

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

CAPÍTULO 1. Resumen.

Este trabajo consistió en una comparación práctica de circuitos activos de entrada y salida balanceadas más la inclusión de una etapa pasiva (salida caja directa) dando a conocer así, superficialmente, las diferencias que existen entre determinados modelos tipo, dada la diversidad existente en el mercado de estas etapas como una solución a problemas de inducción electromagnética. También se observó y analizó los fenómenos que ocurren al interconectar las diferentes configuraciones, midiendo sus parámetros más importantes.

Se hizo una revisión teórica de las principales causas de las inducciones de campos electromagnéticos que afectan a una señal de audio, y las distintas maneras de combatir el ruido que estos traen como consecuencia.

Mediante la teoría y la práctica se pretendió entregar un material de apoyo en forma didáctica a la comprensión de situaciones en que produzcan problemas de ruido, y su solución, dando una referencia al momento de instalar un sistema de audio profesional.

Los resultados obtenidos fueron resumidos en un cuadro comparativo para una mejor lectura, que en cierta forma no pretende determinar la mejor configuración y combinación sino más bien referenciar al lector acerca de las características individuales que poseen estas, como su respuesta de frecuencia, de fase, rango dinámico y en las configuraciones de entrada, su CMRR.

CAPÍTULO 2. Introducción.

Una cadena electroacústica está constituida por varias etapas entre la fuente emisora acústica y el elemento receptor de ondas sonoras, que también forman parte de esta. Las distintas etapas pueden ser totalmente eléctricas, totalmente acústicas o etapas transductoras las cuales transforman de un tipo de energía a otro, por ejemplo, de eléctrica a magnéticas, de magnética a mecánica, de mecánica a acústica. Asimismo cada etapa se conforma de etapas más pequeñas y así sucesivamente. Por otra parte para que las etapas formen una cadena deben estar conectadas entre sí mediante un conductor por el cual se propague la señal de audio de una etapa a otra, originándose de las entradas y salidas de los distintos dispositivos. Dentro de una cadena electroacústica existen diversos tipos de tecnologías en las entradas y salidas de audio de los equipos, diferenciándose entre sí principalmente por su impedancia, calidad de componentes y su configuración electrónica, las que influyen directamente en la calidad de la señal, específicamente en importantes parámetros como el rango dinámico y la respuesta de frecuencia que el sistema es capaz de entregar, y el comportamiento frente a ambientes que presentan determinadas condiciones de ruido. Estas diferencias tecnológicas dan origen a las conexiones balanceadas y desbalanceadas que están presentes prácticamente en toda configuración electroacústica profesional. Por otra parte, dada las características de los sistemas de audio aparecen inducciones electromagnéticas generadas por determinados fenómenos físicos, y una técnica para prevenir efectos nocivos de ellas son la conexiones balanceadas, pero no existe una sola configuración balanceada, por lo que es necesario compararlas.

Objetivo general.

Dada la diversidad de configuraciones balanceadas tanto para etapas de entradas como para salidas el objetivo general de esta investigación es realizar un estudio comparativo de estas configuraciones.

Objetivos específicos.

- Describir los diferentes tipos de inducción electromagnética dentro de una cadena electroacústica.

- Estudiar algunas soluciones para reducir o eliminar el ruido por inducciones electromagnéticas.
- Implementación en forma práctica de las distintas configuraciones y observación de la calidad de la señal basada en el rango dinámico, respuesta de frecuencia y fase.
- Interconectar salidas y entradas, combinando las distintas configuraciones, con el fin de analizar los fenómenos que se dan en cada una de estas.
- Buscar diferencias entre las configuraciones frente a situaciones que se dan dentro de las conexiones cotidianas que puedan realizarse dentro de una cadena, como cuando se suele conectar un equipo balanceado a uno desbalanceado, es decir cuando la señal es desbalanceada.

La perspectiva de esta investigación se centra en establecer una referencia al momento de instalar un sistema de audio, un cuadro comparativo entre las distintas configuraciones puestas a prueba y el entendimiento claro de los conceptos de interconexiones, y algunas técnicas reductoras de ruido, que contribuyen a que dentro de la cadena electroacústica se mantenga la integridad de la señal.

CAPÍTULO 3. DESARROLLO.

3.1 Ruido de inducción electromagnética.

3.1.1 Fuentes de ruido.

El origen del ruido se remonta desde el inicio mismo de la señal de audio dentro de la cadena electroacústica. Así como un sonido natural pueda verse enmascarado por otros, la señal de audio puede verse afectada por otra señal eléctrica, originada por diversas fuentes. Dichas fuentes pueden interactuar entre sí y así introducirse en el camino de la señal útil, ya sea filtrándose, acoplándose o induciéndose, esto a través de su propia forma de origen, conforme a esto podemos clasificar las diversas formas de ruido.

El ruido captado por un micrófono, por ejemplo, puede ser el que proviene desde una fuente de la cual no está encargado de captar, por lo tanto el ruido en este caso se sumó a la señal útil mediante una filtración, otra posible forma de manifestarse en un micrófono es a través de las vibraciones mecánicas que está expuesto el pedestal donde está montado, lo que hace vibrar el diafragma del micrófono generando señales eléctricas que se suman a la señal útil desde el comienzo de la captación. El ruido inherente, o propio de los componentes activos que poseen algunos equipos, aporta también, según la calidad de estos, a obtener una señal sucia. En la grabación de cintas magnéticas análogas se introduce el ruido blanco en el camino de la señal. Para todos estos problemas existen soluciones con resultados satisfactorios, ya que dichas manifestaciones de ruido son más bien predecibles y fáciles de controlar. Sin embargo existen conjuntamente ruidos de origen electromagnético que por distintos fenómenos eléctricos y magnéticos se acoplan a la señal, los cuales son poco predecibles y más difíciles de controlar.

3.1.2 Tipos de ruido de inducción electromagnética.

Al desplazarse en el espacio una carga eléctrica, lleva asociados un campo eléctrico y otro magnético, interdependientes y con líneas de fuerza perpendiculares entre sí. El resultado del conjunto es una onda electromagnética que emerge de la partícula. La energía transportada por la onda resulta proporcional a la intensidad de los campos eléctrico y magnético de la partícula emisora [1].

Existen varias fuentes que dan origen a las interferencias electromagnéticas (IEM), tales como las imperfecciones que se presentan en componentes pasivos (resistencias, condensadores, núcleos de ferrita, transformadores, cables, conductores, etc.), otras fuentes de IEM son generadas por fenómenos transitorios, conmutaciones o descargas producidas por circuitos próximos o por descargas atmosféricas. Así como las interferencias se manifiestan de variadas formas, son capaces también de acoplarse a la señal mediante distintos fenómenos.

Para que sucedan las IEM deben estar presente tres elementos:

- Una fuente electromagnética (dispositivo electrónico).
- Un medio de propagación del ruido eléctrico.
- Un receptor sensible a la energía eléctrica radiada por la fuente.

Se habla de compatibilidad electromagnética (CEM), cuando uno o más de estos tres elementos se pierde, es decir no se produce la inducción de interferencias electromagnéticas.

Las fuentes más comunes de IEM son líneas conductoras de alimentación de alta y baja tensión, luces fluorescentes y de neón, interruptores, dimmers, motores, transformadores de alta tensión, computadoras, transmisores de radiofrecuencias. En audio la mayoría de estas fuentes no son significativas debido a la distancia que existe entre fuente y receptor, y en general las que se deben tener en cuenta son las producidas por líneas de alimentación de corriente alterna, señales de radiofrecuencia, y cruce entre cables de conexión.

La clave para determinar como se pueden controlar las IEM, es necesario conocer como se transmite el ruido al receptor. Este tipo de ruido tiene 4 maneras de transmitirse, por acoplamiento de campo eléctrico, acoplamiento de campo magnético, acoplamiento electromagnético y acoplamiento de impedancia en común donde los tres primeros pueden ser inducidos por conducción y/o radiación, y el último sólo se induce por conducción. Se debe dejar en claro que acoplamiento eléctrico y magnético, si bien son dos fenómenos que pueden ser analizados en forma separada, en la práctica se manifiestan conjuntamente [9].

3.1.2.1 Inducción de Campo Eléctrico.

Un campo eléctrico emanado desde un cable, debido al potencial de voltaje que éste posea, está compuesto por líneas radiales de fuerza. Estas líneas viajan por el camino que oponga menos resistencia llegando de esta manera al conductor más cercano formándose una capacitancia entre estos dos puntos (emisor y receptor), esto es conocido como capacitancia mutua. La fuerza del campo va a depender de la cantidad de carga y de la separación entre los conductores. La dirección de las líneas de fuerza depende del potencial que estas tengan, si poseen potencial positivo la dirección de emanación será desde el conductor hacia fuera y si es negativo la dirección será hacia el conductor [1]. La figura 3.1 rotula el modelo de un campo eléctrico emanado desde un cable.

La manera de transferirse las IEM está basada en la capacitancia (energía almacenada por un campo eléctrico), que existe entre la fuente y el receptor, la cual es proporcional al área que comparten, a la frecuencia y amplitud del voltaje de la fuente, y la permeabilidad del medio (características conductoras del medio) e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.

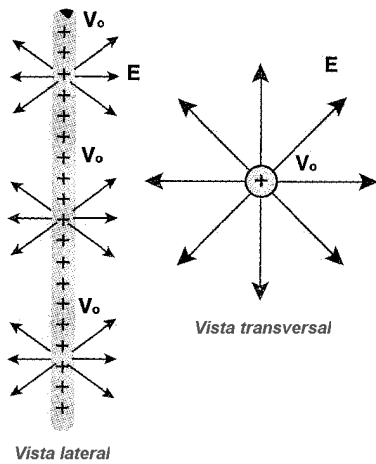


Figura 3.1. Campo eléctrico emanado por un cable.

Esta situación ocurre cuando el receptor se encuentra a una distancia menor a la sexta parte de la longitud de onda radiada por una fuente de alta impedancia, este margen de distancia se le denomina campo cercano. En general, entre un conductor cualquiera de una señal alterna (fuente de campo eléctrico), y el cable o cables conductores de la señal de audio (receptor de campo eléctrico) se produce una capacitancia que está representada en la figura 3.2.

El acople de campo eléctrico crea un voltaje en el circuito víctima,

manifestándose como ruido. Este voltaje en el circuito afectado está determinado por la fuente y por la impedancia de carga de dicho circuito, como también por cualquier capacitancia que se origine accidental o intencionalmente.

Campo eléctrico es un fenómeno de voltaje que se da en campo cercano y está relacionado a una onda de alta impedancia [6].

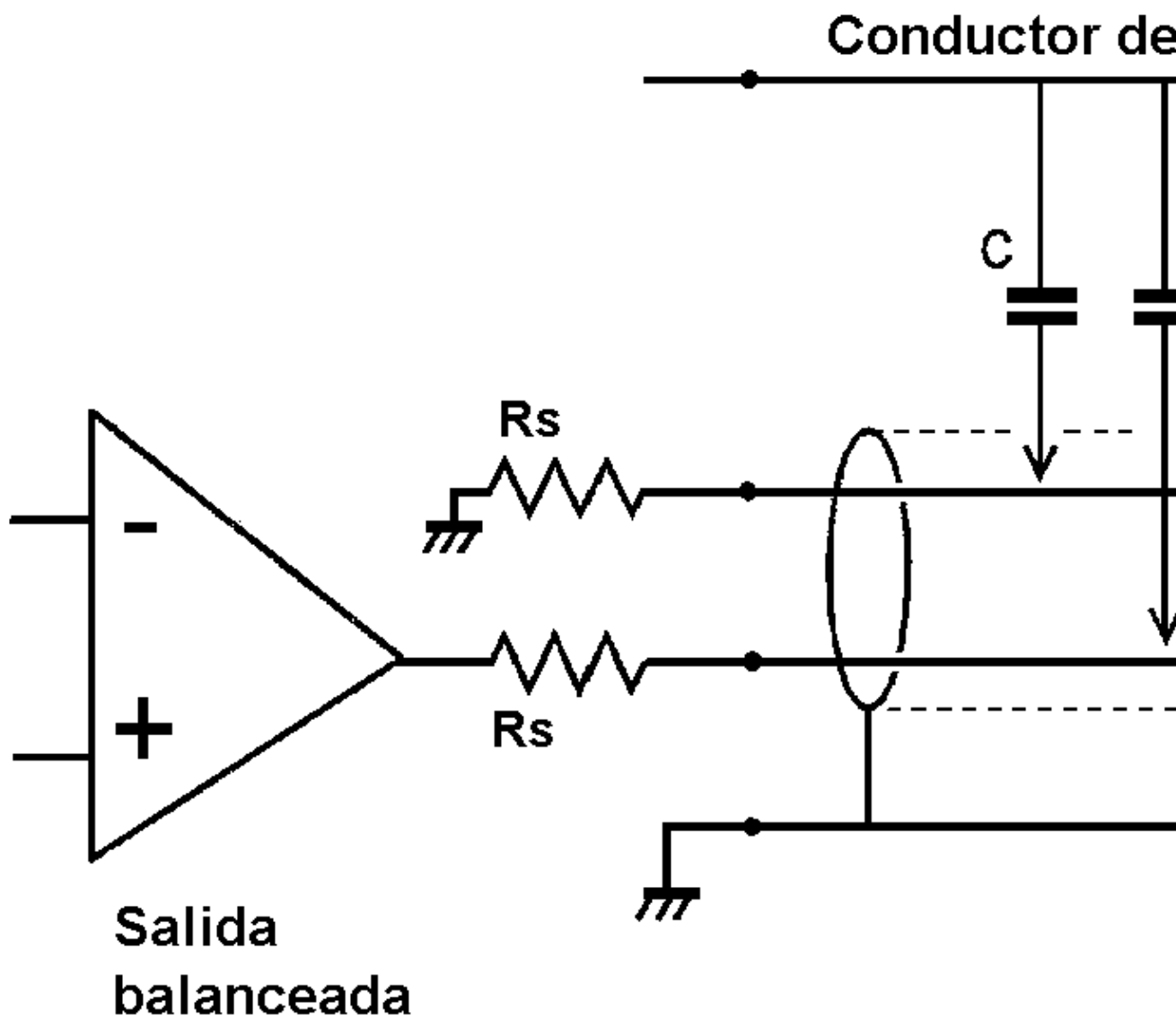


Figura 3.2. Acoplamiento capacitivo.

3.1.2.2 Inducción de Campo Magnético.

Un campo magnético se origina debido a la corriente que circula por un conductor, este movimiento de cargas hace que se originen líneas de fuerza que rodean al conductor en círculos y en forma perpendicular a las líneas de fuerza del Campo Eléctrico, dando origen a un Campo Magnético. La dirección de las líneas de fuerza está determinada por la dirección de la corriente, esto es fácil de determinar aplicando la regla de la mano derecha. El dedo pulgar indica la dirección de la corriente por el conductor, mientras el resto de la mano determina la dirección de las líneas de fuerza [1]. La figura 3.3 muestra un Campo Magnético en un conductor.

En un campo magnético la densidad de líneas está relacionada con la fuerza del campo, a mayor número de líneas mayor es la fuerza. La distancia también determina la fuerza del campo, ésta disminuye a medida que se aleja el campo. Las líneas de fuerza que debemos tener en cuenta son las que cortan la superficie del conductor. Cualquiera que sea la intensidad del campo magnético, no habrá manifestación de corriente inducida mientras éste no experimente alguna variación. Pero, apenas varía el número de líneas de fuerza que atraviesan la superficie considerada, se manifiesta una corriente inducida en la superficie involucrada del conductor. La corriente se establece por el cambio del número de líneas de fuerza que cortan aquellas superficies, este cambio se debe al fenómeno de inductancia mutua, el cual ocurre entre dos conductores que portan corriente, donde las líneas de fuerza del campo magnético de uno se enlazan con las líneas de fuerza del otro, produciendo variaciones en las líneas de fuerza. Esta es la corriente que se manifiesta como ruido en la señal de audio [6].

