

Ficha de sonido Nº 5?

Líneas ¿Balanceadas? (primera parte)

Discurríamos charlando vez pasada con mi amigo el ingeniero Mario Sztaynberg, acerca de algunos temas puntuales que resultan claves en nuestra profesión. Uno de ellos era el de líneas balanceadas y la influencia descuidada de Internet en temas de este tipo. Para dar un ejemplo de ello, tomo la definición de líneas balanceadas de "Wikipedia" que dice lo siguiente: "El término línea balanceada es un anglicismo derivado de Balance, que significa equilibrio, por ello también se le conoce como línea equilibrada. Las líneas son equilibradas mediante transformadores o electrónicamente. En una línea equilibrada se realiza mediante dos conductores, uno de ellos denominado vivo o caliente el cual porta la señal en fase (normalmente de color rojo), el otro denominado retorno o frío porta la señal desfasada 180° llamada contrafase (normalmente de color negro). Este par de conductores va cubierto por una malla conectada a masa. Con esta disposición, se logra mejorar la respuesta ante las interferencias que ofrece la línea no balanceada de audio. La diferencia entre ambas es considerable, pudiendo llegar a los 80 dB (más cuando se trata de líneas microfónicas de alta calidad).

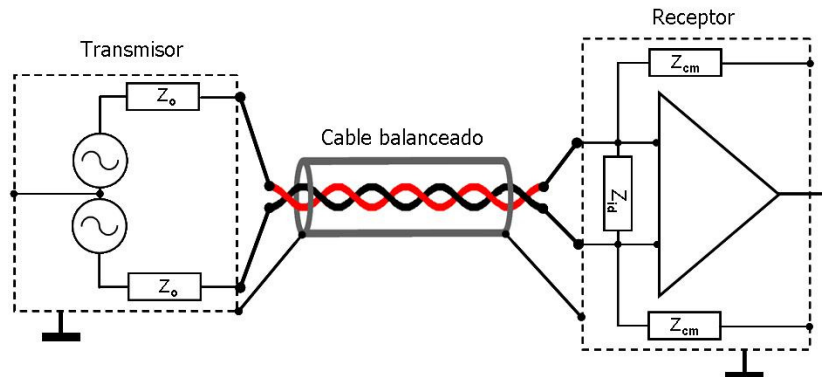
Dicha mejora se fundamenta en que si una interferencia logra atravesar la malla, induce el transitorio en ambos conductores en el mismo sentido. En el receptor, para desbalancear la línea, hay que invertir la señal que porta la contrafase y sumarla a la fase (osea restar ambas señales) logrando así duplicar la amplitud de la señal resultante. Al invertir la contrafase, el transitorio queda invertido también, y al sumarlo con la fase, coincidiendo con el transitorio allí inducido, este se anula. En referencia a la intensidad tendríamos; que el transitorio inducirá una corriente (o ruido) de la misma magnitud en ambos conductores de la línea, pero como esta corriente inducida circula por los dos conductores en el mismo sentido, cuando se encuentran en el extremo receptor, se anulan mutuamente."

Esta definición hecha, me imagino, por algún "hinjeño de sonido" no nos dice nada de lo que es una línea balanceada; y cuenta escuetamente qué pasa con una señal de modo diferencial (señal útil) y otra de modo común (ruido, interferencia, etc.) al ingresar a una entrada diferencial por dicha línea.

Queridos lectores, en una línea balanceada, aún cuando la señal útil viaje de forma asimétrica (todos denominan de forma errónea a esto como desbalanceada¹) existe rechazo del ruido, interferencia, etc. que ingrese al cable. Epa!! Esa no la tenían; vayan y estudien en Wikipedia, no le hagan caso a Mario y van a tener notas "desbalanceadas" en sus carreras.

Bien, hecha ya la catarsis, volvamos al tema. La definición de línea balanceada es más o menos así: "es una línea de dos² o tres conductores donde las impedancias de fuente y carga, son iguales con respecto a masa". Nada más, el resto es todo chamullo o aplicaciones de la misma, pero no línea balanceada.

El esquema de lo antedicho sería el siguiente:

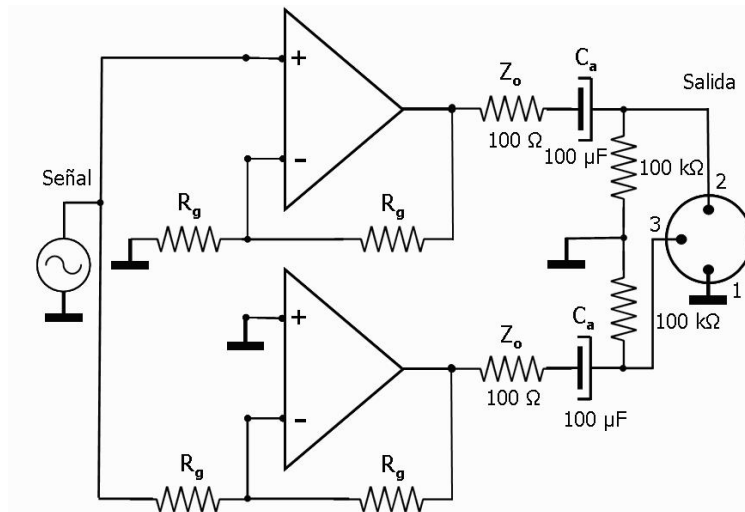


¹ Noten lo paradójico del asunto, la línea es balanceada y eso es ajeno a la señal. Una señal puede ser simétrica, asimétrica, de modo diferencial y de modo común. Una línea puede ser balanceada o desbalanceada.

² La línea balanceada por excelencia de dos conductores se utiliza desde 1876 y nosotros la conocemos como línea telefónica. En esta época todo el balance se obtenía mediante transformadores de salida y entrada, quedando la línea "flotante" con respecto a masa. La de tres conductores la conocen, es la que se usa en cualquier conexión actual.

Por supuesto, en este esquema la señal se genera de modo diferencial o simétrica con respecto a masa, pero, veremos que no necesariamente siempre es así. Las impedancias de salida están indicadas como Z_o . Las impedancias de entrada de modo común Z_{cm} (son las que se ven entre cada terminal de entrada con respecto a masa) y la de modo diferencial Z_{id} (es la que se mide entre los dos terminales de entrada). El triángulo que está dentro del receptor simboliza un amplificador operacional ideal que posee características muy especiales. Algunas de ellas son: impedancia de entrada infinita³ (por lo tanto, yo puedo controlar el valor que toma la entrada de mi equipo colocando la previamente nombrada Z_{id}), impedancia de salida cero⁴ (lo cual me permite ver hacia la entrada siguiente siempre una impedancia mayor, no confundir con Z_o , que es la de salida de mi equipo) y ganancia infinita (que puedo controlar con un simple cálculo de realimentación y tener la ganancia que necesite; eso se realiza por medio de resistencias R_g).

