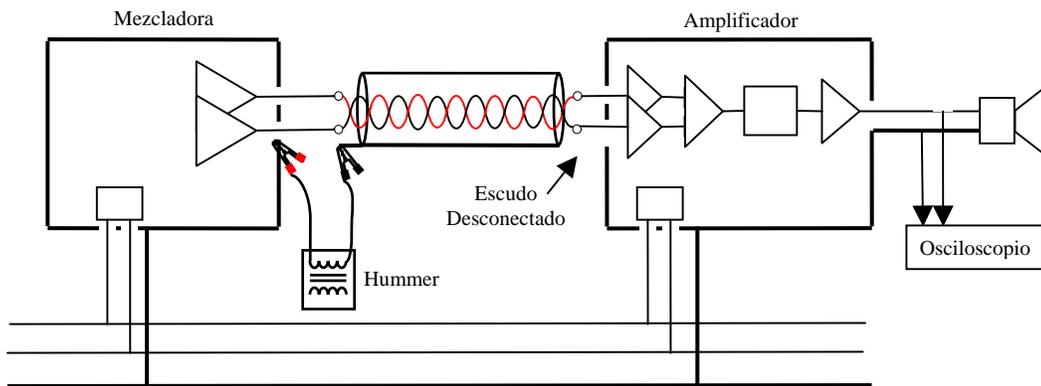


(b)

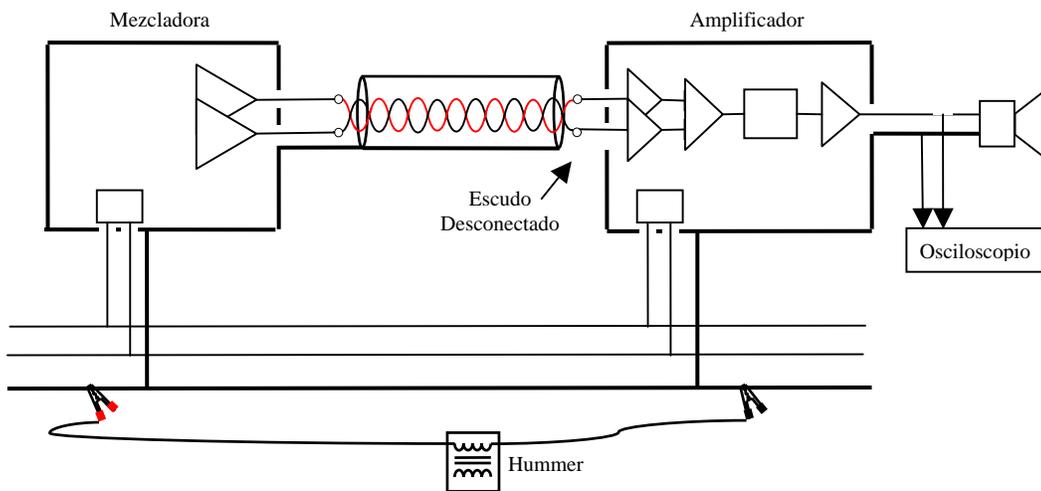
Figura 8.3.- (a) Esquema de montaje de sistema con Hummer en el escudo del cable de interconexión y (b) con Hummer ubicado en el conductor de puesta a tierra del sistema de alimentación. En los dos casos el escudo conectado en ambos extremos

En ambos casos en que se utilizó el Hummer el escudo del cable de interconexión fue conectado tanto en la salida de la mezcladora como en la entrada del amplificador, y posteriormente como se observa en la figura 8.4 el escudo fue desconectado en la entrada del amplificador.

El segundo montaje es igual al descrito recién con la salvedad que la estructura de ganancia del sistema fue optimizada. Para esto se obtiene la máxima ganancia de salida de la mezcladora antes del recorte. El fader de salida quedo en 0 dB y se incremento el del canal de entrada de la señal de prueba, por medio de la visualización de la señal en el osciloscopio es ajustado en el punto justo antes del recorte de la señal, coincidiendo este punto con el leve encendido del led indicador de recorte de los medidores de la mezcladora.