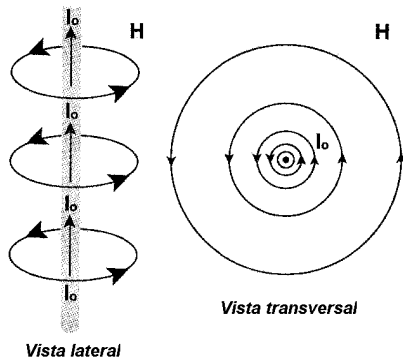


Figura 3.3. Campo magnético emanado por un cable

En la figura 3.4 se ilustra el fenómeno de acople de campo magnético entre un conductor y una línea de audio balanceada.

Campo magnético es un fenómeno de corriente que ocurre en campo cercano y está relacionado a una onda de baja impedancia.

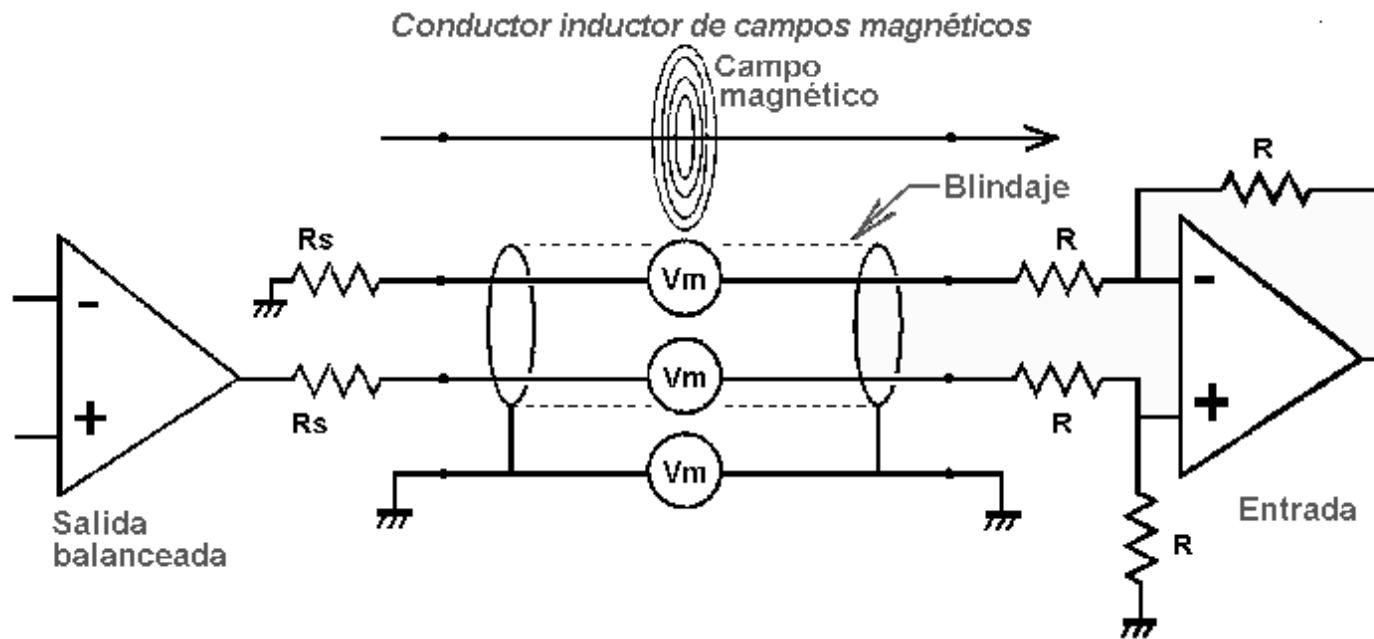


Figura 3.4. Acoplamiento magnético.

3.1.2.3 Inducción de campo electromagnético.

La radiación electromagnética es básicamente el fenómeno que involucra la interacción entre campo eléctrico E y campo magnético B , que viaja como una onda electromagnética transversal y además son capaces de abarcar grandes distancias (campo lejano), una oscilación electromagnética es campo eléctrico y campo magnético operando juntos mediante la transferencia de energía en forma mutua [1]. Es posible ejemplificar esta relación con un condensador (campo eléctrico) y una bobina (campo magnético) conectados como se ve en la figura 3.5.

Este circuito oscilará cargando el condensador, con su campo eléctrico asociado, y pasando una corriente a través de la bobina, con su campo magnético asociado. Cuando en el campo eléctrico se almacena energía al máximo entonces no hay energía en el campo magnético y viceversa, en otras palabras, cuando hay máxima corriente hay campo eléctrico mínimo, y cuando hay máximo voltaje hay un campo magnético mínimo. Cuando voltaje y corriente están en forma proporcional, campo eléctrico y magnético están presentes pero a amplitudes menores que en las situaciones anteriores. Se ha comprobado que no es posible tener cambio de campo eléctrico sin tener variación de campo magnético.

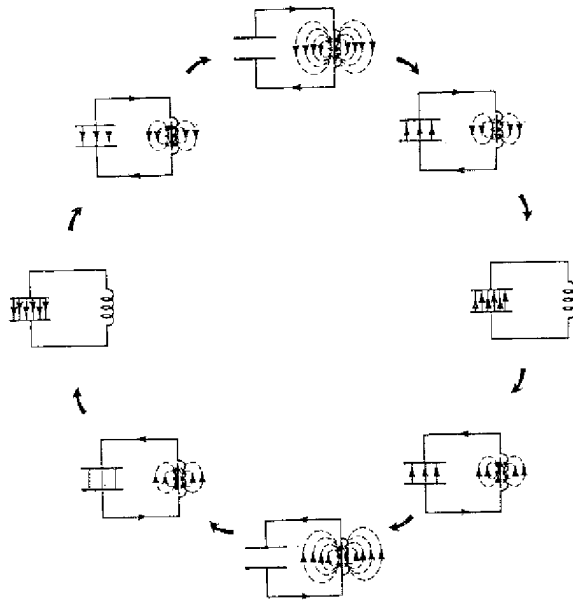


Figura 3.5. Esquema de interacción entre campo eléctrico y magnético.

Es posible ejemplificar la radiación electromagnética que viaja por el espacio como un circuito eléctrico de condensadores y bobinas en un arreglo en serie y paralelo, como muestra la Figura 3.6.

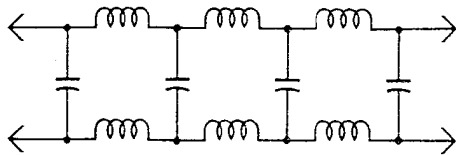


Figura 3.6. Analogía de interacción electromagnética.

La teoría de transmisión lineal describe como la radiación electromagnética viaja por el aire. Cuando una señal es aplicada a un extremo de una línea de transmisión, la energía comienza a viajar a través de ésta por la transferencia de energía desde el condensador a la bobina (cargándose y descargándose), y por tanto las ondas de energía son transmitidas como oscilaciones a través del medio.

La velocidad de propagación de una señal por una línea de transmisión está determinada por el valor de su capacitancia e inductancia las cuales también determinan la impedancia característica del medio de transmisión. Para un medio de transmisión dado, como el aire, el valor de la capacitancia está dado por su permitividad (en faradios por metro), y la inductancia está dada por su permeabilidad (en henrios por metros), y se calcula por la fórmula [6]:

Ec.(3.1)

La permitividad del aire es 8.85×10^{-12} F/m, su permeabilidad 1.26×10^{-6} H/m, por lo tanto la velocidad de propagación en el aire de las ondas electromagnéticas según la Ec(3.1) es 3×10^8 m/s.

Para que las ondas electromagnéticas viajen a través del aire (medio de transmisión), éste debe tener una

distancia lo suficiente para que se esté en campo lejano (mayor a un cuarto de su longitud de onda), y así tengan la oportunidad de establecerse como ondas planas. La longitud y la frecuencia de la onda están relacionadas a la velocidad de transmisión en el medio, por la fórmula [6]:

$$v = \lambda f$$

Ec.(3.2)

A mayor o igual distancia de un cuarto de la longitud de onda de la fuente, la razón entre la fuerza del campo eléctrico y la fuerza del campo magnético da una constante igual a la impedancia del medio (Z_0), la que se calcula por [6]:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

Ec.(3.3)

La impedancia del medio al vacío o en el aire es de 337 ohms, para campo lejano.

Las radiaciones electromagnéticas frecuentemente no tienen la suficiente fuerza para interferir en los circuitos de audio. Pueden ser difíciles de dominar ya que, no es un efecto que se pueda localizar y cualquier discontinuidad o debilidad del blindaje está sometido a los campos. Las técnicas usadas para el control de campos eléctricos son suficientes para las IEM, debido a que la fuerza del campo eléctrico es 337 veces a la del campo magnético [6].

La fuerza del campo electromagnético se puede determinar de la siguiente manera:

$$FS = 0.173 \sqrt{\frac{P}{D}}$$

Ec.(3.4)

donde FS es la fuerza del campo en volts/metros, P es la potencia radiada en kiloWatts, y D la distancia de la fuente en kilómetros.

En rigor si la fuerza del campo es inferior a 0,01 volt/metros, normalmente se tiene un pequeño riesgo a las IEM, desde 0,1 a 3 volts/metro, las IEM son un problema latente, y superiores a 3 volts/metros, es un problema grave.

3.1.2.4 Acoplamiento de impedancia en común.

Este es un fenómeno de inducción por conducción, el cual se produce cuando 2 piezas electrónicas comparten un conductor, como puede ser la misma línea de la señal, o fuentes de corriente alterna (CA.), o líneas de tierra, o donde circula una corriente a través de una impedancia en común entre las piezas involucradas, transduciéndose en ruido que depende de la separación de las piezas, teniendo relación directa con el área que limita esta unión. En la figura 3.7 tenemos acople de impedancia en común, vía el conductor neutro entre la fuente de alimentación principal y la fuente de alimentación del sistema de audio.

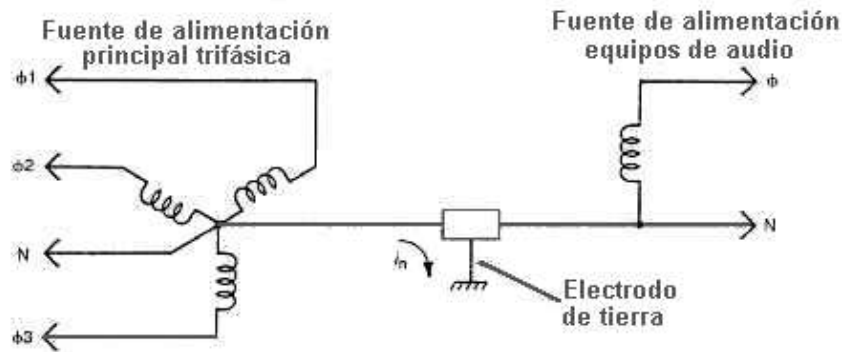


Figura 3.7. Acoplamiento de impedancia en común en líneas de alimentación.

Otro ejemplo de este acople está dado en la figura 3.8, donde tres amplificadores comparten un mismo conductor a tierra, cualquier corriente de ruido creada por los dos amplificadores de la izquierda produce un voltaje a través de R_3 lo que modula la referencia a tierra del tercer amplificador. La impedancia compartida, R_3 , da consecuencia a un acoplamiento de impedancia en común.

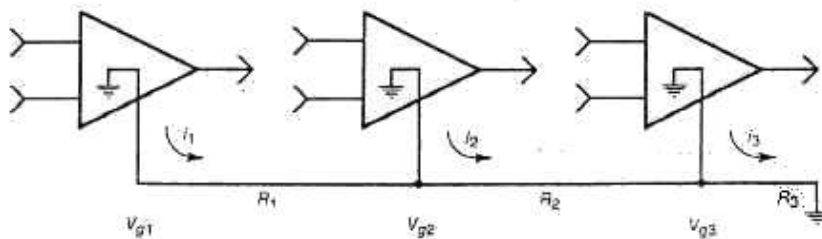


Figura 3.8. Acoplamiento de impedancia en común en circuitos de audio.

Por otra parte existe la posibilidad que en dos equipos que están justamente compartiendo un conductor, como el conductor de tierra, y estén conectados entre sí, el acoplamiento de impedancia común da como consecuencia un loop de tierra induciéndose en éste fácilmente el ruido generado por líneas de alimentación, llamado ruido HUM.

Este tipo de interferencia es la única que es transmitida a través de los cables conductores y no por el espacio [6].

3.2 Técnicas reductoras de ruido de inducción electromagnética.

A lo largo del desarrollo tecnológico se han implementado numerosas técnicas de eliminación del ruido, cualquiera sea la naturaleza de éste, tales como la conexión ideal de un sistema a tierra, la protección (blindaje) y los distintos materiales de los conductores que portan las distintas señales, la ubicación de estos conductores en el recinto, hasta el desarrollo de dispositivos electrónicos específicos para la eliminación del ruido (reductores de ruido dinámicos y estáticos, procesadores de dinámica, circuitos balanceados).

3.2.1 Sistemas de tierra.

El principal propósito de la puesta a tierra, es brindarle seguridad al usuario de los componentes eléctricos, sin embargo, no es menos importante su función de referencia para los dispositivos electrónicos, lo que contribuye, además, a dar confiabilidad, continuidad y eficiencia.

La manera correcta de implementar un sistema de puesta a tierra, pocas veces se logra, debido a la ignorancia o mala interpretación de algunos conceptos, el no-conocimiento de los códigos eléctricos, y algunas veces por negligencia y reducción de costos. Según el journal IEEE, un sistema de tierra se define como una conexión a tierra de cualquier conductor que lleva energía dentro de un sistema de transmisión eléctrica en operación normal. En la mayoría de los casos los sistemas de alimentación el conductor conectado a tierra es el neutro (figura 3.9). No obstante un conductor neutro se define como el conductor que no porta ninguna corriente en la condición en que las distintas fases tengan cargas iguales.

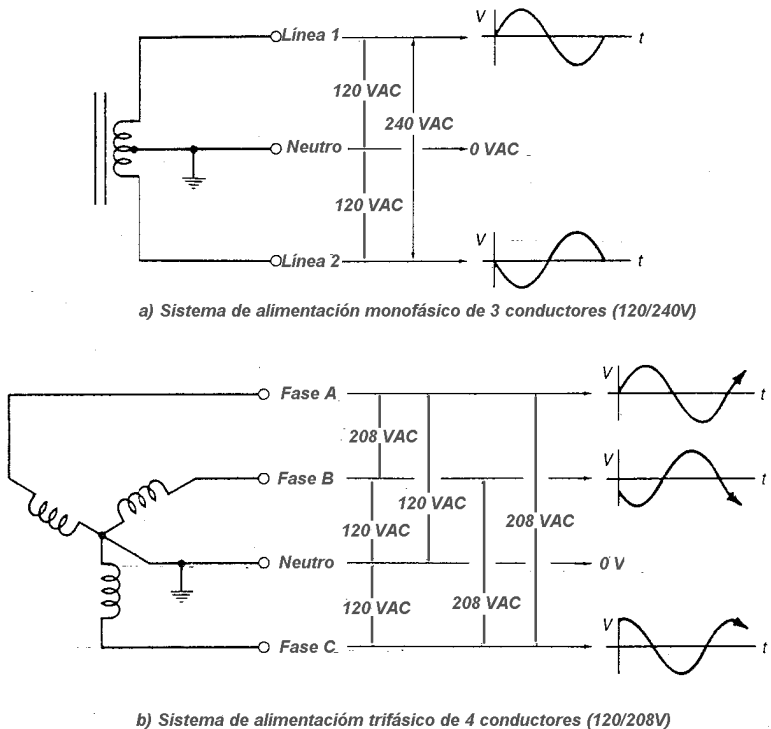


Figura 3.9. Sistemas de alimentación monofásico y trifásico.