Para conocer un poco más acerca de esto, veamos una de las topologías de salida típicas que hay en uso actualmente en la mayoría de los equipos de audio.



Como ven las impedancias de fuente están “balanceadas” (Z_o), generalmente del orden de los 100 Ω , con respecto a masa y además el generador forma la señal guardando simetría con dicha referencia⁵. Este circuito es muy económico y es el que se usa en la gama media del ámbito profesional, es decir, prácticamente todo lo que tenemos a nuestro alcance. Noten que si yo practico un “desbalance” en esta salida; como por ejemplo si lo conectase a un equipo cuya entrada sea desbalanceada o asimétrica, pierdo 6 dB de señal. Esto es debido a que sólo voy a tener la excursión de tensión en una sola rama y la otra estará a potencial 0 V (masa). En épocas pretéritas los equipos utilizaban, en sus salidas y entradas, transformadores de audio⁶. Ellos tienen ventajas y desventajas. Una ventaja es que si genero un “desbalance” en esta salida, la excursión de tensión se traslada completa al otro extremo y no pierdo los 6 dB

³ En los amplificadores reales y de uso en equipos de audio actualmente se pueden encontrar impedancias de entrada en el orden del teraohm (la serie TL07xx, tiene $10^{12} \Omega$).

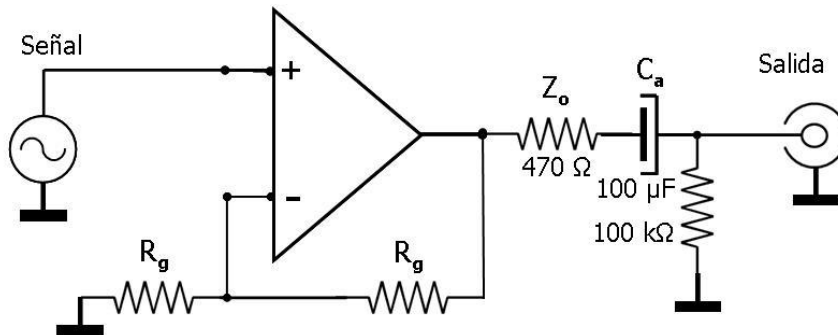
⁴ Idem anterior. (la serie TL07xx, tiene 0,02 Ω).

⁵ Cada amplificador operacional tiene una entrada marcada con un signo “+” y un “-“. Estas entradas son, respectivamente, no inversora e inversora. Esto es, si la señal ingresa por la entrada “+” en la salida sólo se verá afectada por la ganancia del amplificador. Si entra por la “-“ la salida se verá afectada por la ganancia del amplificador y la fase estará girada 180° con respecto a la entrada.

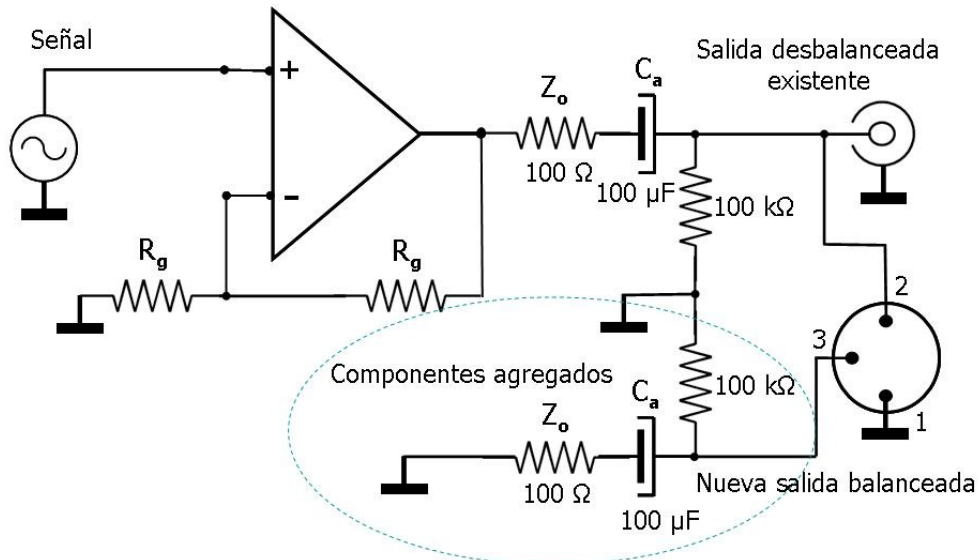
⁶ Hoy en día hay algunos equipos que siguen utilizando transformadores de audio. Generalmente su uso está destinado al segmento de radiodifusión, debido a las grandes ventajas que presentan, en cuanto a inmunidad al ruido, comparado con sus pares activos. En los diseños modernos y sobre todo de alta calidad, el transformador se evita debido a su distorsión en bajas frecuencias irremediable. Salvo, claro está, que necesiten esa característica con propósitos de estética sonora; entonces vamos a encontrar mucho equipamiento “de calidad” con transformadores y obtener ese sonido “gordo” deseado. No confundir calidad con sonar mejor. Uno pertenece al entorno tecnológico y el otro a una apreciación subjetiva o arte.

del caso anterior. Dentro de las desventajas, podríamos decir que tienen distorsión en bajas frecuencias (inevitable), son muy caros, grandes y pesados.

Veamos una topología desbalanceada muy común en el entorno hogareño o el profesional catalogado como "medio pelo".

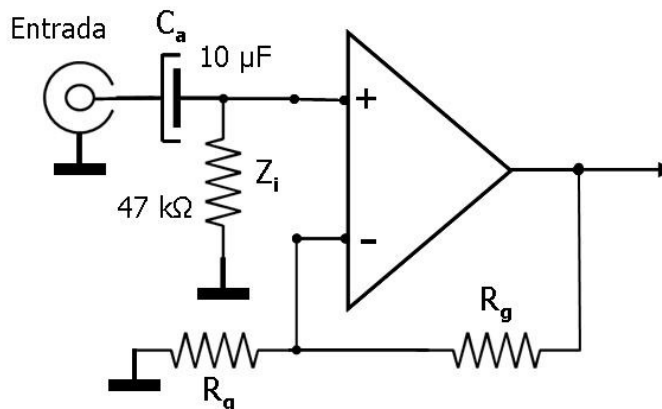


No hay mucho para comentar, señal y masa; nada más. Hay una variante muy interesante de este mismo circuito que he visto en alguna interfaz de sonido multipista para computadora y es la siguiente.