(a)



(b)

Figura 8.4.- (a) Esquema de montaje de sistema con Hummer en el escudo del cable de interconexión y (b) con Hummer ubicado en el conductor de puesta a tierra del sistema de alimentación. En ambos casos el escudo conectado solo en la salida de la mezcladora

Se interconectaron los equipos y se comenzó a incrementar la sensibilidad de entrada del amplificador girando los controles de atenuación de entrada en la dirección de las manecillas del reloj. Este proceso se realizó monitoreando la salida del amplificador con el osciloscopio y se dejó de realizar hasta que fue posible visualizar que la señal de salida del amplificador se comenzó a recortar. El punto justo antes del recorte corresponde al máximo nivel que es posible alcanzar con el sistema. Esto sucedió antes de llegar al punto de máxima sensibilidad – sin atenuación en la entrada – que es como se midió en el primer montaje. La diferencia de posición de los controles de atenuación de entrada del amplificador para cada uno de los montajes descritos se muestra en la figura 8.5. Los valores de máximo nivel y de ruido de fondo del sistema fueron medidos nuevamente bajo cada una de las situaciones de aplicación de la señal del Hummer descritas anteriormente para el primer montaje.

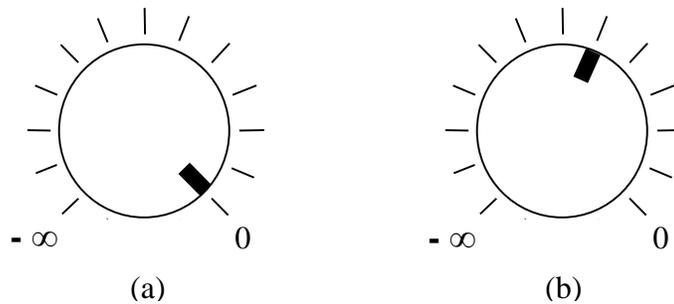


Figura 8.5.- Configuración del control del atenuador de entrada del amplificador; (a) máxima sensibilidad, (b) ganancia ajustada según salida máxima de la mezcladora.

8.1.4.- Mediciones

A continuación se entregan las mediciones realizadas en cada una de las distintas situaciones descritas. Para efectos de cálculos se utilizaron niveles de voltaje pico, por lo tanto para calcular el rango dinámico se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Rango Dinámico} = V_{PS} - V_{PR} \quad (8.1)$$

Donde:

V_{PS} : Nivel de Voltaje pico de Señal en dBu capaz de producir el sistema.

V_{PR} : Nivel de Voltaje pico de Ruido de fondo en dBu del sistema.

En la tabla 8.1 se entregan los valores obtenidos para el primer montaje y en la tabla 8.2 las mediciones y valores obtenidos en el segundo montaje:

Tabla 8.1

	V_{PS} (dBu)*	V_{PR} (dBu)*	Rango Dinámico
Sin Hummer, Escudo conectado en ambos extremos.	35,9	-36,1	72
Sin Hummer, Escudo conectado en un extremo.	35,9	-36,4	72,3
Hummer en el escudo, Escudo conectado en ambos extremos.	35,9	-28	63,9
Hummer en el escudo, Escudo conectado en un extremo.	35,9	-36	71,9
Hummer en puesta a tierra, Escudo conectado en ambos extremos	35,9	-24,6	60,5
Hummer en puesta a tierra, Escudo conectado en un extremo	35,9	-34,8	70,7

Mediciones obtenidas del sistema con máxima sensibilidad del amplificador

* Valor de referencia 0,775 Volts.