La seguridad de los sistemas de puesta a tierra radica en la unión de las distintas impedancias entre los equipos involucrados, y entre todo el sistema y la puesta a tierra del recinto. De esta manera se minimiza el riesgo de golpes eléctricos. Por otra parte provee un camino de baja impedancia a las fallas de corriente, para producir instantáneamente un corte en los fusibles en caso de sobrecargas o imperfecciones en la aislación.

Una de las limitaciones del sistema de tierra se debe a que la impedancia del mejor conductor, hasta ahora, posee una impedancia finita, en otras palabras no alcanza el valor absoluto cero, el sistema no es totalmente efectivo, lo cual resulta que en la práctica dos puntos a tierra separados físicamente no tengan el mismo potencial.

Hasta ahora el sistema de tierra es efectivo en seguridad y tal vez en un control mínimo de ruido, no obstante, en un ambiente en donde se incluyan sistemas de Audio y/o video profesionales que interactúan con otros dispositivos eléctricos, existe mayor susceptibilidad al ruido entre dichos componentes. Ya que es necesario tener una pulcritud significativa de la señal, se emplean sistemas especiales de puesta a tierra.

A su vez, al tratarse de un sistema especial de puesta a tierra para equipos profesionales, es también necesario y fundamental la implementación de un sistema de alimentación exclusivo que otorgue fidelidad a la señal en conjunto con el sistema de tierra, en otras palabras que los equipos que forman un sistema posean una alimentación independiente y aislada de equipos de aire acondicionado, motores que se encienden y se apagan regularmente, equipos industriales de gran envergadura, sistemas de iluminación y en general todo dispositivo que cree altas transientes y descargas eléctricas. Una de las formas de conseguir esta independencia son los sistemas de energía trifásicos (figura 3.9b), de los cuales existen diversos tipos, diferenciándose entre ellos por la cantidad de conductores que usan (fuentes) y por la cantidad de energía que portan. En general se puede considerar como tres fuentes de ondas sinusoidales las cuales están en un desfase de 120° entre ellas, donde cada fase es un sistema de alimentación independiente, además las fuentes de una sola fase son fácilmente derivables de un sistema trifásico. Por otra parte el sistema de alimentación debiera ser ininterrumpible, es decir, tener un respaldo a eventuales fallas o cortes de energía [2], [6], [7].

Sistema de tierra en estrella.

Para el caso de los sistemas electrónicos tales como de audio, video y computadoras, es necesario que el sistema de tierra proporcione una conexión a tierra estable y de baja impedancia (más que el sistema convencional) para el control de las interferencias electromagnéticas. El sistema de puesta a tierra en estrella, a pesar de no ser completamente efectivo, entrega, además de los beneficios de una puesta a tierra, un mayor control de las IEM [2].

El concepto de sistema en estrella está basado en la división por niveles de las distintas etapas de distribución de la tierra de referencia de todo el sistema, en donde un conductor completamente aislado del resto recorre dichos niveles. En general se sugieren cinco niveles de implementación que pueden visualizarse en la figura 3.10.

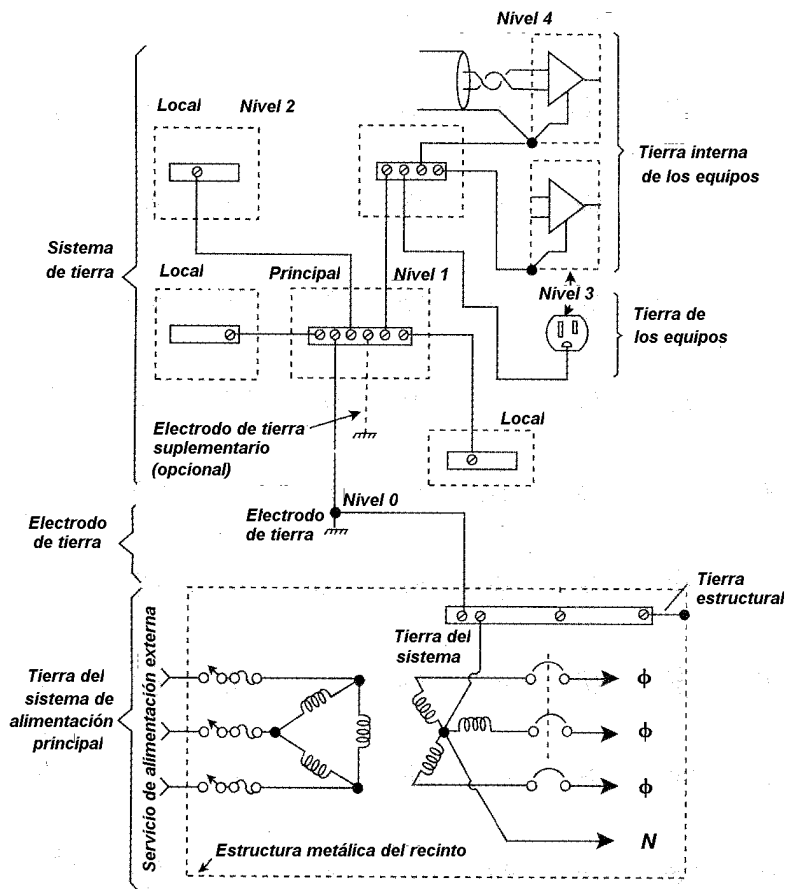


Figura 3.10. Sistema en estrella.

El nivel 0 descrito en la figura está integrado por la entrada del servicio eléctrico, en este caso un sistema trifásico de cuatro conductores, y el electrodo de tierra, este es el único punto en el cual se une este último con el conductor neutro y la tierra estructural (estructura metálica del recinto). De este nivel pueden derivarse sistemas regulares de energía.

El nivel 1 corresponde al lugar en donde está ubicado el bus de tierra principal del sistema en estrella así como la distribución de alimentación principal, estando ambos completamente aislados, y desde el cual emanan los distintos buses locales de tierra, como pueden ser las distintas salas de control en un estudio de grabación.

En el nivel 2 se encuentran ubicados los paneles de distribución locales, con sus respectivos buses de tierra. Pueden haber uno o varios paneles locales dependiendo del tamaño de las instalaciones. Al igual que en el nivel 2, el circuito de alimentación se encuentra totalmente aislado del sistema a tierra.

El nivel 3 es el punto de desemboque tanto de la alimentación como de la puesta a tierra (enchufes), en este punto es en donde se cierra la cadena ya que es en esta etapa en donde se alimentan los equipos y además se les da la referencia.

El nivel 4 lo constituye cada pieza de un equipo, la interconexión de estos y el blindaje, y es el nivel final de

la puesta a tierra del sistema estrella [6].

En la figura 3.11 se esquematizan los niveles del sistema en estrella.

Una característica del sistema en estrella es que en un área dada los equipos tienen conductores individuales (no son compartidos) para su referencia. Por lo tanto no se produce acoplamiento de impedancia en común.

Una segunda característica señala que todos los equipos en un área determinada tienen una referencia similar porque están conectados a un mismo punto o nivel. Esto también reduce el riesgo de acople de impedancia en común, además del área de un posible loop de tierra.

Otra cualidad, es que contribuye a que no hayan loops de tierra, ya que todas las piezas de los equipos tienen solamente un camino de drenaje.

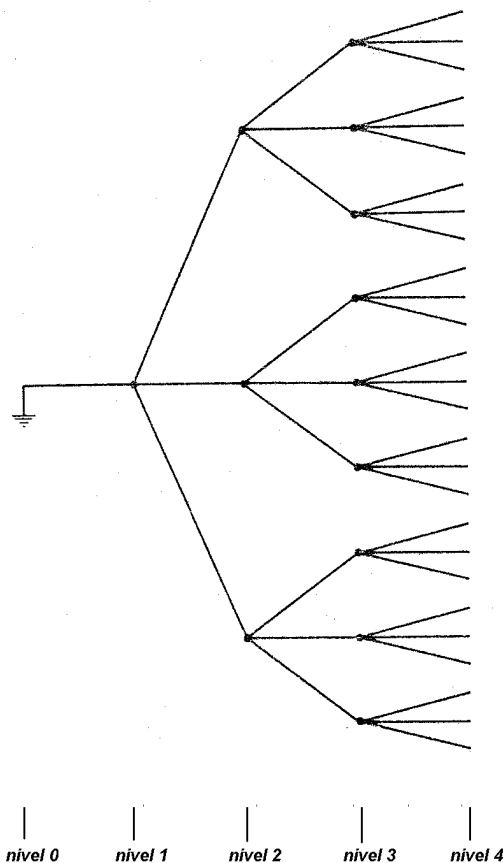


Figura 3.11. Esquema de sistema en estrella.

Aunque el sistema en estrella presente estas características, no está exento a que sucedan los ya mencionados loops de tierra, que resultan en IEM, esta es la mayor deficiencia que presenta el sistema. El loop se produce cuando un equipo está conectado a tierra en dos puntos. Esto puede ser la unión entre algún conductor del sistema especial de puesta a tierra y otro ajeno a éste, o la unión entre dos puntos del sistema de tierra en estrella. El área que encierra los conductores involucrados hace que el sistema en estrella sea vulnerable a los acoplamientos de campos magnéticos, ya que los conductores cercanos de alimentación de corriente alterna emanan campos magnéticos alrededor de ellos, cuyas líneas de fuerza pasan a través del área limitada por el loop, creando una corriente en los conductores de tierra, perdiendo la estabilidad de la referencia a tierra. Hay que hacer notar que si existen loops de tierra pero no el acoplamiento de campos magnéticos, no habrá

corriente inducida [6].

Para aclarar como se pueden producir los loops de tierra, lo haremos con tres ejemplos:

Ejemplo 1 (figura 3.12): Al conectarse inadvertidamente una parte de metal (conductora) que no esté aislada de un equipo en un rack con la alguna estructura metálica del recinto.

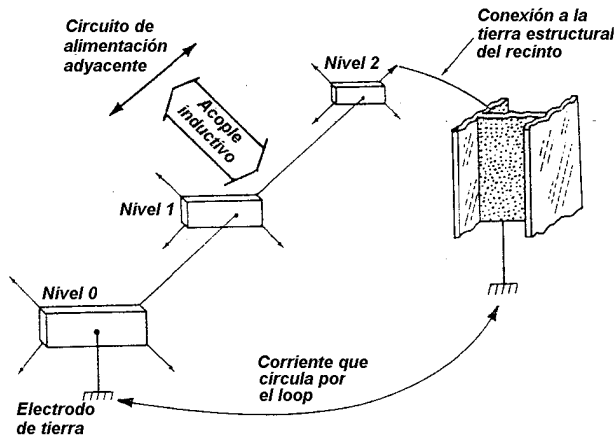


Figura 3.12. Loop de tierra.

Ejemplo 2 (figura 3.13): Cuando el blindaje de un cable tiene sus extremos conectados en puntos de estrella distintos.

Ejemplo 3 (figura 3.14): En los casos anteriores se necesita de un acoplamiento inductivo para que el loop de tierra perjudique a la señal, para este caso no. Tenemos la misma situación que el ejemplo 1, pero la corriente que circulará por los conductores de tierra es causada por acoplamientos capacitivos formados por equipos ajenos al sistema de tierra con la estructura metálica del recinto.

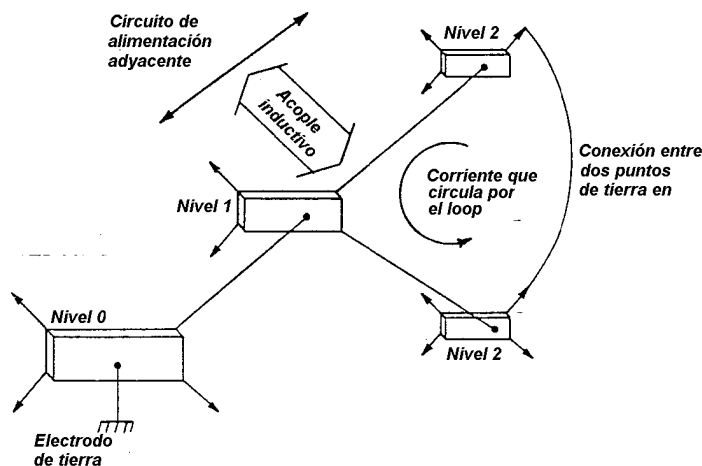


Figura 3.13. Loop de tierra.

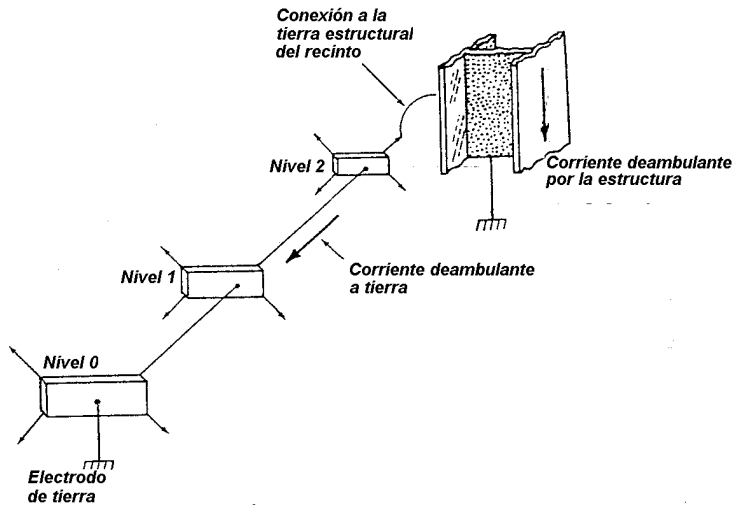


Figura 3.14. Loop de tierra.

El voltaje del ruido inducido en los conductores de tierra depende de la impedancia que estos tengan. Si los conductores tienen una impedancia cero, entonces, el sistema de tierra no será afectado por los loops de tierra u otra forma de IEM.

3.2.2 Blindaje.

Blindaje se refiere a una división metálica ubicada entre dos regiones del espacio. Y se usa para controlar la propagación de los campos magnéticos y eléctricos de un lugar a otro [8].

El blindaje puede situarse tanto en la fuente que emite campos magnéticos y eléctricos como en el receptor, o en cualquier punto entre ellos.

El funcionamiento del blindaje se basa en los principios de reflexión y absorción. Cuando una onda electromagnética se propaga a través del espacio y se encuentra con un blindaje, sucede que gran parte de la energía de la onda es reflejada, y otra gran parte es absorbida, sólo un pequeño residuo de la onda emerge de un lado a otro.

Para que el control de los campos magnéticos en bajas frecuencias sea efectivo, el blindaje debe ser de metales con una gran permeabilidad. Este tipo de blindaje es muy costoso y se usa solamente en aplicaciones con señales de bajo nivel, por ejemplo, para cubrir los cabezales magnéticos de una grabadora.

El principal uso del blindaje es prevenir el acople capacitivo desde fuentes externas que generan campos eléctricos intensos para frecuencias inferiores a 100 kHz a circuitos sensibles que operan a bajo nivel. La forma de controlar estos campos es encerrando el circuito sensible dentro de un material conductor. Prácticamente en todos los equipos de audio profesional, el compartimiento o chasis que los contiene, cumple en forma efectiva con esta función, ya sean metálicos o de plástico conductor.

La efectividad del blindaje disminuye considerablemente cada vez que un material conductor pase a través de éste debido a que los campos que chocan por un lado del blindaje son radiados al otro lado a través del conductor.

Cualquier cosa que detenga el flujo de la corriente en el blindaje, tales como mala conductividad, orificios, ventiladores u otras discontinuidades, contacto con resistencias, una deficiente puesta a tierra del equipo, dejará pasar los campos al área del circuito protegido. La filtración electromagnética por medio de aberturas

depende de la dimensión más larga y no del área que esta tenga [6,8].