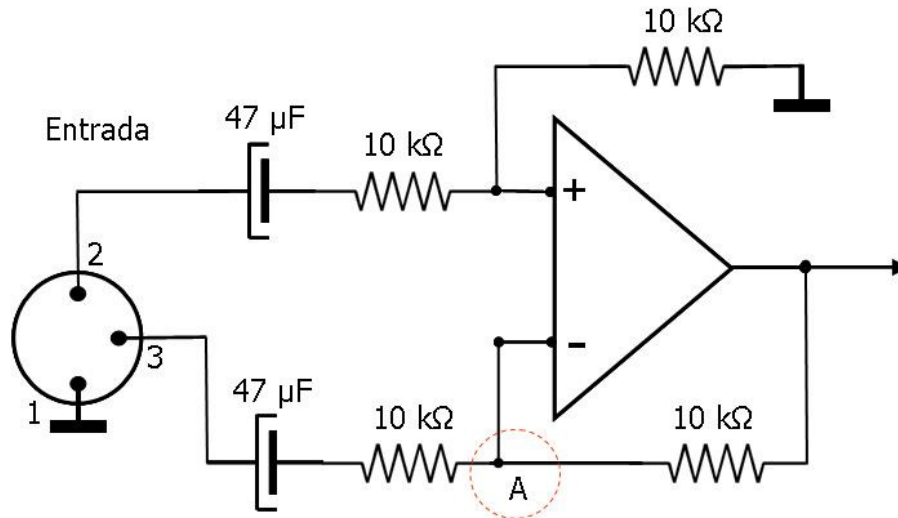
Ahora con un costo ínfimo el fabricante nos ofrece una salida balanceada. Si se fijan bien verán que realmente es balanceada, pero, la señal es asimétrica; todo esto se contradice con lo que me define Wikipedia. Funciona muy bien, pero, desde el comienzo tengo 6 dB menos de señal que la salida simétrica. Es muy barata, cuesta 6 dB menos de dólares que la otra.

Estudieemos ahora las entradas. Veamos el circuito de una entrada desbalanceada que es el caso corriente del hogar o profesionales "light" como mencionamos anteriormente.



Sin comentarios; o en todo caso lo que hay para comentar es que, normalmente por cuestiones de costo, se usan valores de capacitores muy al límite y he visto casos en los que la frecuencia de corte del filtro estaba en los 20 Hz.

Veamos ahora una entrada balanceada típica en la gran mayoría de los equipos de gama media y baja que tenemos a nuestro alcance.

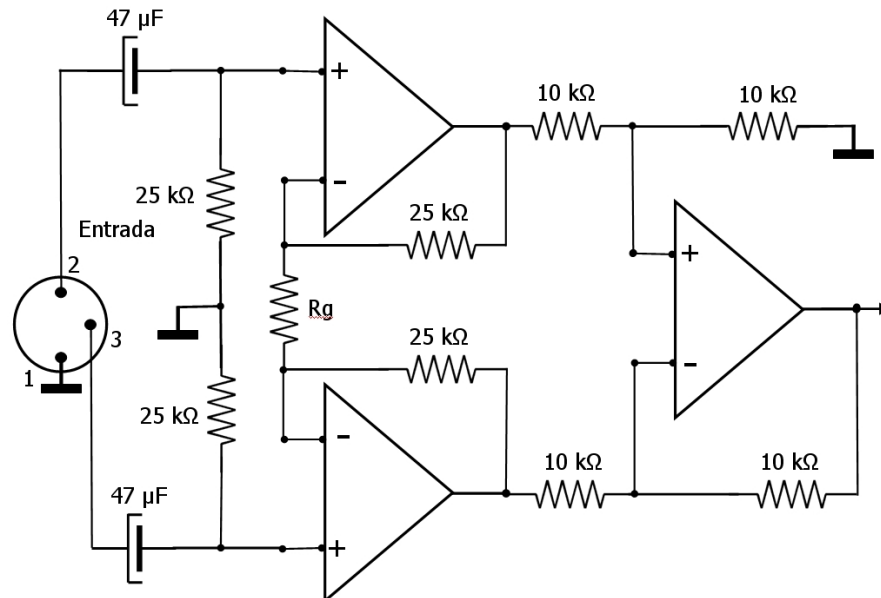


Esta sí que se usa mucho, la van a encontrar en prácticamente todos las entradas “balanceadas” de los equipos que conocen, salvo, claro está, en los serios. Si observan bien notarán que las impedancias de modo común son diferentes (¿!@!?). Por supuesto que la entrada es diferencial y cumple su cometido, pero, no es balanceada, en todo caso es pseudo balanceada⁷. De acuerdo con la teoría de funcionamiento del circuito (eso le pertenece a Mario) el nodo “A” tiene potencial 0 V, es decir que se comporta como una masa para la señal. Si cotejamos el esquema notaremos que desde la entrada del pin 2 vemos, respecto a masa, 20 kΩ y desde la entrada del pin 3 se ven sólo 10 kΩ.

A pesar de que esto es algo muy conocido, muchos fabricantes lo siguen usando; y ojo que hay algunos de alta gama dentro de ellos.

La solución a nuestros inconvenientes de balance surge de un circuito que se llama amplificador de instrumentación. Este circuito además de ser diferencial, es balanceado.

El esquema de lo antedicho sería el siguiente:



⁷ A mi me gusta decir que es una entrada balanceada apócrifa.

Noten que aquí ambas señales ingresan a la entrada no inversora de sus respectivos amplificadores operacionales. De esta manera podemos fijar la impedancia que va a ver la etapa anterior a nuestro antojo; como por ejemplo, en este caso: 25 k Ω (valor arbitrario). La ganancia del circuito se regula mediante la resistencia Rg, que al estar en el lazo de realimentación de ambos amplificadores, genera una masa virtual que es simétrica a las dos ramas. De esta forma, el circuito mantiene total simetría. Las salidas correspondientes se conectan a la misma etapa que observamos en la figura 6 de la ficha anterior, es decir nuestra "entrada balanceada apócrifa". El asunto es que ahora las condiciones son diferentes, veamos, antes teníamos en las etapas de salida una impedancia del orden de los 100 Ω ; ahora tenemos 0,3 Ω (dependiendo del integrado que se use). Es decir, que la relación de impedancias entre las etapas es ahora 3 órdenes de magnitud mayor que antes.