Tabla 8.2

	V _{PS} (dBu)*	V _{PR} (dBu)*	Rango Dinámico
Sin Hummer, Escudo conectado en ambos extremos.	35,7	-42,8	78,5
Sin Hummer, Escudo conectado en un extremo.	35,7	-42	77,7
Hummer en el escudo, Escudo conectado en ambos extremos.	35,7	-34	68,7
Hummer en el escudo, Escudo conectado en un extremo.	35,7	-42,2	77,9
Hummer en puesta a tierra, Escudo conectado en ambos extremos	35,7	-28,5	64,2
Hummer en puesta a tierra, Escudo conectado en un extremo	35,7	-38,4	74,1

Mediciones obtenidas del sistema con estructura de ganancia optimizada según [27]

* Valor de referencia 0,775 Volts.

9.- Resultados y Conclusiones

En el presente estudio las principales causas interferencias y ruido en los sistemas de audio fueron identificadas así como su posible solución y las guías a seguir ante un problema de esta naturaleza, partiendo desde una visión teórica hacia una mas practica

En este trabajo se integraron los distintos aspectos que intervienen en el montaje e interconexión de un sistema de audio desde un punto de vista del sistema de tierras, creando de esta forma un documento que sirve como material de consulta para personas interesadas en el diseño e instalación de sistemas de audio pudiendo ser aplicado también en otros sistemas como de transmisión de datos o de video.

El tema de tierras y puestas a tierras es un tema complejo, que involucra un conocimiento y entendimiento del comportamiento de circuitos, mostrando de forma clara la necesidad de una buena base en electrónica y electricidad por parte de cualquier Ingeniero dedicado al diseño o instalación de sistemas de refuerzo sonoro. Al ser un tema complejo, como se señala, se deduce que es necesario un análisis exhaustivo de cada una de las partes que conforman un sistema de audio, para lograr que este funcione de la forma más optima posible, de esto se desprende que no existe una guía rápida para poder lograr una optimización de un sistema de audio ni una receta que entregue los pasos a seguir.

La optimización del sistema de tierra de un sistema de audio comienza desde la puesta a tierra del sistema de alimentación y de que forma este se encuentra configurado.

Como regla general las tierras deben ir conectadas en un único punto a la puesta a tierra, proveyéndose de esta forma un solo camino para las corrientes de ruido el cual debe ser distinto al camino de los conductores de señal, principio en el cual se basa el sistema de tierra técnico aislado.

El sistema de tierra técnico aislado se presenta como la mejor opción de implementación para el sistema de puesta a tierra del sistema de alimentación de un sistema de audio, aunque dada su configuración implica implícitamente un mayor costo.

En el experimento realizado se pudo comprobar que un sistema tendrá un mayor rango dinámico – y por lo tanto será más eficiente - si su estructura de ganancia es optimizada, incluso bajo la influencia de corrientes de ruido. Corroborando esto se observó que incluso bajo las peores condiciones de ruido, el rango dinámico del sistema con la estructura de ganancia optimizada, estuvo próximo al rango dinámico obtenido del sistema con la estructura de ganancia sin optimizar y bajo las mejores condiciones de ruido (sin Hummer).

No existe la mejor forma absoluta de interconectar un sistema, por otro lado si existe la mejor forma bajo ciertas circunstancias. En el experimento realizado se pudo observar que una interconexión, entre dos equipos puestos a tierra, realizada con el escudo conectado en ambos extremos puede ser buena y funcionar bien siempre y cuando no existan corrientes parásitas en el sistema de tierra común a los dos equipos, como el caso del experimento, en el que el sistema funciona bien con el escudo conectado en ambos extremos solo en ausencia de la señal del Hummer. Frente a corrientes parásitas en el sistema de puesta a tierra la mejor alternativa fue desconectar uno de los extremos del escudo, evitándose el loop de tierra. Otra alternativa sería mantener la conexión en ambos extremos y evitar o minimizar la corriente en el conductor de puesta a tierra del sistema de alimentación. Esto es posible de lograrlo por ejemplo con un sistema de tierra técnico aislado.

Existen numerosas condiciones en un diseño de sistema, hay que tratar de colocarse en todas las situaciones previendo posibles causas de problemas. Puesto que el hecho de que un sistema funcione bien bajo ciertas condiciones no significa que este bien diseñado, ya que las condiciones iniciales pueden cambiar y el sistema presentar alguna anomalía producto de interferencias.