Los materiales más usados para el blindaje son el aluminio y el acero. En delgadas capas estos materiales proveen una protección más que suficiente a campo eléctrico de altas frecuencias. Para un blindaje contra campos magnéticos de frecuencias menores a 10 kHz, se deben usar materiales como mumetal, supermalloy y permalloy, que son materiales de alta permeabilidad y espesores delgados. El aluminio sería transparente a los campos magnéticos debido a la baja impedancia de estos campos.

3.2.3 Cables.

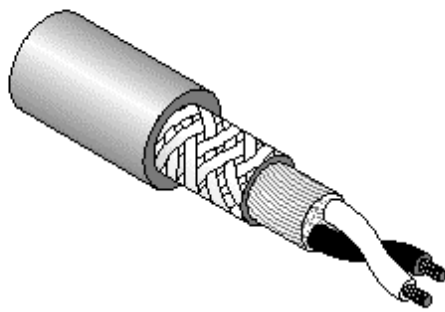
En primer término un cable es un conductor eléctrico, es decir un portador de señales eléctricas de un lugar a otro, de esta forma y dependiendo de la aplicación que debe cumplir, existen ciertas características a considerar al momento de su elección. Estas características son la capacidad de corriente que puede conducir sin llegar al sobrecalentamiento, la que está determinada por la sección del conductor. La impedancia, es definida como la resistencia al flujo de la señal de corriente eléctrica alterna. La resistencia y flexibilidad de los materiales a las fuerzas físicas que puedan verse sometidos. La pureza del cobre, según algunos audiófilos, tiene un notable efecto en el sonido, sin embargo no es una característica de gran importancia en aplicaciones dentro del audio profesional (no se han encontrado hasta ahora estudios para corroborar esto). La configuración del conductor, esto implica varios puntos a tener en cuenta, como la forma, el espacio y orientación entre conductores. Existen otros puntos que igualmente deben ser considerados, como el peso, el largo y el costo de un conductor.

La importancia de los cables conductores en la interconexión de equipos, no deja de ser significativa para la reducción de las IEM, ya que esta sección del sistema es la más vulnerable al acoplamiento de ruidos por su similitud a una antena.

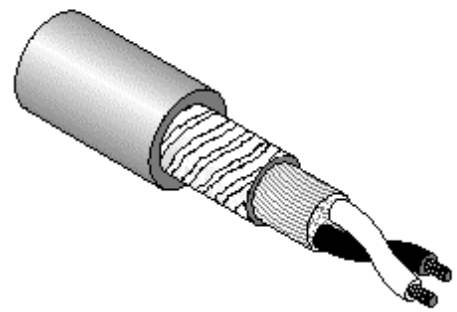
Un aspecto interesante es la variación que presenta la impedancia con la frecuencia de la corriente, si la frecuencia aumenta lo mismo sucede con la impedancia. Debido a que muchas formas de IEM son a frecuencias altas, la impedancia del cable se transforma en un factor importante para determinar la habilidad de drenar el ruido eléctrico. Un conductor aumenta su impedancia debido a que su inductancia interna aumenta hacia el centro, haciendo más fácil el flujo de corriente hacia la superficie de éste, por lo tanto a frecuencia muy altas, la mayoría de las corrientes fluyen alrededor de la superficie del conductor, reduciendo el área de conducción efectiva y presentando así una mayor impedancia, esto es conocido como el efecto skin. El incremento propio de la inductancia del conductor depende del largo y del radio del conductor.

El tipo de aislación del cable también es un elemento que influye en el conductor tanto eléctrica como físicamente, el rango de voltaje, la flexibilidad y el costo son algunos de los afectados. La capacitancia entre conductores de un cable está determinada por el material que los aísla y cuantificada por su constante dieléctrica, y el espacio que separa a ambos conductores está determinado por el grosor del material aislante.

El blindaje en un cable cumple dos funciones principales. La primera es eliminar el acople capacitivo de los campos eléctricos cercanos a los conductores. Dependiendo del tipo de blindaje que posea un cable, éste será más o menos efectivo, ya sea trenzado, en espiral o laminado, a pesar de que estas últimas dan los mejores resultados debido a que el blindaje que proporcionan tiene mejor continuidad, pero no son comúnmente usadas por la poca flexibilidad que presentan. La figura 3.15 muestra las distintas posibilidades de blindaje de un cable. La segunda función es proporcionar un camino definido para que las corrientes parásitas resultantes vuelvan a sus respectivas fuentes sin compartir los conductores de la señal de audio. Por otro lado, cabe mencionar la importancia del blindaje del cable al ser una extensión del blindaje de los equipos conectados. Si el blindaje de un cable se conecta en los puertos de entrada y salida de un equipo de tal manera que llegue a la referencia interna del circuito, se acoplará ruido desde fuentes externas.



a) Blindaje trenzado



b) Blindaje en espiral



c)

Figura 3.15. Tipos de blindajes.

La separación física entre los cables tiene un efecto significativo de como interactúan. Los efectos de la separación entre cables paralelos está sometida a la regla de tres decibels por el doble de la distancia, la cual es aplicada tanto a los campos eléctricos como a los magnéticos, por lo tanto se debe realizar una cuidadosa separación entre cables que porten distintos niveles. Por otro lado el ruteo de cables debe ser considerado ya que el simple cuidado de éste da buenos resultados. Al cruzar los cables en ángulos rectos se cancela totalmente el acoplamiento de los campos magnéticos, aunque no totalmente el acoplamiento de campos eléctricos [6].

3.2.4 Sistemas balanceados.

Los sistemas balanceados se definen como un circuito, cuya señal es transmitida mediante dos conductores, los cuales tienen la misma impedancia a tierra (conductor independiente) y a otros conductores, y a todos los circuitos conectados a él [9].

Todo dispositivo de audio profesional requiere de un circuito específico por donde ingrese la señal eléctrica (circuito de entrada) y otro de salida (circuito de salida), que según el diseño, se dice si un sistema es balanceado o desbalanceado, como se muestra en los siguientes circuitos tipo de la figura 3.16.

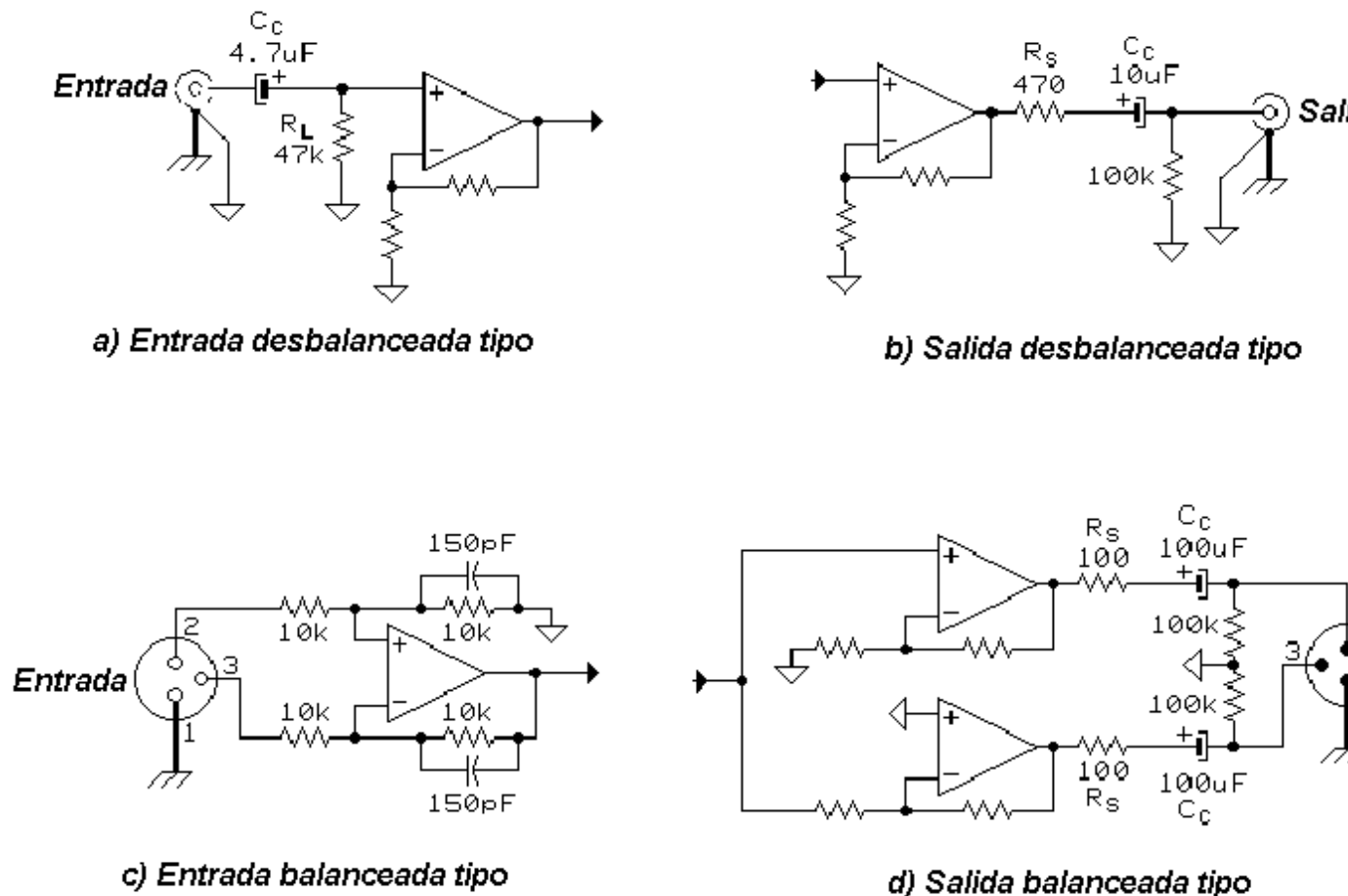


Figura 3.16. Entradas y salidas de audio.

El origen de la tecnología balanceada se remonta a los inicios de la industria de la telefonía, la cual necesitó de un sistema que fuera capaz de eliminar las grandes cantidades de energía electromagnética inducidas por las líneas de alimentación que viajan a la par con las redes telefónicas, posteriormente el modelo fue adoptado por el audio profesional, como un complemento al resto de los métodos de eliminación de ruido ya antes mencionados. Teóricamente el sistema es perfecto para los ruidos producidos por las conexiones a tierra y las IEM, sin embargo en el camino que separa la teoría del mundo real se van presentando situaciones, ya sea por mala interpretación en la implementación, por falta de presupuesto o por simple desconocimiento de los conceptos, que finalmente conducen a más problemas que soluciones.

La reducción del ruido en un sistema balanceado se produce en la entrada de los equipos, que consiste en una etapa diferencial, es decir, su función es invertir la señal de uno de los conductores y sumarla con la del otro conductor, en otras palabras, realiza una diferencia entre las señales del par de conductores, por lo tanto, dependiendo de la polaridad de la señal en los conductores, esta etapa sumará o restará sus amplitudes, considerando esto el ruido debiera restarse y la señal útil sumarse. La manera de discriminar el ruido de la señal útil en la etapa de entrada radica en la etapa complementaria a esta, la etapa de salida de los equipos, la que tiene la función de disponer las señales que transmitirá de manera que las amplitudes sean sumadas en la etapa de entrada de los equipos. Esta disposición de las señales es llamada modo diferencial y se caracteriza en que la amplitud de las señales en cada uno de los conductores en un instante dado deben ser exactamente iguales pero de polaridad opuesta, para lograr esto la etapa debe dividir la señal en dos señales e invertir en polaridad una de ellas. Para que las señales de ruido sean eliminadas completamente deben inducirse con la misma amplitud y polaridad o fase en cada conductor, es decir señales en modo común, para que sean restadas

en la etapa de entrada y no sumadas, sin embargo la eliminación completa del ruido en modo común depende además de la estabilidad y tolerancia de los componentes del circuito. De esto último también depende el obtener señales realmente en modo diferencial, y en la calidad de un sistema balanceado.

En la figura 3.17 se muestra la forma en que las señales en modo común son inducidas a través de un cable balanceado, y la capacidad que tiene un sistema de eliminarlas está dada por el CMRR (siglas en inglés de razón de rechazo en modo común), la cual es medida en decibeles como muestra la ecuación (3.5), siendo una característica específica de la etapa de entrada de los sistemas balanceados [4].

$$CMRR = A_D - A_C$$

Ec.(3.5)

Donde A_D es la ganancia para las señales en modo diferencial, y A_C la ganancia de señales en modo común.

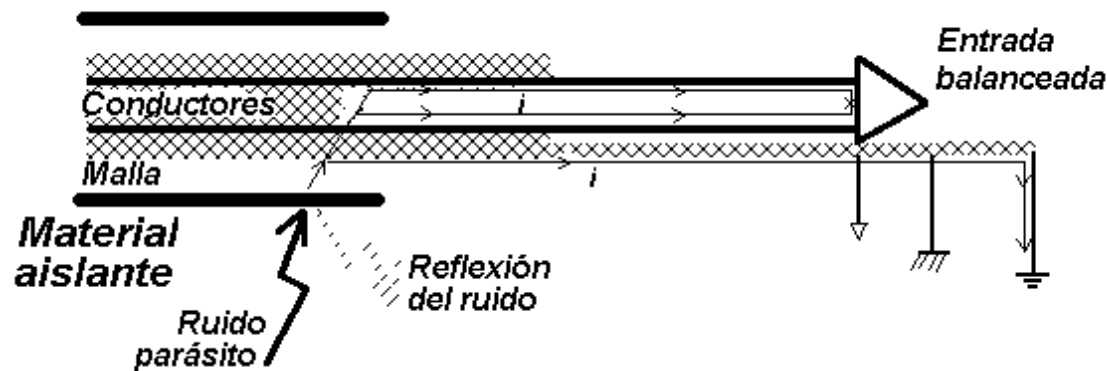


Figura 3.17. Inducción de señales en modo común.

Los sistemas desbalanceados son conexiones que hacen uso de sólo dos conductores, en donde ambos portan la señal siendo uno de ellos además la referencia del sistema. Aunque estos sistemas no son tan efectivos contra las IEM como los sistemas balanceados, aquello no significa que sean menos utilizados en sistemas profesionales, de hecho dentro de la mayoría, empero no todos, de los equipos de audio, ya sea compresores, consolas o efectos, en su interior, las señales circulan en forma desbalanceada debido principalmente a reducción de costos y un diseño menos complejo. Una debilidad inherente de las interconexiones desbalanceadas es que el blindaje o malla, el cual recordemos también es un conductor de la señal, es un camino perfectamente abordable por las corrientes relacionadas a las líneas de alimentación que frecuentemente fluyen entre las referencias a tierras de los equipos. El voltaje que cae a través de las resistencias del blindaje y los conectores es agregado directamente a la señal, produciendo el familiar Hum y Buzz. La figura 3.18, esquematiza la interconexión de equipos desbalanceados, en ella se puede visualizar la susceptibilidad del sistema frente al cableado de la alimentación de los equipos como se mencionó anteriormente.

De estos circuitos se originan las interconexiones de los equipos que constituyen un sistema de audio.



Figura 3.18. Inducción de ruido Hum.

Al contar con sistemas balanceados se discrimina el ruido, el nivel de la señal es mejorado y por lo tanto el rango dinámico se ve directamente beneficiado, además es posible eliminar loops de tierra. No obstante existen algunas desventajas en estos sistemas, como la poca probabilidad de que señales de radiofrecuencia sean demoduladas con la misma efectividad en ambas entradas para que ocurra la cancelación de la señal en modo común. También existe una mayor posibilidad de conectar erróneamente los conductores en forma invertida produciendo una inversión de fase no deseada que podría pasar desapercibida por un período de tiempo, el mismo error en una conexión desbalanceada interrumpe el audio completamente.