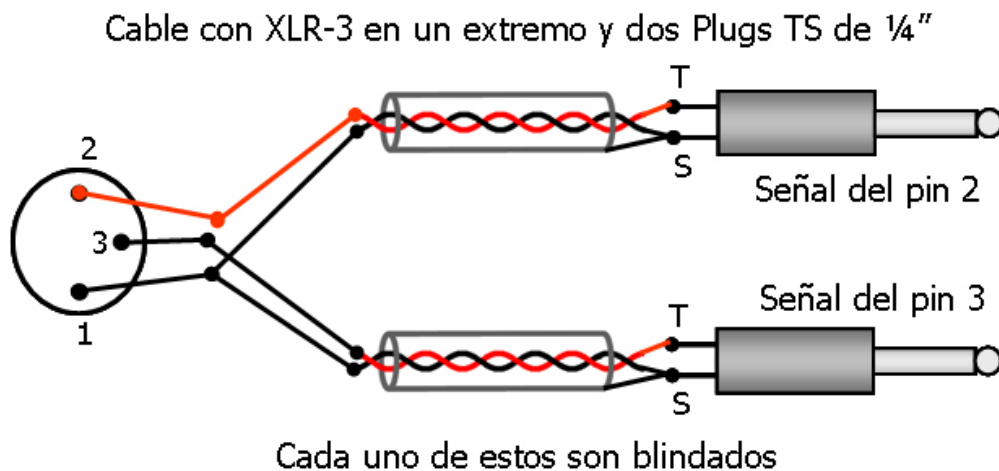
Releo todo esto y me doy cuenta que me estoy poniendo demasiado "técnico", vamos a hacer algo divertido; eso es lo importante, ¿no?

Lo primero que voy a usar será un cable, que utilizo para demostraciones con señal de micrófono, y está hecho con conductores de electricidad normales (unipolares de 0,25 mm²) de la ferretería "El Bulonazo" de mi amigo Claudio, por supuesto. Lo llamo cariñosamente "step 2".



Noten que el trenzado conseguido es muy corto, tupido y homogéneo, fruto de la paciencia y unos mates aquella tarde de abril. Recalco lo del trenzado, por que es muy importante que esté bien hecho, como en este caso. Esto es válido para cualquier cable de señal que se utilice con interfaces o sistemas balanceados⁸.

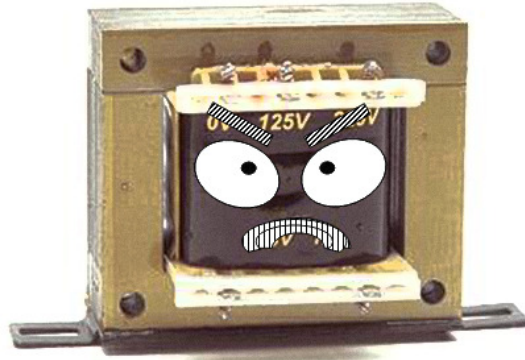
Lo que sigue es armar un cable con la siguiente conexión.



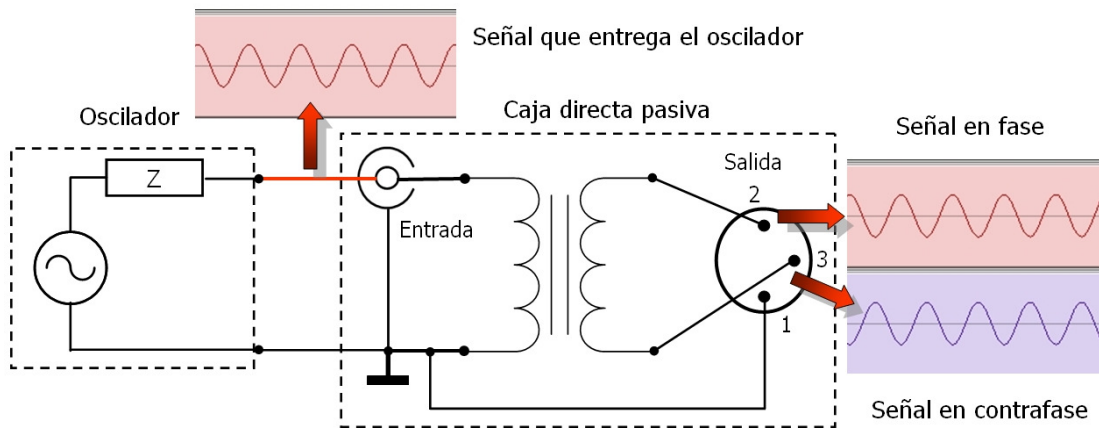
⁸ La homogeneidad y tupido del trenzado es un factor decisivo en la calidad de todo cable de señal. Debido a esto cualquier interferencia que ingrese al cable lo hará exactamente igual en ambos conductores, logrando una conformación en el ruido de modo común, adecuada para su posterior rechazo.

El objetivo es tener cada señal de mi envío simétrico por separado; de esta forma, puedo grabar, en pistas de audio independientes, todo esto y realizar la suma diferencial aisladamente y viendo que es lo que sucede en cada etapa del proceso de transmisión.

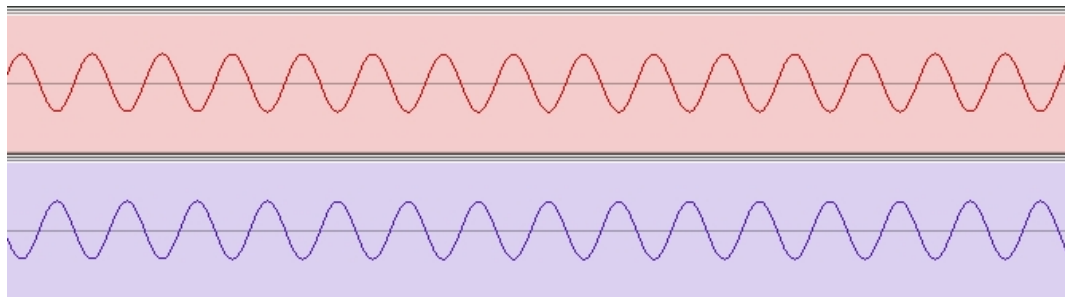
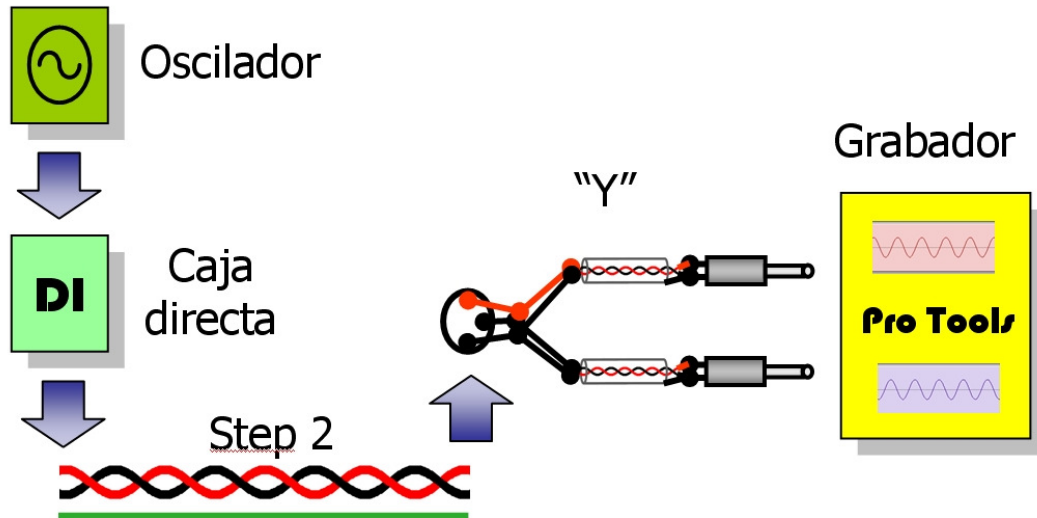
Un componente muy importante para estas pruebas es el elemento encargado de generar las interferencias electromagnéticas (EMI), que básicamente son nuestros archienemigos; y para ello me valí de un transformador 220 V – 110 V que poseía todas las características necesarias para la experiencia. Dichas particularidades son, por ejemplo, no tener blindaje electrostático externo ni entre primario y secundario, estar calculado muy al límite de su régimen de trabajo, ser poseedor de un armado desprolijo, etc. Para definirlo en términos específicamente técnicos, es el típico “transformador pedorro”. En este caso lo vamos a llamar: “malévolo trafo”.