10. - Bibliografía

- [1] Noise Susceptibility in Analog and Digital Signal Processing Systems
Muncy, Neil.
J. Audio Eng. Soc. Vol. 43. No. 6 1995 June.
- [2] Balanced Lines in Audio Systems Fact, Fiction and Transformers
Whitlock, Bill
J. Audio Eng. Soc. Vol. 43. No 6 1995 June.
- [3] Grounding Systems and their Implementation
Atkinson, Ch. y Giddings, P.
J. Audio Eng. Soc. Vol. 43. No 6 1995 June.
- [4] Considerations in Grounding and Shielding Audio Devices
Macatee, Stephen
J. Audio Eng. Soc. Vol. 43. No. 6 1995 June.
- [5] Análisis de Ruido en Circuitos Amplificadores
Mata, Néstor Hugo
Departamento Electrónica Facultad Regional Bahía Blanca U.T.N. 2002
- [6] Audio Systems design and Installation
Giddings, Philip
G. H. 1990
- [7] Fundamental of Grounding, Shielding and Interconnection
Fause, Kenneth
J. Audio Eng. Soc. Vol. 43 No. 6 1995 June
- [8] Wire, Cable and Fiber Optics for video and Audio Engineers
Lampen, Stephen H.
1998.
- [9] Audio Engineer's Reference Book
Talbot y Smith
1999
- [10] Sound System Engineering
Davis Don y Davis Carolyn
Howar W. Sams and Company, 1987

- [11] Handbook of sound System Design
Eargle John
Elar Publishing Company, 1989

- [12] Analog Signal Processing
Pallás-Areny R. y Webster J.
John Wiley & sons, 1999

- [13] An Easily Implemented Procedure for Identifying Potential Electromagnetic
Compatibility Problems in New Equipment and Existing Systems: The Hummer Test
Wind, John
J. Audio Eng. Soc. Vol. 43 No. 6 1995 June

- [14] Energia, Aterramento e Ruído
Cysne Luiz Fernando
Música & Tecnología, Edición N° 38

- [15] Informática Profesional Ltda.
www.ipl.com.co
2005

- [16] Electricidad Tensiones Normales para sistemas e Instalaciones
NSEC 8 En.75
Gobierno de Chile

- [17] Electricidad Instalaciones de Consumo en Baja Tensión
NCH Elec. 4/2003
Gobierno de Chile

- [18] Técnica Chile S.A.
www.teknica.cl
2005

- [19] Power and grounding for Audio/video Systems. A white Paper for the real world
Brown, Jim
Audio System Group

- [20] Introducción a la instalación de equipamiento eléctrico para minimizar ruido eléctrico
de fuente externa en las entradas controladores (extracto de IEEE 518-198)
Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires

- [21] Sound System Interconnection
Rane Note 110
Rane Corporation, 1995

- [22] Fernández Fica S.A.
http://www.fernandezfica.cl/info_armonico.asp
2005

- [23] Liebert
www.liebert.com
2005

- [24] Revelando el Enigma de las Tomas a Tierra
Glasband, Martin
Equitech, 2005

- [25] CISA
Protección de Transientes y Acondicionamiento de energía
www.cisadeguatemala.com
2005

- [26] Which end should I ground?
Whitlock, Bill
Sound & Video Contractor, Oct, 2000

- [27] Advanced System Gain Structure
McGregor, Chuck
Community Professional Loudspeakers, Sep, 1999.

- [28] Estructura de Ganancia: El Rock & Roll es en Rojo!!!
Quiñones, Luis
Sound Check Magazine, 09 Octubre 2003

- [29] Rane Professional Audio Reference
Rane Corporation

- [30] Making fixed resistive Attenuators
McGregor, Chuck
Community Professional Loudspeakers, 5 Mar 2000.

- [31] All About Pads
Chinm, Rick
2004