3.2.4.1 Clasificación.

Con el paso del tiempo la tecnología ha experimentado cambios significativos que por supuesto también han hecho de los circuitos balanceados importantes protagonistas en el mundo del audio profesional. La tecnología balanceada ha hecho uso de determinadas tecnologías dentro de las cuales caben mencionar las etapas transistorizadas, configuraciones con amplificadores operacionales, y el uso de transformadores de alta calidad, siendo estas dos últimas formas las más usadas hoy en día, en especial las configuraciones con operacionales. Según lo anterior se realizó la siguiente clasificación.

3.2.4.1.1 Entradas y salidas activas.

La mayoría de las entradas y salidas de audio hacen uso de circuitos activos como interfaz de las líneas de audio. Estos pueden incluir componentes discretos (resistencias, condensadores y transistores), circuitos integrados o bien una combinación de ambos. Lejos el elemento de tecnología integrada más utilizado en el diseño de entradas y salidas de audio es el amplificador operacional. Existen sin embargo buenos y malos diseños. La popularidad de estos entre diseñadores y usuarios es debida al bajo costo y en general por un excelente rendimiento.

La entrada balanceada se caracteriza teóricamente por dejar pasar las señales en modo diferencial y no dejar pasar las en modo común. Para lograr esto la entrada balanceada activa se compone de un terminal positivo (no-inversora) y otro negativo (inversora). Al aplicar una señal en modo diferencial la entrada negativa se encarga de invertir la señal sumándola así con la que se encuentra en la entrada positiva, obteniéndose la señal de salida. Cuando se aplica una señal en modo común, al ser estas iguales al momento de ingresar por cada una de las entradas, se produce la cancelación de dicha señal debido a la inversión de una de ellas, en la práctica la mayoría del ruido que es inducido por el par de conductores es en modo común. Existen muchas

maneras de implementar una entrada balanceada. El factor que determina el rendimiento de una implementación, es decir una buena administración de la señal balanceada que va a recibir, radica principalmente en el equilibrio entre las impedancias. El principal afectado es el CMRR que con un desequilibrio del 1% en la precisión de las resistencias que constituyen un circuito no sobrepasará los 40 dB [14]. La figura 3.19 muestra ejemplos de entradas balanceadas.

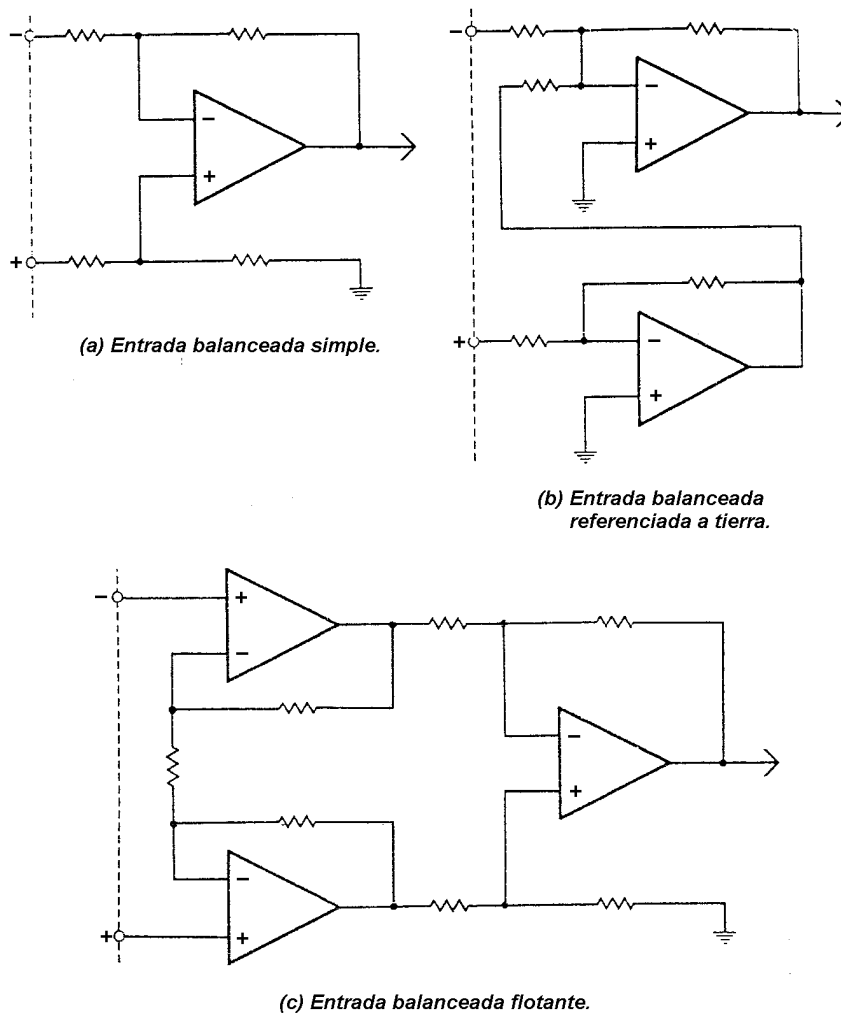


Figura 3.19. Entradas balanceadas activas.

En un primer caso, figura 3.19a, el circuito en la entrada positiva tiene el doble de impedancia con respecto a tierra que la entrada negativa, lo que produce inestabilidad tanto para señales en modo común como para las en modo diferencial. La figura 3.19b es una implementación mejorada respecto a la anterior, pues proporciona una entrada verdaderamente balanceada aunque requiere de ciertos ajustes para obtener un buen CMRR. En tanto la figura 3.19c es la que entrega un mejor rendimiento [6].

Las salidas balanceadas activas pueden variar tanto en diseño como en su contribución a interconexiones libres de ruido y problemas. Su impedancia de salida puede variar desde decenas de ohms a un ohm. En general las salidas son de 600 ohms. Para obtener bajas impedancias de salida es necesario recurrir a dispositivos discretos como transistores o Fets, incrementando su costo y complejidad, llegando incluso a impedancias de alrededor de los 65 ohms.

Los amplificadores operacionales están contruidos de tal forma que frente a cortocircuitos no sufren daños, de esta manera en circuitos de salida mayores a 600 ohms (sin dispositivos discretos) es posible conectar una o ambas salidas a tierra (en sistemas balanceados) [6].

La figura 3.20 ejemplifica una configuración típica de una salida balanceada activa que funciona bien en la mayoría de las aplicaciones cuando se utiliza apropiadamente.

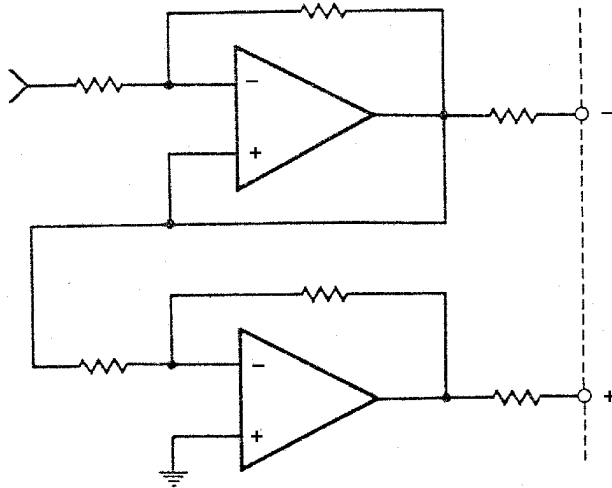


Figura 3.20. Salida balanceada referenciada a tierra.

Si la salida negativa es conectada a tierra, como ocurre al conectar una carga desbalanceada, la salida positiva que es derivada de la negativa, puede ser distorsionada. Conectando la salida positiva a tierra, la corriente creada puede introducir ruido. Cualquiera de las salidas que sea conectada a tierra produce una pérdida de 6 dB en la señal, esto se debe a que la configuración no es flotante. Otra consecuencia de una implementación no flotante es que cualquier modulación de la referencia a tierra relativa a los dispositivos de salida tal como el Hum producido por fuentes de corriente alterna, aparecen como señales en modo común en el dispositivo de entrada.

Un diseño más sofisticado de salida activa balanceada lo proporcionan las configuraciones flotantes (figura 3.21), las que se aproximan al comportamiento de un transformador. Sin embargo las características de salida difieren de una salida flotante real (transformador) ya que el circuito no está completamente aislado de tierra.

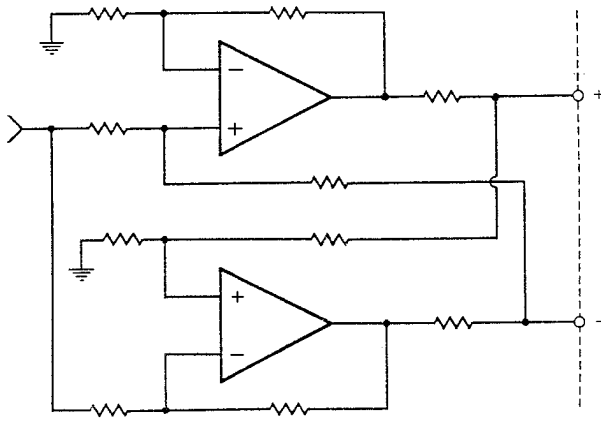


Figura 3.21. Salida balanceada flotante.

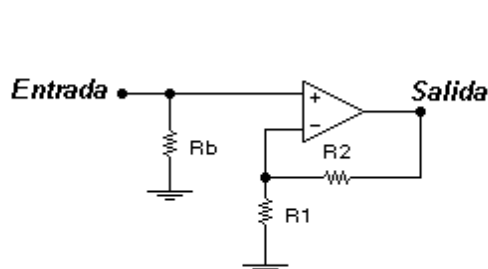
Una ventaja de esta configuración flotante es que entrega el mismo nivel tanto a una entrada balanceada como desbalanceada, sin embargo al conectar a una entrada desbalanceada, el "headroom" es reducido en 6 dB, ya que al conectar una de las salidas a tierra, aunque su voltaje se duplica, se está haciendo uso de solamente uno de los amplificadores operacionales, por lo general la salida fuera de fase es conectada a tierra, para así mantener la fase de la señal original. Su único inconveniente es que tiende a acentuar la tolerancia del circuito lo que también afecta al "headroom", por lo que se requieren de resistencias de alta precisión para mantener el balance de las amplitudes en ambas salidas [6].

La gran mayoría de las topologías de los circuitos de salidas balanceadas activas se derivan de esta configuración flotante.

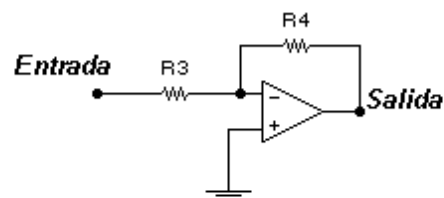
El principio de funcionamiento para balancear una señal mediante circuitos activos se basa en las configuraciones inversoras y no-inversoras de los amplificadores operacionales, ilustradas en la figura 3.22. La ganancia (A) para cada una de estas etapas se calcula por la ecuación (3.6) para la figura 3.22a y por la ecuación (3.7) para la figura 3.22b, donde R4 y R2 son las resistencias de realimentación.

Ec.(3.6)

Ec.(3.7)



a) Configuración básica no inversora



b) Configuración básica inversora

Figura 3.22. Configuraciones básicas en amplificadores operacionales.

3.2.4.1.2 Transformadores.

El transformador es un dispositivo inherentemente diferencial que proporciona una aislación eléctrica a las señales de entrada y salida, comúnmente consiste de a lo menos dos bobinas que comparten un centro de aleación de hierro, este centro en común conduce las líneas de fuerza creadas por una corriente en una bobina, hacia la otra bobina, induciendo una corriente en ella. De esta manera una corriente alterna es conducida sin conexión eléctrica a la otra bobina, en donde la relación entre el número de vueltas entre las bobinas determina la relación del voltaje, la corriente y la impedancia entre la entrada y salida del transformador. En el mundo del audio el transformador ha sido utilizado desde su aparición. A pesar de la popularidad de las entradas y salidas activas, los transformadores siguen siendo irremplazables en muchas situaciones, esto se debe a características únicas como la aislación eléctrica entre primario y secundario, los cuales pueden estar o no referenciados a tierra lo que los hace utilizables en cualquier configuración balanceada (flotante o no flotante) y desbalanceada, una completa aislación a corrientes continuas entre bobinas reduce loops de tierra, el rango para las señales en modo común es mayor a 100 volts lo que comúnmente para los amplificadores operacionales es bajo 5 volts, además el CMRR no se ve degradado por el tiempo. Los transformadores tienen la función de pasar las señales en modo diferencial y rechazar las en modo común, cuando una señal en modo diferencial es aplicada a los terminales del transformador se produce una corriente en la bobina por lo que la señal es pasada al secundario, contrariamente las señales en modo común que se le apliquen serán canceladas en el primario, es decir no hay flujo de corriente y por lo tanto las señal no pasa al secundario [6].

A pesar de sus características, los transformadores también presentan algunas desventajas, principalmente distorsión en bajas frecuencia, problemas de respuesta en altas frecuencias, estos inconvenientes pueden ser solucionados con alguna configuración electrónica externa. Las capacidades frente a transientes son pobres y presentan errores de fase. Por otra parte los transformadores son componentes bastante más grandes que los amplificadores operacionales, además de ser bastante costosos.

A pesar de las numerosas ventajas y características de los transformadores, su uso en audio no es comparable con el amplificador operacional.

3.2.4.2 Interconexiones.

En un sistema de audio profesional las entradas y salidas de los equipos involucrados pueden ser tanto balanceadas como desbalanceadas por lo que es de suponer que se deben hacer combinaciones de estas. Además cuando se conectan equipos entre sí es probable que la conexión del conductor de referencia (tierra) no siempre quede conectado de una misma manera y esto, según algunos autores, es un punto que se debe tener en constante consideración. Se recomienda que el pin 1 se conecte al blindaje de ambos equipos y no a la referencia interna del circuito ya que esto hace al equipo más susceptible al ruido eléctrico atribuido principalmente a los acoples de impedancia en común y loops de tierra. Sin embargo existe otra recomendación, que ya es una práctica estándar sobre todo dentro de instalaciones fijas, que consiste en conectar el blindaje del cable sólo en uno de los equipos y dejar el otro sin conectar, esta es la llamada regla OEO (one end only) [9]. Se ha debatido en bastantes publicaciones acerca de cual extremo se debe desconectar estando la mayoría de acuerdo en sólo conectar el del circuito de entrada (dispositivo receptor) ya que para trabajar correctamente, el blindaje sólo necesita drenarse a tierra en un punto, además la regla debe ser aplicada uniformemente en toda la instalación. La principal ventaja de esta práctica es la prevención de las corrientes de tierra que pueda producirse en el sistema además de la disminución de los loops de tierra. Sin embargo el sistema queda más susceptible a las inducciones de radiofrecuencias ya que el cable que se dejó sin conectar ahora hace de antena ante dichas radiaciones debido a la capacitancia que éste forma con la tierra [8].

En toda interconexión hay tres impedancias que considerar, impedancia de entrada (carga), de salida y del

cable. Generalmente la relación que existe entre la impedancia de entrada y salida específicamente en los sistemas de audio, es que la entrada tenga una impedancia igual o mayor a la impedancia de salida para una mejor transferencia de la señal, se recomienda que sea por lo menos diez veces la impedancia de salida. Por otra parte el cable se comporta como un filtro pasa bajos mientras este no sea una línea de transmisión y su frecuencia de corte depende de su impedancia característica (largo, inductancia y capacitancia), y para que sea una línea de transmisión el cable debe ser 1/10 de la longitud de la onda transmitida. Tomando en cuenta que una señal por un cable de audio se propaga con una velocidad de 1.26×10^8 m/s, según la ecuación (3.8) para un cable con inductancia (L) 0.17 H y capacitancia (C) de 34pF, y utilizando la ecuación (3.2), una línea de transmisión para una onda de 20 kHz tiene una longitud de alrededor 630 m [6].