Ahora voy a conectar un oscilador a una caja directa pasiva, para usar los beneficios de un buen transformador de audio y obtener en su salida una señal bien simétrica. El esquema de lo antedicho sería así.

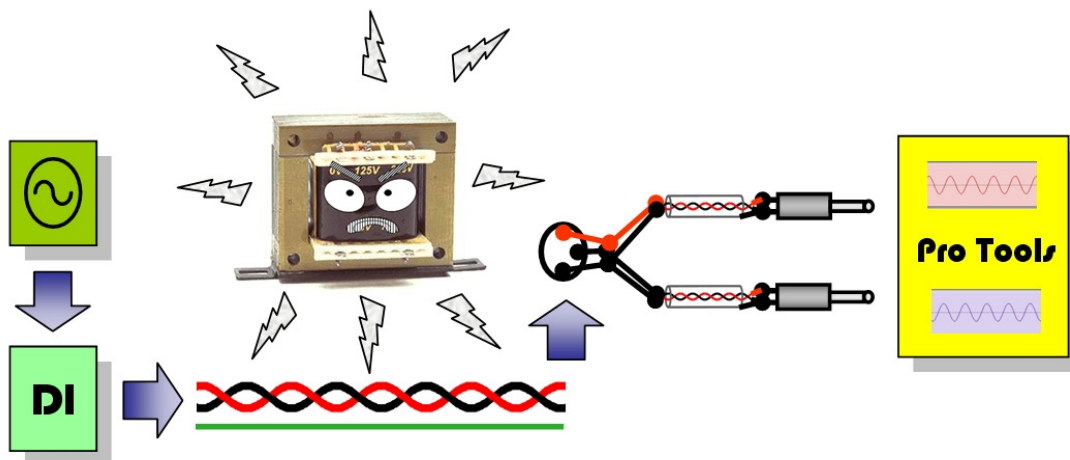


La salida de la caja directa se conecta a mi cable “step 2” y éste a la “Y” que vimos en la figura 4. Los plug TS de los extremos los enchufo en dos entradas de línea de la consola, para poder manejar la ganancia de señal que sea necesaria; y de allí al grabador multipista (en este caso utilicé Pro Tools). Grabo dichas señales sin ninguna interferencia, es decir, manteniendo sin funcionar al “malévolo trafo”. El resultado es el siguiente.

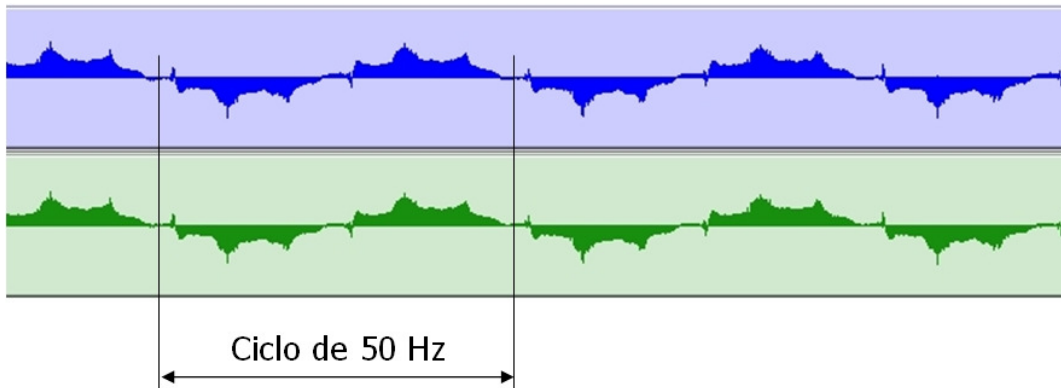


Cabe aclarar que el oscilador estaba configurado con su salida a -30 dB y la entrada de la consola con ganancia de 30 dB. Esto se hizo de esta manera para exagerar los niveles nocivos en relación a los de señal y poder cotejar "gráficamente" cómo sucedía todo el fenómeno de interferencias en una línea balanceada.

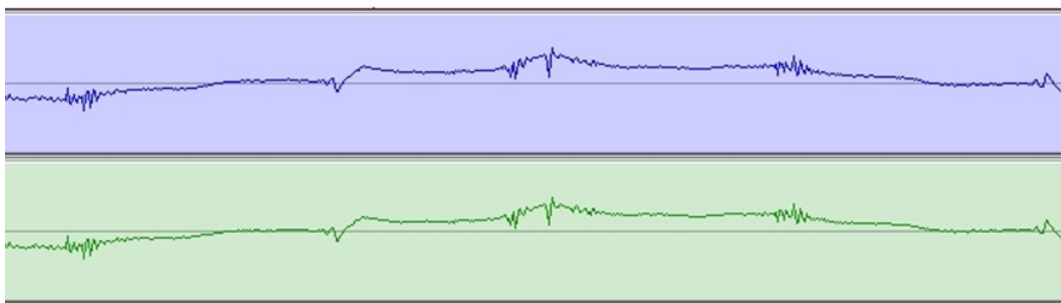
Muy bien, ahora sí le otorgo el tan merecido papel protagonista al "malévolo trafo". Con mi cable "step 2" le doy un par de vueltas alrededor para que se vea bien inmerso en su espurio campo de interferencias electromagnéticas.



Primero grabo la señal de interferencias solamente, es decir, con el oscilador apagado. Como tengo una ganancia en la entrada de 30 dB puedo ver claramente todo el ruido que "entra" en el cable.

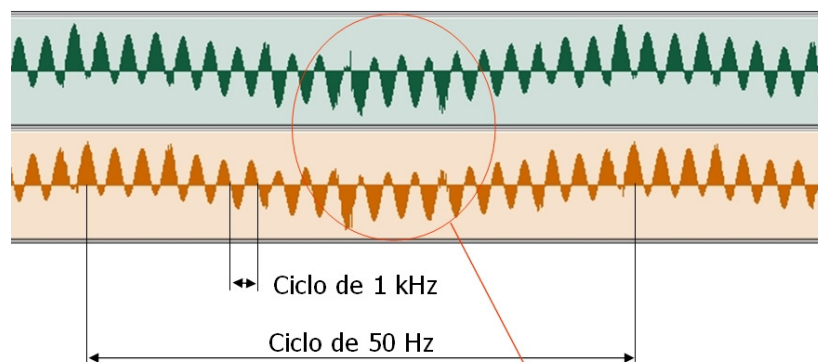


Medio ciclo de 50 Hz con bastante zoom

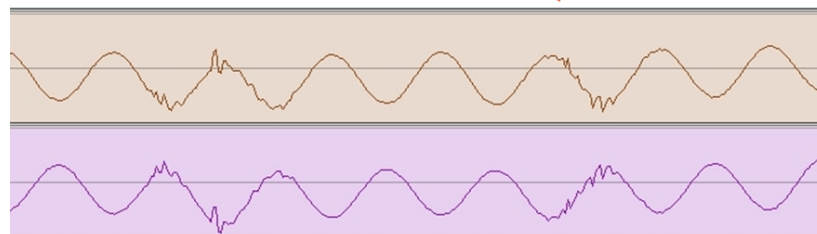


Se puede apreciar el generoso aporte de porquería que nos brinda nuestro "malévolo trafo"; no solamente el obvio zumbido de 50 Hz (hum), sino además, componentes de alta frecuencia que venían de regalo en la línea (frituras, clicks, mshwicks, etc.). Las últimas, se deben a dimmers, motores con escobillas (como los secadores de pelo), arranque y parada de motores grandes (ascensores, bombas de agua) y todo aquello que pueda ser malo, molesto e inapropiado para nuestros fines de obtener un buen y limpio sonido a la hora de grabar música.

Veamos ahora cómo se suma esto a nuestra señal de prueba, o sea, el oscilador con un tono de 1 kHz. Hago funcionar el oscilador y con el "step 2", que sigue con un par de vueltas alrededor del "malévolo trafo", grabo la resultante.



Señal más ruido con bastante zoom

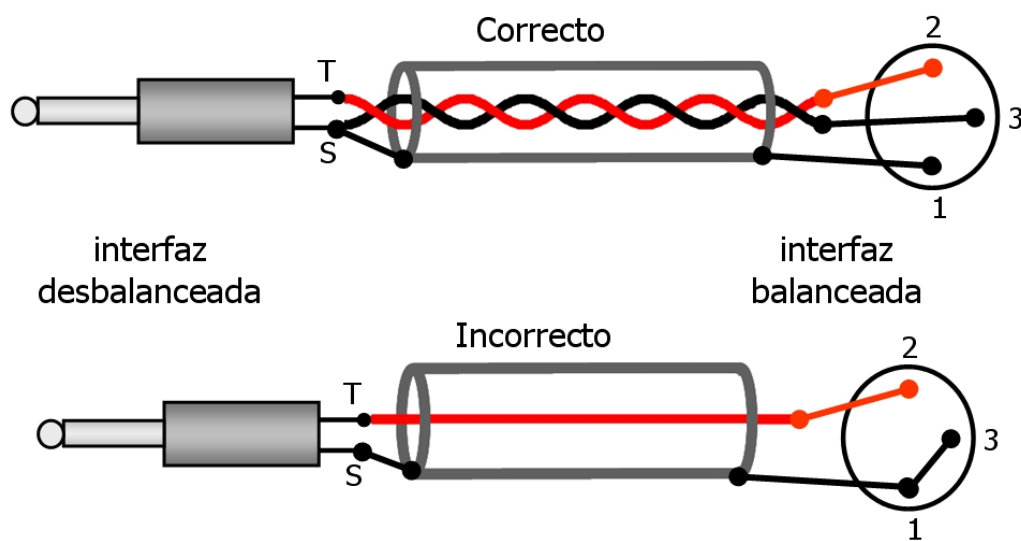


Claramente observamos como la señal útil permanece en contrafase, una con respecto a la otra, y la interferencia en fase. Por supuesto, cuando estas señales se sumen invertidas o se resten, que es lo que hace una entrada diferencial normal, como las que vimos en la ficha anterior y al inicio de esta; lo único que nos quedará es sólo nuestra señal útil con su nivel duplicado. Por el contrario si se suman directamente, nuestra señal desaparece y sólo queda la interferencia.

Se nota como la señal de 1 kHz va “montada” sobre la de 50 Hz y las interferencias de muy alta frecuencia sobre la de 1 kHz.

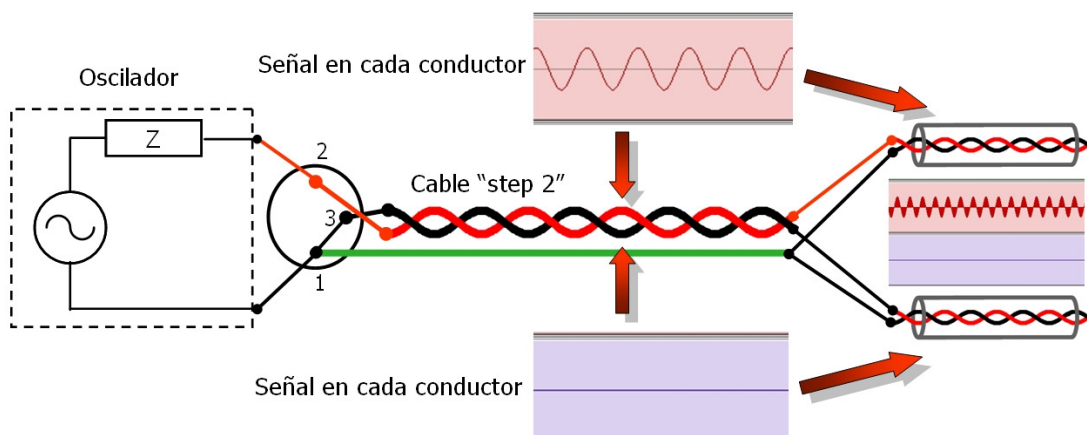
Ahora vamos hacer algo realmente muy interesante. Voy a eliminar la caja directa de mi cadena de conexiones y el oscilador, que tiene salida desbalanceada y lo voy a conectar a lo que sería una entrada balanceada mediante el cable “step 2”.