Ec.(3.8)

Como se dijo anteriormente en una instalación se pueden realizar conexiones entre equipos con entradas y salidas balanceadas y desbalanceadas además de una cantidad considerable de combinaciones entre estas, determinadas al mismo tiempo por la manera en conectar el terminal de referencia. La combinación entre sistemas balanceados con desbalanceados nunca tendrán una señal con la fidelidad que se tiene en un sistema completamente balanceado debido a que tiene un mayor riesgo a acoples de IEM, además los sistemas desbalanceados operan a un nivel nominal de -10dBV y los sistemas balanceados a un nivel de $+4\text{dBu}$, lo que puede afectar al headroom o la relación señal-ruido del sistema, es decir saturar una entrada desbalanceada o acercarse mucho la señal al ruido. La impedancia también es un problema ya que los sistemas desbalanceados poseen altas impedancias de salida y entrada, que lo hacen más sensible al ruido desde campos eléctricos, y las salidas de alta impedancia transmiten la señal a cargas de 600 Ω o a largas distancia sin distorsión. En las siguientes tablas se presenta una referencia con ventajas (tabla 3.1) y desventajas (tabla 3.2) entre las conexiones más comunes que puedan llegar a realizarse en una instalación típica [6].

	Entrada balanceada activa	Entrada balanceada con transformador	Entrada desbalanceada
Salida balanceada activa	• Sistema completamente balanceado • Es posible conectar varias entradas en paralelo y a distancias largas sin problemas • Sigue funcionando si alguno de los conductores se corta o se conecta a tierra	• Sistema completamente balanceado • Mejor combinación debido a las características de entrada de un transformador y la baja impedancia de la salida activa	• Al ser todo electrónico puede tener una buena calidad sonora
Salida balanceada con transformador	• Sistema completamente balanceado • El transformador tiene aislación de tierra	• Sistema completamente balanceado • Raramente falla debido a maltratos • Completamente aislado, el ruido de tierra no se	• La aislación del transformador elimina la posibilidad de un loop de tierra • No se pierden 6 dB de señal al desbalancear el

		acopla fácilmente	transformador
Salida desbalanceada	• Bajo costo • Si son conexiones a distancias cortas se tiene una buena calidad sonora	• La aislación del transformador respecto a tierra elimina un posible loop de tierra • La entrada del transformador ayuda a controlar IEM	• Bajo costo • No hay inversiones de fase inadvertidas

Tabla 3.1: Ventajas en las interconexiones.

Los conectores también poseen un papel relevante en las conexiones de equipos de audio, desde el tipo de conector, pasando por su anatomía (carcasa, blindaje, aislante), el o los materiales del cual esté compuesto, hasta la terminación de su construcción. Dos de los conectores más utilizados en sistemas balanceados son el XLR y el conector TRS ¼ (plug estéreo).

	Entrada balanceada activa	Entrada balanceada con transformador	Entrada desbalanceada
Salida balanceada activa	• No proporciona aislación real a tierra por lo tanto es más susceptible a los ruidos de tierra • Más fácil de dañar por ser más sensible a maltratos • Una salida electrónica poco estable puede afectar el CMRR de la entrada	• Si uno de los conductores accidentalmente se desconecta se pierden 6dB en el caso de salida activa referenciada a tierra • El transformador debe ser de alta calidad (costo) para una calidad sonora aceptable	• Se pierden 6 dB de señal si la configuración activa es referenciada a tierra • Propenso al ruido inducido por IEM • Propenso a la creación de loops de tierra
Salida balanceada con transformador	• Para obtener una salida de baja impedancia y responder a bajas frecuencias los transformadores deben ser relativamente pesados y grandes • Se requieren transformadores de alta calidad	• Sólo los mejores transformadores se pueden acercar a la calidad sonora de un sistema activo, es decir los más costosos • Deficiencia que posee una salida con transformador, respecto a impedancia y	• Propenso al ruido inducido por IEM • Problemas con la impedancia de salida del transformador

	para que se acerque a la categoría de los circuitos activos	respuesta de frecuencia	
Salida desbalanceada	• Sistemas desbalanceados hacen que el sistema sea más sensible a las inducciones de ruido	• La salida desbalanceada posee una mayor impedancia lo que hace que la interconexión sea más propensa a la inducción de ruido	• Para sistemas pequeños con ambientes controlados y con pocas interconexiones y a cortas distancias • Es común que se creen loops de tierra

Tabla 3.2 : Desventajas en las interconexiones.

El XLR (figura 3.23) puede estar compuesto de tres a siete pines o patas, entre equipos de audio balanceados la función de cada uno de los pines depende de la norma que posean los equipos a conectar (cabe recordar que la norma en América, EIA RS 297-A, el pin 2 es el +vivo y el pin 3 el -vivo y la norma europea invierte esta disposición), siendo siempre el pin 1 el blindaje, este pin además es el primero en hacer contacto al momento de realizar la conexión evitando en ésta un corto circuito. Por otra parte estos conectores disponen de un seguro (lock) que al ser conectado entrega una mayor seguridad frente a posibles desconexiones accidentales. Existen tanto conectores macho como hembra que por lo general el macho se ocupa como salida y la hembra como entrada. En general los XLR de tres pines son ocupados para señales de nivel de micrófono y línea.



Figura 3.23. Conector XLR.

El conector TRS ¼ (figura 3.24) está compuesto de tres contactos, punta (tip), anillo (ring), manga (sleeve). En este caso la distribución de las señales no está estandarizada en las conexiones balanceadas, sin embargo lo más común es que la punta conecte al +vivo, el anillo al -vivo y la manga es la referencia y blindaje. Estos conectores no disponen de algún seguro de conexión (aunque hay fabricantes que incorporan un seguro en el conector hembra), están expuestos a corto circuito al momento de conectarse y tanto entradas como salidas pueden ser macho o hembra. Este tipo de conector, además de ser usado para niveles de micrófono y línea, también es comúnmente implementado en la conexión de altavoces en pequeños sistemas de refuerzo sonoro (señales de rango mayor) como también en audífonos estereofónicos (señales más pequeñas).

En muchas instalaciones, sobre todo en estudios de grabación, es común encontrar otro tipo de conector. Este es el TRS de 0.175" conocido como bantam (figura 3.25), el cual es un conector exclusivamente para

conexiones balanceadas, principalmente en patch bay. La disposición de los terminales es la misma que para el TRS $\frac{1}{4}$, la diferencia radica en su menor tamaño lo que hace ocupar un menor espacio [6].



Figura 3.24. Conector TRS $\frac{1}{4}$.



Figura 3.25. Conector bantam.

3.3 Desarrollo experimental.

3.3.1 Descripción del método.

En primer lugar se procedió a una recopilación de configuraciones de circuitos de entradas y salidas balanceadas activas investigando principalmente en textos de audio y electrónica y en manuales técnicos de consolas, grabadoras, procesadores. En esta revisión se pudo constatar que la mayoría de los modelos de entrada y salida difieren principalmente en un sólo aspecto, que es en la forma en como se referencia a tierra el circuito. La elección de los componentes se adquirieron según las sugerencias de los autores y diseñadores consultados, además de la disponibilidad de estos en el mercado. Cabe mencionar que existen diversos modelos para una mismo circuito integrado, estos modelos se diferencian entre ellos por su resistencia frente a condiciones ambientales a que estén siendo sometidos. Para esta tesis se utilizaron los modelos más económicos.

Para la implementación de una salida balanceada con transformador se utilizó una caja directa DOD 265, que emplea el transformador DOD 3739. Debido al elevado costo de un transformador de calidad confiable se escogió esta opción.

La etapa de evaluación de las configuraciones consistió en implementar un circuito de salida al que se le realizaron las mediciones de respuesta de frecuencia, de rango dinámico y de respuesta de fase. Además se evaluó su desempeño al ser desbalanceado, conectando el menos vivo a tierra. El siguiente paso fue implementar uno a uno los circuitos de entrada midiendo los mismos parámetros antes mencionados más su razón de rechazo en modo común (CMRR), manteniendo la configuración de salida para posteriormente evaluar el sistema en conjunto. Todos los circuitos fueron implementados en protoboard, con excepción de la salida con transformador, lo que significa que ciertas condiciones de trabajo desfavorables están presentes en las mediciones, principalmente ausencia de blindaje, poca confiabilidad en la conducción. Por otra parte se conectaron todos los equipos a un mismo punto de alimentación para evitar los problemas de tierra.

El procedimiento para realizar las mediciones de los parámetros mencionados anteriormente, se describe a continuación, en forma específica para cada uno. Los instrumentos que se utilizaron fueron un osciloscopio digital (Yokogawa DL 1520), usado para realizar las mediciones y un generador de audio (Yokogawa FG 110) para aplicar señal al circuito. Para el caso particular del rango dinámico, se utilizó un equipo para prueba

de audio marca NEUTRIK A-1 con entradas y salidas balanceadas con una relación señal/ruido de 107 dB y un Headroom de 22 dB con THD de 0.035% (medidos).

Respuesta de Frecuencia. A cada implementación se le aplicó un voltaje de entrada a distintas frecuencias, por orden de octavas, entre 30 Hz y 16kHz mediante el generador de audio, verificando dicho voltaje con un canal del osciloscopio en la entrada del circuito. El voltaje de salida fue visualizado mediante el otro canal del osciloscopio registrándose los valores "peak to peak" de entrada y salida en una tabla. En la figura 3.26 se esquematiza la manera en que se realizaron dichas mediciones.

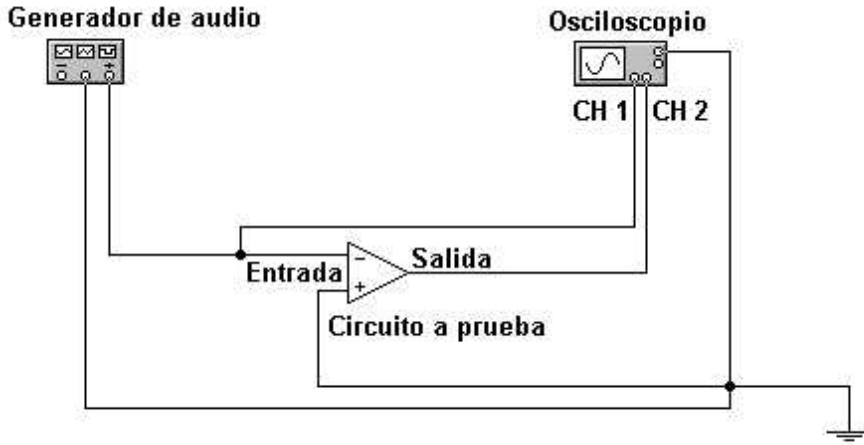


Figura 3.26. Esquema de implementación para la medición de la respuesta de frecuencia y fase.

Con los resultados se calcularon las ganancias para cada frecuencia aplicada con la ecuación (3.9).

Ec.(3.9)

Donde V_o corresponde al voltaje de salida, V_i al voltaje de entrada y A a la ganancia de circuito.

Respuesta de fase. Se midió utilizando el mismo procedimiento para la respuesta de frecuencia, la señal de entrada es comparada con la de salida y mediante la función x-y (time división) visualizando las figuras de Lissajous (figura 3.27), se calcula el desfase con la ecuación (3.10).

Ec.(3.10)

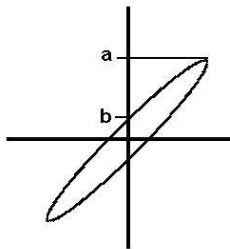


Figura 3.27. Figura de Lissajous.

Ambos valores a y b se toman del eje de las ordenadas como lo indica la figura 3.27, siendo el desfase en grados.

Rango Dinámico. La medición del rango dinámico se desarrolló bajo el criterio de un valor de distorsión armónica dado, de alrededor de un 0.1% (THD + Ruido). Aplicando un voltaje de entrada de una frecuencia de 1kHz, generado por el mismo instrumento, que alcanzase dicho valor de distorsión para luego registrarse el nivel de voltaje de salida en dBu. Luego se procedió a la medición del nivel de ruido del equipo a prueba en dBu, cortocircuitando las entradas. La diferencia entre nivel de salida y nivel de ruido entrega finalmente el rango dinámico. Sin embargo con estos datos no es posible calcular la relación señal/ruido ni el headroom de cada dispositivo debido a que en ninguna de las configuraciones implementadas se especificaba su nivel nominal. La figura 3.28 esquematiza la implementación realizada para las mediciones de este parámetro.

Razón de rechazo en modo común (CMRR). El circuito de salida es conectado al de entrada, de esta forma se le está aplicando una señal completamente balanceada (voltaje de entrada), esta será desbalanceada obteniéndose un voltaje a la salida del circuito, con este valor y el voltaje de entrada se calcula la ganancia en modo diferencial (A_d) mediante la ecuación (3.9). Posteriormente se aplica a cada terminal del circuito de entrada un mismo voltaje con fases idénticas para calcular la ganancia en modo común (A_c), empleando nuevamente la ecuación (3.9).

Una vez determinados los valores de las ganancias en ambos modos se obtiene el valor del CMRR con la ecuación (3.5).

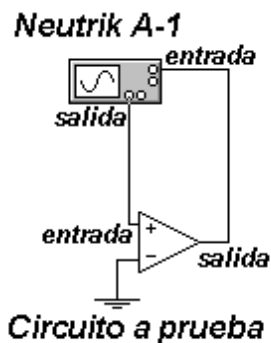


Figura 3.28. Esquema de implementación para la medición del rango dinámico.

Es necesario mencionar que todas las mediciones fueron hechas a circuito abierto, siendo la carga del circuito el instrumento de medición.

3.3.2 Configuraciones implementadas.

El criterio anteriormente mencionado en este capítulo nos llevó a seleccionar las siguientes configuraciones, donde la mayor parte de estas fueron extraídas de modelos tipo de equipos de audio con excepción de la entrada balanceada SSM2017 (figura 3.34) que corresponde a una entrada balanceada de micrófono de la consola Amek Big, y la salida balanceada con transformador, correspondiente a una caja directa DOD.

Salidas balanceadas activas.

Salida diferencial referenciada a tierra (Figura 3.29)

Componentes:

Circuitos integrados: NE 5532P

Resistencias: 6,8 k (4); 330 (2)

Condensadores: 100 pF (2)

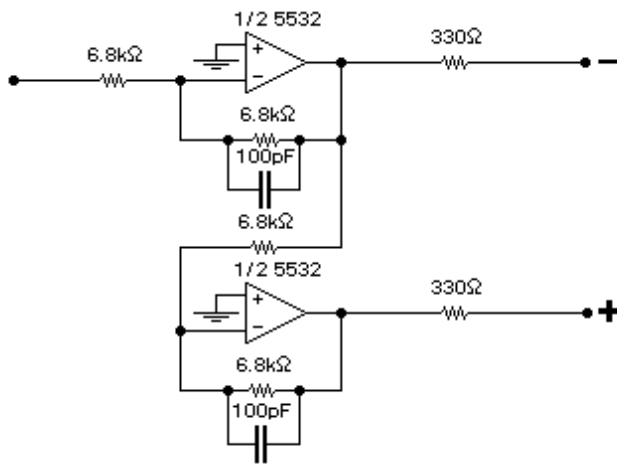


Figura 3.29. Salida diferencial referenciada a tierra.

Este circuito de salida está compuesto por dos amplificadores operacionales en configuración inversora, donde la ganancia de cada amplificador operacional la entregan sus resistencias de realimentación, usando la ecuación (3.7), que resulta en una ganancia unitaria. La función de los condensadores es formar un filtro pasa bajo con la resistencia de realimentación para el rechazo de frecuencias ultrasónicas. La frecuencia de corte (f_c) de este filtro es de 234 kHz según la ecuación (3.11) donde R es la resistencia de realimentación en Ohms y C es la capacitancia de realimentación en Faradios.

Ec.(3.11)

Salida diferencial flotante (figura 3.30)

Componentes:

Circuitos integrados: NE 5532P (1); TL 071CP (1)

Resistencias: 10 k (2); 6.8 k (6); 4.7 k (1); 47 (2)

Condensadores: 220 pF (2); 33 pF (1); 100 uF (2)

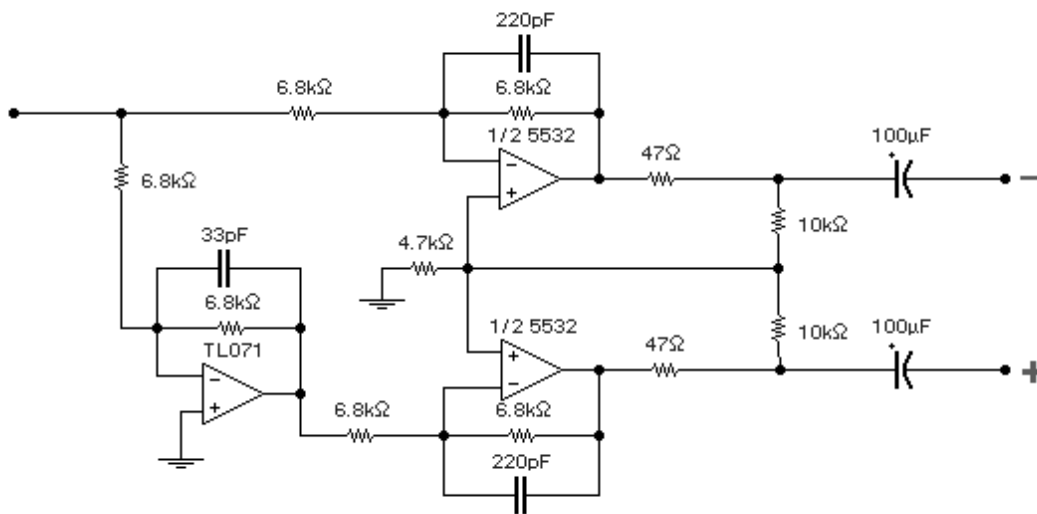


Figura 3.30. Salida diferencial flotante.

Este circuito está compuesto por tres amplificadores operacionales todos en configuración inversora y con ganancia unitaria. A diferencia del circuito anterior, esta configuración posee una etapa para cada ciclo. Los condensadores de 100 F tienen la función de eliminar voltajes continuos, los condensadores de 220pF dan una frecuencia de corte aproximada a 106kHz y el de 33pF de 700kHz.

Salida balanceada con transformador.

Caja directa DOD 265 con transformador modelo DOD 3739.

Una caja directa es un dispositivo, pasivo o activo, cuya función es la de adaptar impedancias (típicamente a los 600 Ω) además de reducir el nivel de línea a un nivel de micrófono y balancear la señal. En el caso de una caja directa pasiva, el ejecutor de todas estas funciones es un transformador, por lo tanto difiere de las salidas activas anteriores tanto en el nivel de operación como en la forma de balancear la señal.

Entradas balanceadas activas.

Entrada diferencial (figura 3.31)

Componentes:

Circuitos integrados: NE 5532P

Resistencias: 6.8 k (5); 150 (1)

Condensadores: 220 pF (1); 100 pF (1)

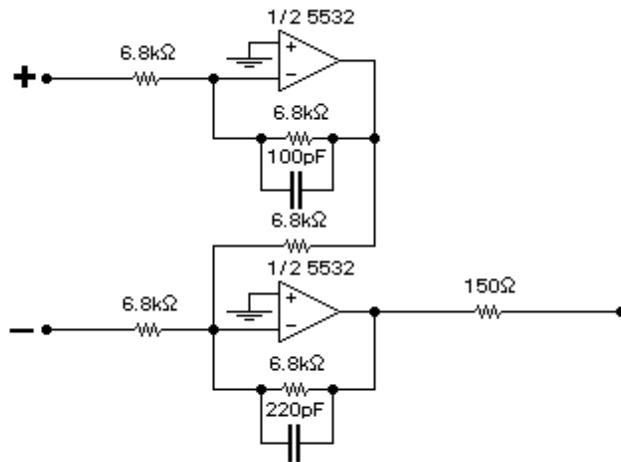


Figura 3.31. Entrada diferencial.

Esta configuración la componen dos amplificadores operacionales de ganancia unitaria. La señal en fase es invertida por el primero y sumada de esta manera con la señal fuera de fase, donde la señal total ingresa al segundo amplificador invirtiéndose nuevamente. Cada amplificador posee un filtro con $f_c=234$ kHz y $f_c=106$ kHz respectivamente.

Entrada diferencial "superbal" (figura 3.32)

Componentes:

Circuitos integrados: NE 5532P

Resistencias: 6.8 k (6); 150 (1)

Condensadores: 100 pF (2); 33 pF (1)

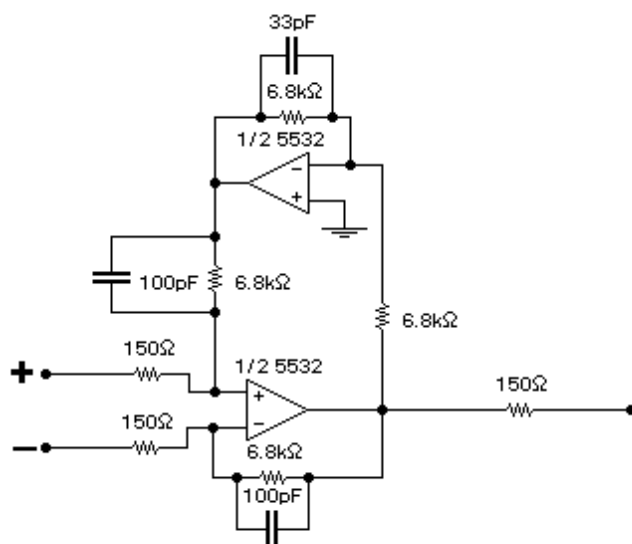


Figura 3.32. Entrada diferencial superbal.

Este circuito también está compuesto por dos amplificadores operacionales de los cuales sólo uno de ellos está referenciado a tierra. Las señales son sumadas por uno de ellos, mientras que el otro forma parte de la realimentación de dicho amplificador.

Entrada activa flotante (figura 3.33)

Componentes:

Circuitos integrados: TL 074CN

Resistencias: 6.8 k (7); 3.3 k (3); 150 Ω (1)

Condensadores: 220 pF (4)

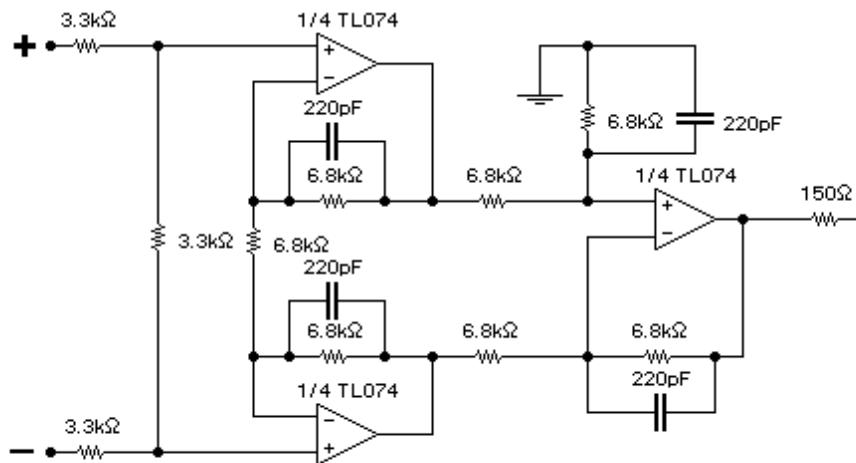


Figura 3.33. Entrada activa flotante.

La figura 3.33 muestra una configuración bastante más elaborada, constituida por tres amplificadores operacionales. La gran ventaja de este circuito está en que al aumentar la ganancia en ambas entradas no hay un desgaste en el rechazo al modo común.

Entrada balanceada SSM2017 (figura 3.34)

Componentes:

Circuitos integrados: SSM 2017

Resistencias: 10 k (3); 2.2 k (2); 47 Ω (1)

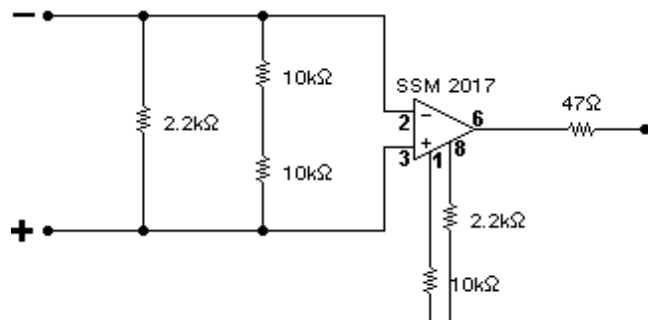


Figura 3.34. Entrada balanceada SSM2017.

En el caso del circuito de la figura 3.34 se tiene una configuración desbalanceadora interna. Las resistencias conectadas entre los pines 1 y 8 establecen la ganancia del circuito que bordea los 11 dB, mientras que las resistencias conectadas a los pines 2 y 3 entregan la impedancia de entrada de aproximadamente 2 k Ω .

CAPÍTULO 4. Resultados, Conclusiones y discusión.

4.1 Presentación de los resultados.

4.1.1 Respuesta de frecuencia.

Tabla 4.1 Respuesta de frecuencia Salida activa balanceada referenciada a tierra.

Figura 4.1 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa referenciada a tierra.

Tabla 4.2 Respuesta de frecuencia Salida activa balanceada flotante.

Figura 4.2 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa flotante.

Tabla 4.3 Respuesta de frecuencia Salida balanceada con transformador.

Figura 4.3 Respuesta de frecuencia Salida balanceada con transformador.

La figura 4.1 muestra una respuesta de frecuencia plana, con una ganancia mínima, prácticamente unitaria. Al desbalancear la señal (señal fuera de fase a tierra), se pierde el ciclo negativo. En la figura 4.2 se puede apreciar que la señal balanceada posee una respuesta plana. Sin embargo en este caso al desbalancear el circuito, la señal no pierde nivel. En la respuesta de frecuencia de salida con transformador, figura 4.3, se aprecia una respuesta plana para la señal balanceada, no así al desbalancearla, en donde se produce una caída de 1 dB por octava a partir de los 4 kHz.

Tabla 4.4 Respuesta de frecuencia Entrada diferencial activa.

Figura 4.4 Respuesta de frecuencia Entrada diferencial activa.

Tabla 4.5 Respuesta de frecuencia Entrada diferencial activa SUPERBAL.

Figura 4.5 Respuesta de frecuencia Entrada diferencial activa SUPERBAL.

Tabla 4.6 Respuesta de frecuencia Entrada diferencial activa flotante.

Figura 4.6 Respuesta de frecuencia Entrada diferencial activa flotante.

Tabla 4.7 Respuesta de frecuencia Entrada balanceada SSM2017.

Figura 4.7 Respuesta de frecuencia Entrada balanceada SSM2017.

Desde la figura 4.4. hasta la figura 4.7, se encuentran las respuestas de frecuencia de las 4 salidas implementadas, en donde la ganancia de dichas respuestas se debe visualizar en el eje de las ordenadas correspondiente al lado izquierdo, mientras que el eje derecho corresponde a los valores de CMRR de la entrada. Se debe notar además las diferencias en magnitud de cada uno de estos ejes.

En la figura 4.4 la respuesta de frecuencia presenta un realce mínimo en los extremos, bajo 100 Hz y aproximadamente sobre los 2.3 kHz. Con respecto al CMRR, a partir de los 80 Hz se produce un degradamiento de 5 dB por octava. La respuesta de la figura 4.5 se presenta prácticamente plana. El CMRR sufre una caída a partir de 1 kHz, cuya pendiente es de aproximadamente 3 dB por octava. La entrada diferencial activa flotante, figura 4.6, presenta una respuesta de frecuencia plana. El CMRR presenta una doble pendiente, que a partir de los 100 Hz y hasta los 500 Hz va de 2 dB por octava, mientras que sobre 500 Hz la degradación se acentúa a 5 dB por octava. La figura 4.7 muestra un realce pequeño en la respuesta en frecuencias altas que comienza en los 700 Hz. El CMRR presenta picos en 1 kHz de 1.5 dB y 5 kHz de 2.5 dB.

Tabla 4.8 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa referenciada a tierra – Entrada diferencial activa.

Figura 4.8 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa referenciada a tierra – Entrada diferencial activa.

Tabla 4.9 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa referenciada a tierra – Entrada SUPERBAL.

Figura 4.9 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa referenciada a tierra – Entrada SUPERBAL.

Tabla 4.10 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa referenciada a tierra – Entrada diferencial activa flotante.

Figura 4.10 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa referenciada a tierra – Entrada diferencial activa flotante.

Tabla 4.11 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa referenciada a tierra – Entrada balanceada SSM2017.

Figura 4.11 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa referenciada a tierra – Entrada balanceada SSM2017.

Tabla 4.12 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa flotante – Entrada diferencial activa.

Figura 4.12 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa flotante – Entrada diferencial activa.

Tabla 4.13 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa flotante – Entrada diferencial SUPERBAL.

Figura 4.13 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa flotante – Entrada diferencial SUPERBAL.

Tabla 4.14 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa flotante – Entrada diferencial activa flotante.

Figura 4.14 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa flotante – Entrada diferencial activa flotante.

Tabla 4.15 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa flotante – Entrada balanceada SSM2017.

Figura 4.15 Respuesta de frecuencia Salida balanceada activa flotante – Entrada balanceada SSM2017.

Tabla 4.16 Respuesta de frecuencia Salida balanceada con transformador – Entrada diferencial activa.

Figura 4.16 Respuesta de frecuencia Salida balanceada con transformador – Entrada diferencial activa.

Tabla 4.17 Respuesta de frecuencia Salida balanceada con transformador – Entrada diferencial SUPERBAL.

Figura 4.17 Respuesta de frecuencia Salida balanceada con transformador – Entrada diferencial SUPERBAL.

Tabla 4.18 Respuesta de frecuencia Salida balanceada con transformador – Entrada diferencial activa flotante.

Figura 4.18 Respuesta de frecuencia Salida balanceada con transformador – Entrada diferencial activa flotante.

Tabla 4.19 Respuesta de frecuencia Salida balanceada con transformador – Entrada balanceada SSM2017.

Figura 4.19 Respuesta de frecuencia Salida balanceada con transformador – Entrada balanceada SSM2017.

Con excepción de las figuras 4.12 que comienza a decaer aproximadamente en los 8 kHz y la figura 4.15 que posee una pequeña caída a los 8 kHz, la mayoría de las combinaciones presentó respuestas de frecuencia planas, lo que significa que poseen una respuesta más amplia. También se debe notar la ganancia obtenida en las combinaciones con transformador debido a que este lleva el nivel de su entrada a un nivel de micrófono.

4.1.2 Respuesta de fase.

Tabla 4.20 Respuesta de fase Salida balanceada activa referenciada a tierra.

Figura 4.20 Respuesta de fase Salida balanceada activa referenciada a tierra.

Tabla 4.21 Respuesta de fase Salida balanceada activa flotante.

Figura 4.21 Respuesta de fase Salida balanceada activa flotante.

Tabla 4.22 Respuesta de fase Salida balanceada con transformador.

Figura 4.22 Respuesta de fase Salida balanceada con transformador.

Como se puede apreciar, la figura 4.20 no presenta problemas de desfases. En cambio podemos ver que, por un lado en la figura 4.21 se observan problemas a partir de los 2 kHz, con una triple pendiente, desde los 2 kHz a los 4 kHz se tienen 4° por octava, de los 4kHz a los 8 kHz se tiene 1.5° por octava y sobre 8kHz se producen desfases de 5.5° por octava. Por otra parte vemos que en el caso de la salida con transformador, figura 4.22, los problemas se presentan en el lado opuesto, es decir a frecuencias bajas, bajo los 250 Hz con una pendiente de 3° por octava.