Pretendo demostrar cómo una conexión de este tipo (desde una interfaz desbalanceada a una balanceada) con un cable bien armado puede traernos grandes beneficios en cuanto a inmunidad al ruido. El esquema de un cable con las conexiones correctas e incorrectas puede ser el siguiente.

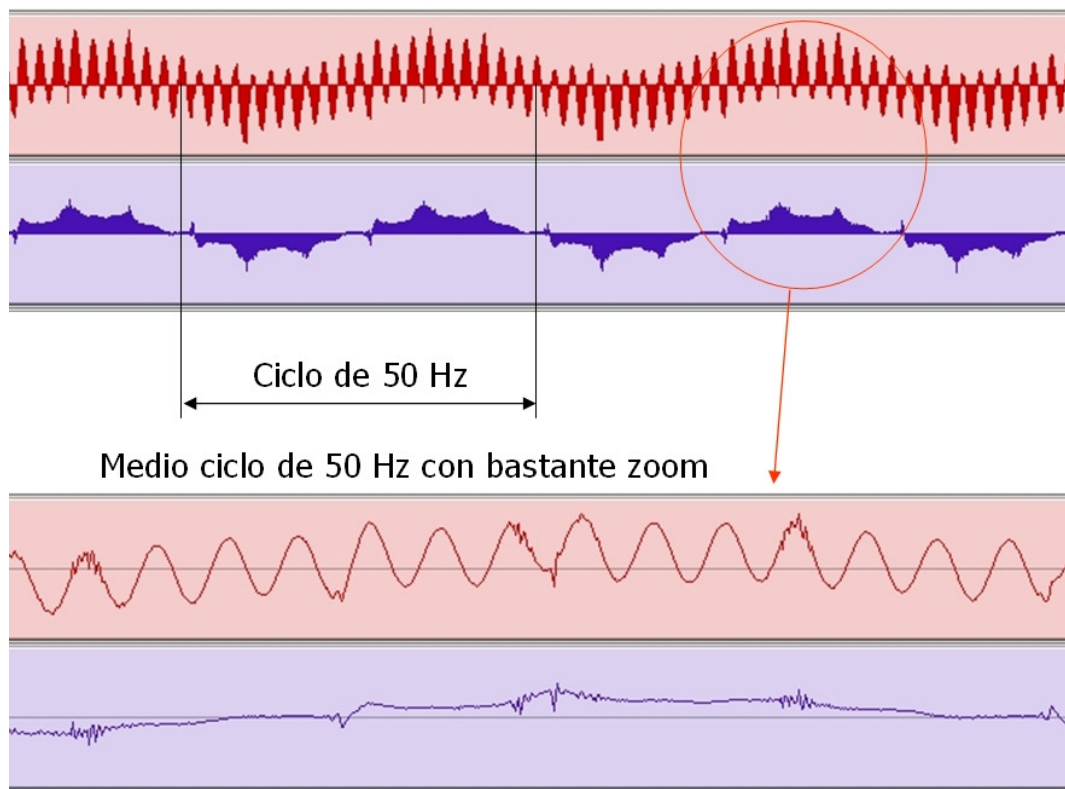


Pueden ver que el desbalance de la entrada se produce en el extremo del plug TS; y es extremadamente importante que así sea y no haciendo el puente del pin 1 al 3. Eléctricamente las dos funcionan, pero, la conexión correcta tiene muchas ventajas.

Habíamos eliminado la caja directa y conectado el oscilador directamente a nuestro sistema mediante el cable “step 2”.



Esta es la típica situación donde desde una salida desbalanceada vamos a una entrada balanceada. Grabamos nuestra señal (oscilador) junto con la interferencia de nuestro querido “malévolo trafo” y obtenemos lo siguiente.

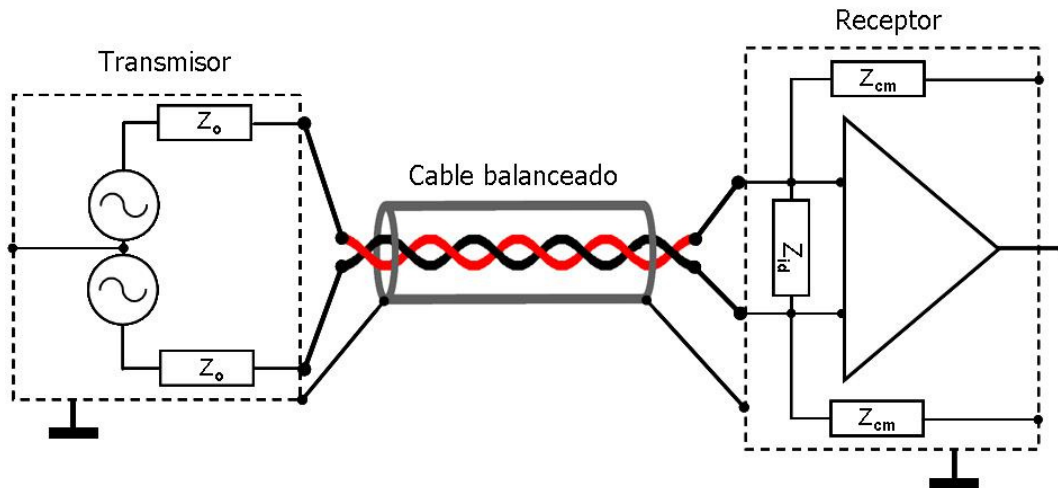


Si se toman la molestia de restar punto a punto ambas señales o sumarlas diferencialmente (con la fase de una invertida) verán que la interferencia desaparece y la señal queda limpia. La diferencia con la experiencia anterior es que la amplitud de la señal ahora tiene 6 dB menos; lo cual es bastante obvio por tener sólo la mitad de la misma.

Todas estas pruebas las hice simplemente mezclando estas señales a través de un bus interno a otra pista, invirtiendo la fase de una o dejándolas iguales, obteniendo los resultados antes mencionados. Es muy interesante ver como todo esto, que muchas veces se mantiene en el dominio de los conceptos, ahora se vuelve una realidad tangible de probarse y además brinda la posibilidad de experimentar diferentes variantes. Una que se me ocurre es la de generar cierto desbalance en las impedancias de salida o conexión entre los componentes de nuestra cadena y verificar cuanto del ruido, que en principio “viaja” de modo común⁹, se transforma en diferencial. Este desbalance puede ser un simple contacto sucio entre conectores, tolerancias fuera de valor de los componentes que reflejan la impedancia de entrada o salida de las interfaces, algún cable con cierta soldadura fría, etc.

Piensen, por supuesto, en una entrada realmente balanceada como la de la figura 1, nuestro bien ponderado amplificador de instrumentación. Con todo esto en mente lo que deberíamos ver sería algo más o menos así.

⁹ Se denominan señales de modo común a las que son idénticas en amplitud, fase y tiempo.

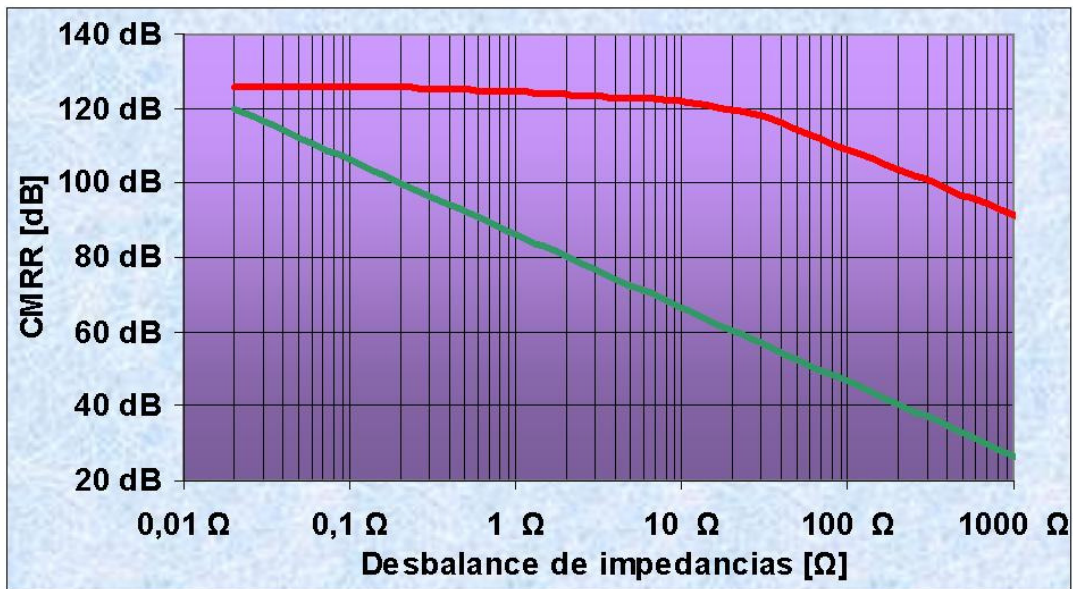


Ahora vean los divisores resistivos que se forman entre las Z_o (impedancias de salida) y las Z_{cm} (impedancias de modo común de la entrada). Para que se entienda lo que planteo, si mi problema de ruido viene desde el emisor¹⁰, siempre viajando de modo común, significa que va a tener diferentes atenuaciones en cada una de las entradas (pin 2 y 3); y esto genera en la entrada diferencial una “desigualdad en las tensiones de ruido” que será amplificada “diferencialmente”, como debe ser. Tomando en cuenta las relaciones de impedancia, que en los niveles de línea es de dos órdenes de magnitud, valores típicos: 100 Ω para las Z_o y 20 k Ω para las Z_{cm} , podemos asegurar que un pequeño desbalance puede afectar muy poco, en cuanto a ruido. Pero, pensemos en la entrada de un preamplificador de micrófono. Las relaciones de impedancia son de sólo 22 veces, valores típicos: 150 Ω para las Z_o y 3,4 k Ω para las Z_{cm} , además, tenemos el agravante que esa etapa puede estar ganando 60 dB (1000 veces en tensión), o sea, que la mínima diferencia que se genere por algún desbalance se verá amplificada morbosamente y estará presente en la salida.

Hay algo de todo esto que surge como consecuencia; si logramos una Z_{cm} muy elevada conseguiremos una inmunidad al ruido, generado por desbalances, extremadamente efectiva. Es allí donde los transformadores en las entradas de audio gozan de su merecido reinado. En los entornos más nocivos, siempre hablando de interferencias electromagnéticas, como en los estudios de radiodifusión o plantas transmisoras, es donde el equipamiento básico, por ejemplo consolas, viene directamente con transformadores.

El parámetro que cuantifica esa “especie de inmunidad al ruido” se llama: Relación de Rechazo de Modo Común (CMRR – Common Mode Rejection Ratio); y no es más que la razón entre la tensión de entrada en modo común y la de la salida, expresada en dB; siempre hablando de un amplificador diferencial. Lo pueden encontrar en muchos textos como la razón entre la ganancia de tensión en modo diferencial con respecto a la ganancia de tensión en modo común (CMRR = AV_d / AV_c).

¹⁰ Estos ruidos se deben, generalmente, a las capacidades de fuga de los transformadores de las fuentes de alimentación de cada dispositivo. Lo normal es sentir, cuando los equipos no están conectados entre sí, una diferencia de potencial entre ellos (puede llegar a los 220 V) que se manifiesta en forma de descarga eléctrica a nosotros pobres mortales... Dichos potenciales son los que circulan por las resistencias de las mallas de los cables y terminan entrando como ruido inducido en las etapas de salida (donde la impedancia es muy baja).



En este gráfico se observa con trazo de color rojo la CMRR de un transformador de audio (de los lindos) en función al desbalance de impedancias. El trazo de color verde es un amplificador diferencial basado en un operacional, con una impedancia de modo común de 20 kΩ. Las impedancias de modo común del transformador son extremadamente altas y por ello mantiene una relación de rechazo muy elevada; lo que no sucede en un circuito con operacionales. Todo esto es muy lindo, pero, si este transformador lo usamos en una entrada de preamplificador para micrófono; y éste necesita alimentación phantom, la nueva impedancia de modo común ahora va a caer en lo clásicos y ya conocidos 3,4 kΩ. Cuidado con pensar que todo se ha resuelto al usar un transformador. Espero haber aclarado algo de todo esto que muchos confunden en relación a las líneas balanceadas y desbalanceadas. De paso aprendimos que, aun cuando nuestra salida sea desbalanceada, la conexión se debe hacer con cable balanceado para ganarle un poco más al ruido.

Nos encontramos la próxima, muchos éxitos y buenas grabaciones.

Bibliografía consultada:

- A new balanced audio input circuit for maximum Common-mode rejection in real-world environments; Bill Whitlock, Jensen Transformers, Inc. 1996 Jensen Transformers, Inc.
- Nota de aplicación A003: Interconnection of balanced and unbalanced equipment; Bill Whitlock.
- B. Whitlock, "Balanced Lines in Audio - Fact, Fiction, and Transformers", Journal de AES, Vol 43, N° 6, Junio 1995.
- Neil Muncy, "Noise Susceptibility in Analog and Digital Signal Processing Systems", Journal de AES Vol 43, N° 6, Junio 1995.