Tabla 4.23 Respuesta de fase Entrada diferencial activa.

Figura 4.23 Respuesta de fase Entrada diferencial activa.

Tabla 4.24 Respuesta de fase Entrada diferencial SUPERBAL.

Figura 4.24 Respuesta de fase Entrada diferencial SUPERBAL.

Tabla 4.25 Respuesta de fase Entrada diferencial activa flotante.

Figura 4.25 Respuesta de fase Entrada diferencial activa flotante.

Tabla 4.26 Respuesta de fase Entrada balanceada SSM2017.

Figura 4.26 Respuesta de fase Entrada balanceada SSM2017.

En las respuestas de fase de las entradas balanceadas se encuentran dos circuitos que no presentan problemas, entrada diferencial superbal, figura 4.24 y entrada balanceada SSM2017, figura 4.26. La entrada diferencial activa representada por la figura 4.23, presenta problemas sobre los 4 kHz con una pendiente de 4° por octava. La entrada diferencial activa flotante, figura 4.25, presenta desfase de 12° por octava desde 2 kHz a 4 kHz, entre 4 kHz y 8 kHz no presenta pendiente manteniéndose en 12° , y sobre los 8kHz una pendiente de 2° por octava.

Tabla 4.27 Respuesta de fase Salida balanceada activa referenciada a tierra – Entrada diferencial activa.

Figura 4.27 Respuesta de fase Salida balanceada activa referenciada a tierra – Entrada diferencial activa.

Tabla 4.28 Respuesta de fase Salida balanceada activa referenciada a tierra – Entrada diferencial SUPERBAL.

Figura 4.28 Respuesta de fase Salida balanceada activa referenciada a tierra – Entrada diferencial SUPERBAL.

Tabla 4.29 Respuesta de fase Salida balanceada activa referenciada a tierra – Entrada diferencial activa flotante.

Figura 4.29 Respuesta de fase Salida balanceada activa referenciada a tierra – Entrada diferencial activa flotante.

Tabla 4.30 Respuesta de fase Salida balanceada activa referenciada a tierra – Entrada balanceada SSM2017.

Figura 4.30 Respuesta de fase Salida balanceada activa referenciada a tierra – Entrada balanceada SSM2017.

Tabla 4.31 Respuesta de fase Salida balanceada activa flotante – Entrada diferencial activa.

Figura 4.31 Respuesta de fase Salida balanceada activa flotante – Entrada diferencial activa.

Tabla 4.32 Respuesta de fase Salida balanceada activa flotante – Entrada diferencial SUPERBAL.

Figura 4.32 Respuesta de fase Salida balanceada activa flotante – Entrada diferencial SUPERBAL.

Tabla 4.33 Respuesta de fase Salida balanceada activa flotante – Entrada diferencial activa flotante.

Figura 4.33 Respuesta de fase Salida balanceada activa flotante – Entrada diferencial activa flotante.

Tabla 4.34 Respuesta de fase Salida balanceada activa flotante – Entrada balanceada SSM2017.

Figura 4.34 Respuesta de fase Salida balanceada activa flotante – Entrada balanceada SSM2017.

Tabla 4.35 Respuesta de fase Salida balanceada con transformador – Entrada diferencial activa.

Figura 4.35 Respuesta de fase Salida balanceada con transformador – Entrada diferencial activa.

Tabla 4.36 Respuesta de fase Salida balanceada con transformador – Entrada diferencial SUPERBAL.

Figura 4.36 Respuesta de fase Salida balanceada con transformador – Entrada diferencial SUPERBAL.

Tabla 4.37 Respuesta de fase Salida balanceada con transformador – Entrada diferencial activa flotante.

Figura 4.37 Respuesta de fase Salida balanceada con transformador – Entrada diferencial activa flotante.

Tabla 4.38 Respuesta de fase Salida balanceada con transformador – Entrada balanceada SSM2017.

Figura 4.38 Respuesta de fase Salida balanceada con transformador – Entrada balanceada SSM2017.

Los desfases resultados de las combinaciones se presentan como la suma o superposición de los gráficos de cada una de las implementaciones. Así, respuestas de fase como la salida balanceada activa referenciada a tierra en conjunto con la entrada diferencial superbal o con la entrada balanceada SSM2017, figura 4.28 y 4.30 respectivamente, en ningún caso presentan desfases y esto debido lógicamente a que individualmente no tiene este tipo de problemas. Siguiendo con este concepto, las primeras cuatro combinaciones, figuras 4.27, 4.28, 4.29 y 4.30 se mantiene el desfase de la entrada, debido a que la salida balanceada activa referenciada a tierra no presenta problemas de desfase (figura 4.20). De la misma manera las combinaciones con la salida balanceada con transformador, figuras 4.35, 4.36, 4.37 y 4.38, se mantiene el desfase de las entradas agregándose el desfase del transformador. En las combinaciones de las entradas con la salida activa flotante se tienen dos entradas sin desfase, por lo tanto en estas se mantiene el desfase de la salida activa flotante, figura 4.32 y 4.34. La figura 4.31 muestra un desfase sobre los 2 kHz con una pendiente de 4° por octava hasta los 8 kHz y sobre estos una pendiente de 11° por octava. Por último la figura 4.33 presenta dos pendientes, entre los 2 kHz y los 8 kHz se tienen 5° por octava y una pendiente de 11° por octava sobre los 8 kHz.

4.1.3 Rango Dinámico.

Salidas Balanceadas.

Salida diferencial activa referenciada a tierra.

Nivel de entrada: 19.1 dBu

Nivel de salida: 15.2 dBu

Nivel de Ruido: -78 dBu

THD + Ruido: 0.1%

Rango dinámico: 93.2 dB

Salida diferencial activa flotante.

Nivel de entrada: 14.2 dBu

Nivel de salida: 19 dBu

Nivel de Ruido: -92.5 dBu

THD + Ruido: 0.095%

Rango dinámico: 111.5 dB

Salida balanceada con transformador.

Caja directa DOD 265 con transformador modelo DOD 3739.

Nivel de entrada: 22.2 dBu

Nivel de salida: 2 dBu

Nivel de Ruido: -94 dBu

THD + Ruido: 0.005%

Rango dinámico: 96 dB

Entradas balanceadas.

Entrada diferencial.

Nivel de entrada: 4.2 dBu

Nivel de salida: 2.15 dBu

Nivel de Ruido: -80 dBu

THD + Ruido: 0.18%

Rango dinámico: 82.15 dB

Entrada diferencial "superbal".

Nivel de entrada: 22.2 dBu

Nivel de salida: 14.5 dBu

Nivel de Ruido: -72 dBu

THD + Ruido: 0.054%

Rango dinámico: 86.5 dB

Entrada activa flotante.

Nivel de entrada: 17.1 dBu

Nivel de salida: 14.5 dBu

Nivel de Ruido: -70 dBu

THD + Ruido: 0.1%

Rango dinámico: 84.5 dB

Entrada balanceada SSM2017.

Nivel de entrada: 12.4 dBu

Nivel de salida: 16.3 dBu

Nivel de Ruido: -90 dBu

THD + Ruido: 0.025%

Rango dinámico: 106.3 dB

4.2 Cuadro comparativo.

Salidas balanceadas	Respuesta de frecuencia	Respuesta de frecuencia al desbalancearla	Respuesta de fase	Rango dinámico
Salida diferencial activa referenciada a tierra	30Hz-16kHz; +/- 0dB	30Hz-16kHz; +/- 0dB	30Hz-16kHz; +/- 0°	93.2 dB (0,1% THD @ 1kHz)
Salida diferencial activa flotante	30Hz-16kHz; +/- 0dB	30Hz-16kHz; -0.35dB	30Hz-16kHz; + 11°	111.5 dB (0.095% THD @ 1kHz)
	30Hz-16kHz;	30Hz-16kHz;	30Hz-16kHz;	96 dB

Caja directa DOD 265	+/- 0dB	-3.5dB	+ 8.4°	(0.005% THD @ 1 kHz)
----------------------	---------	--------	--------	----------------------

Tabla 4.39: Cuadro comparativo de salidas balanceadas.

Entradas balanceadas	Respuesta de frecuencia	Respuesta de fase	CMRR	Rango dinámico
Entrada diferencial	30Hz-16kHz; + 0.5dB	30Hz-16kHz; +7.8°	65 dB @ 30 Hz 23 dB @ 16 kHz	82.15 dB (0,18% THD @ 1kHz)
Entrada diferencial "superbal"	30Hz-16kHz; + 0.2 dB	30Hz-16kHz; +/-0°	49 dB @ 30 Hz 36 dB @ 16 kHz	86.5 dB (0.054% THD @ 1kHz)
Entrada activa flotante	30Hz-16kHz; +/- 0dB	30Hz-16kHz; + 14°	58 dB @ 30 Hz 28 dB @ 16 kHz	84.5 dB (0.1% THD @ 1 kHz)
Entrada balanceada SSM2017	30Hz-16kHz; + 0.6dB	30Hz-16kHz; +/-0°	68 dB @ 30 Hz 70 dB @ 4 kHz 67 dB @ 16 kHz	106.3 dB (0.025% THD @ 1 kHz)

Tabla 4.40: Cuadro comparativo de entradas balanceadas.

4.3 Conclusiones.

Acorde a los resultados obtenidos, se pudo deducir que los circuitos no tienen grandes falencias al responder a las distintas señales dentro del rango de frecuencias audible para el oído humano.

Respecto a la respuesta de fase se han obtenido resultados aceptables, sin embargo en la interconexión de etapas los desfases se van sumando, lo que en un sistema de audio con múltiples etapas esta respuesta adquiere una gran importancia, perjudicando la señal, o bien dándole una característica sonora especial.

La medición de la razón de rechazo en modo común no fue la que se esperaba, obteniéndose valores poco confiables, sin embargo se confirmó la degradación del CMRR a medida que aumenta la frecuencia.

El valor de rango dinámico en la entrada SUPERBAL no fue muy satisfactorio, debido a que presentó una mayor susceptibilidad a la inducción electromagnética que las demás configuraciones, lo que se acentuó aún más por las condiciones en que fueron medidos.

En un primer análisis de los resultados, la combinación que presenta un mayor rendimiento es la salida balanceada activa flotante con la entrada balanceada SSM2017.

4.4 Discusión.

Teóricamente, una de las diferencias entre las salidas balanceadas referenciadas a tierra y las flotantes, es una pérdida de nivel en las salidas referenciadas a tierra, al desbalancearlas, es decir, conectar uno de los

conductores a tierra. La salida flotante no pierde nivel debido a que al conectar uno de los amplificadores operacionales a tierra, la realimentación del otro amplificador se modifica, aumentando su ganancia original a 6 dB, pero al dejar de usar uno de los amplificadores el headroom disminuye en 6 dB, para los dos casos. Y efectivamente este fenómeno se encuentra en los resultados.

La respuesta de frecuencia de un amplificador operacional no se modifica mayormente en las distintas configuraciones, manteniéndose la linealidad característica de estos dispositivos electrónicos más allá de nuestros resultados dentro del rango audible, pero es posible que su comportamiento cambie para señales de frecuencias infrasónicas y ultrasónicas donde también es posible la inducción de origen electromagnético las cuales ocuparían potencia eléctrica útil.

Una diferencia entre los componentes activos y pasivos es la respuesta de frecuencia, donde la salida con transformador decae suavemente a partir de los 4 kHz, al desbalancear la señal, en comparación a la linealidad de los componentes activos. Otra diferencia es la respuesta de fase, la que se manifiesta en frecuencias bajas en la salida con transformador, y en frecuencias altas en algunas salidas activas, la que se acentúa para las configuraciones flotantes. Por otra parte el resultado obtenido del rango dinámico del transformador no es tal, debido a que el instrumento de medición no era capaz de generar una señal de mayor nivel que alcanzara el porcentaje de distorsión en un principio dado para su comparación con las demás implementaciones.

Las mediciones de respuesta de frecuencia y fase son lo suficientemente confiables, debido a que la señal medida estaba considerablemente sobre el ruido, además de ser una señal simple (tono puro), no así la medición de CMRR y rango dinámico, donde las señales que se miden son de bajo nivel y compuestas por armónicos. Para obtener resultados confiables de estos últimos parámetros se requieren ciertas condiciones de trabajo, que radican en una buena aislación frente a las inducciones electromagnéticas, implementar un sistema de tierra tipo estrella y una buena conducción entre los componentes involucrados, para acercarse a estas condiciones es necesario utilizar blindajes, implementar los circuitos en placas y enchufar todo el sistema de medición en un solo punto. El sistema de medición cumplía sólo una de estas condiciones (la de enchufar el sistema en un solo punto), al no cumplir las otras dos condiciones, los resultados de CMRR y rango dinámico solamente se acercan a los reales. Por otra parte no se contó con componentes de bajas tolerancias lo que degrada aún más el CMRR, que según algunos autores [14] al tener un desbalance de 1 en las entradas de una impedancia de 5k , el CMRR puede disminuir hasta en 60 dB, lo que se refleja en los circuitos implementados. Los circuitos fueron implementados con resistencias con tolerancias del orden de 5%, no obstante se buscaron resistencias idénticas midiéndolas con el fin de evitar dicho degradamiento. Por último la temperatura en cada una de las resistencias varía independientemente a medida que pasa el tiempo, por lo que la medida anterior no asegura el buen balance del circuito.

A pesar de no tener en un 100% las condiciones de trabajo antes citadas, debido a la herramienta utilizada en la medición del rango dinámico los resultados fueron lo suficientemente confiables para la comparación de los circuitos.

Según lo discutido en este presente capítulo y de acuerdo a los resultados obtenidos no es preciso concluir cual es la mejor combinación, sino, evaluar el rendimiento de cada uno de los circuitos en forma individual para tener una referencia del comportamiento de la señal.

CAPÍTULO 5. Referencias y bibliografía.

- Alonso, Marcelo; Finn Edward J., Física volumen II: campos y ondas, EEUU Addison–Wesley Iberoamericana 1987.
- Atkinson, Charles; Giddings, Philips, Grounding systems and their implementation, J. audio eng. Soc., vol 43 N°6 NY EEUU, 1995 june.
- Balance line technology, <http://www.dsself.demon.co.uk/balanced.htm#7>, 29 Nov 1998
- Ballou, Glen M., Handbook for sound engineers segunda edición. EEUU, SAMS 1991.

- Big, Amek. Manual técnico. UK
- Giddings, Philips, Audio system design and installation primera edición. EEUU, SAMS 1990.
- Gidding, Philip, The proper use of grounding and shielding, Sound and video contractor, vol 13 N°9 EEUU 1995 september.
- Macatee, Stephen R., Considerations in grounding and shielding audio devices , J. audio eng. Soc., vol 43 N°6 NY EEUU, 1995 june.
- Muncy, Neil A., Noise susceptibility in analog and digital signal processing systems, J. audio eng. Soc., vol 43 N°6 NY EEUU, 1995 june.
- Pennington, Terry; Winter, Larry, Understanding circuits principles, Recording engineer/producer, marzo 1987.
- Pennington, Terry; Winter, Larry, Electrical and interface systems, Recording engineer/producer, mayo 1987.
- Withlock, Bill, Balanced lines in audio systems: fact, fictions and transformers, J.audio eng. Soc., vol 43 N°6 NY EEUU, 1995 june.
- Withlock, Bill, Subtleties count in wide-dynamic-range analog interfaces, <http://www.jeffrowland.com/tectalk6.htm>.
- Whitlock, Bill, Interconnection of balanced and unbalanced equipment, <http://www.jensen-transformer.com/an/an003.pdf>.