



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN,
ESPECIALIDAD EN SONIDO E IMAGEN

Título del proyecto:

MESA DE MEZCLAS ANALÓGICA

Alumno: Rodrigo Cobos Canal

Tutora: María José Erro Betrán

Pamplona, 7 de Septiembre 2016

ÍNDICE

1. OBJETIVO DEL PROYECTO.....	7
2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	9
3. DISEÑO A ALTO NIVEL.....	10
3.1. CANAL DE MICRÓFONO.....	11
3.1.1 ATENUADOR DE MICRÓFONO.....	11
3.1.2 ETAPA DE DESBALANCEO.....	11
3.1.3 FILTRO DE GRAVES.....	12
3.1.4 PREAMPLIFICADOR DE MICRÓFONO.....	12
3.1.5 MEDIDOR DE PICO.....	12
3.1.6 ECUALIZADOR.....	12
3.1.7 CONTROL DE NIVEL (MON).....	12
3.1.8 CONTROL DE NIVEL (LEVEL).....	12
3.1.9 CONTROL DE NIVEL (FX).....	12
3.1.10 CONTROL DE PANORAMA.....	13
3.2 CANAL DE LÍNEA.....	13
3.2.1 ATENUADOR DE LÍNEA.....	13
3.2.2 PREAMPLIFICADOR DE LÍNEA.....	13
3.2.3 MEDIDOR DE PICO.....	13
3.2.4 ECUALIZADOR.....	13
3.2.5 CONTROL DE NIVEL (MON).....	14
3.2.6 CONTROL DE NIVEL (LEVEL).....	14
3.2.7 CONTROL DE NIVEL (FX).....	14
3.2.8 CONTROL DE PANORAMA.....	14
3.3 CANAL DE INSTRUMENTO DE ALTA IMPEDANCIA.....	14
3.3.1 ATENUADOR DE INSTRUMENTO.....	14
3.3.2 PREAMPLIFICADOR DE INSTRUMENTO.....	14
3.3.3 MEDIDOR DE PICO.....	14
3.3.4 ECUALIZADOR.....	14
3.3.5 CONTROL DE NIVEL (MON).....	14
3.3.6 CONTROL DE NIVEL (LEVEL).....	14
3.3.7 CONTROL DE NIVEL (FX).....	14
3.3.8 CONTROL DE PANORAMA.....	14
3.4 CANAL DE EFECTOS.....	15
3.5.1 SUMADOR.....	15
3.5.2 CONTROL DE NIVEL (FX SEND).....	15
3.5.3 SALIDA DE EFECTOS.....	15
3.5.4 RETORNO DE EFECTOS.....	15
3.5.5 CONTROL DE NIVEL (FX TO MAIN).....	15
3.5.6 CONTROL DE NIVEL (FX TO MON).....	15
3.5 CANAL DE MONITORES.....	15
3.5.1 SUMADOR.....	15
3.5.2 CONTROL DE NIVEL (MON LEVEL).....	15
3.6 CANAL DE SALIDA DE LA MESA.....	15

3.6.1 SUMADOR.....	15
3.6.2 CONTROL DE NIVEL (MAIN LEVEL L).....	16
3.6.3 ETAPA DE BALANCEO.....	16
4. ESPECIFICACIONES Y CONDICIONES PARA EL DISEÑO..	17
4.1 Definir la instrumentación de trabajo.....	17
4.1.1 Tarjeta de sonido Roland Edirol UA-4FX®.....	17
4.1.2 Smaart Live (PC).....	17
4.1.3 Zelscope (software).....	18
4.1.4 Multímetro digital.....	18
4.1.5 Caja de pruebas.....	19
4.1.6 Medidor de niveles analógico.....	19
4.1.7 Medidor de niveles digital.....	20
4.1.8 Buffer/distribuidor de señales.....	21
4.1.9 Monitores de escucha autoamplificados.....	22
4.1.10 Amplificador complementario.....	22
4.2 Establecer método de medición.....	23
4.2.1 Conexión general.....	23
4.2.2 Ruta de la señal (ver fig. 13).....	23
4.2.3 Medición / comparación de niveles de pico.....	24
4.2.4 Visualización de señales.....	24
4.2.5 Función de transferencia.....	25
4.2.6 Método de medición de impedancias de salida (y corriente máxima).....	26
4.3 Estudiar la naturaleza de las señales.....	28
4.3.1 Instrumentos con salida pasiva de alta impedancia.....	29
4.3.2 Micrófonos dinámicos.....	29
4.3.3 Instrumentos con salida activa de nivel de línea.....	29
4.4 Medir los niveles del amplificador operacional en las condiciones en las que se va a utilizar.....	29
4.5 Definir las características de alimentación, entrada y salida de la mesa.....	30
5. IMPLEMENTACIÓN.....	31
5.1 INSTRUMENTACIÓN.....	31
5.1.1 BUFFER / DISTRIBUIDOR DE SEÑALES.....	31
5.1.2 MEDIDOR DIGITAL.....	31
5.1.3 MEDIDOR ANALÓGICO.....	33
5.2 ETAPAS.....	35
5.2.1 ATENUADOR DE MICRÓFONO (PAD).....	35
5.2.2 ATENUADOR DE LÍNEA (PAD).....	35
5.2.3 ATENUADOR DE INSTRUMENTO (PAD).....	35
5.2.4 ETAPA DE DESBALANCEO.....	35
5.2.5 FILTRO DE GRAVES (LOW CUT).....	35
5.2.6 PREAMPLIFICADOR DE MICRÓFONO (GAIN).....	36
5.2.7 PREAMPLIFICADOR DE LÍNEA (GAIN).....	36
5.2.8 PREAMPLIFICADOR DE INSTRUMENTO (GAIN).....	36
5.2.9 MEDIDOR DE PICO (PEAK).....	36
5.2.10 ECUALIZADOR (HI, LO).....	36
5.2.11 CONTROL DE NIVEL (MON).....	37
5.2.12 CONTROL DE NIVEL (LEVEL).....	37
5.2.13 CONTROL DE NIVEL (FX).....	37

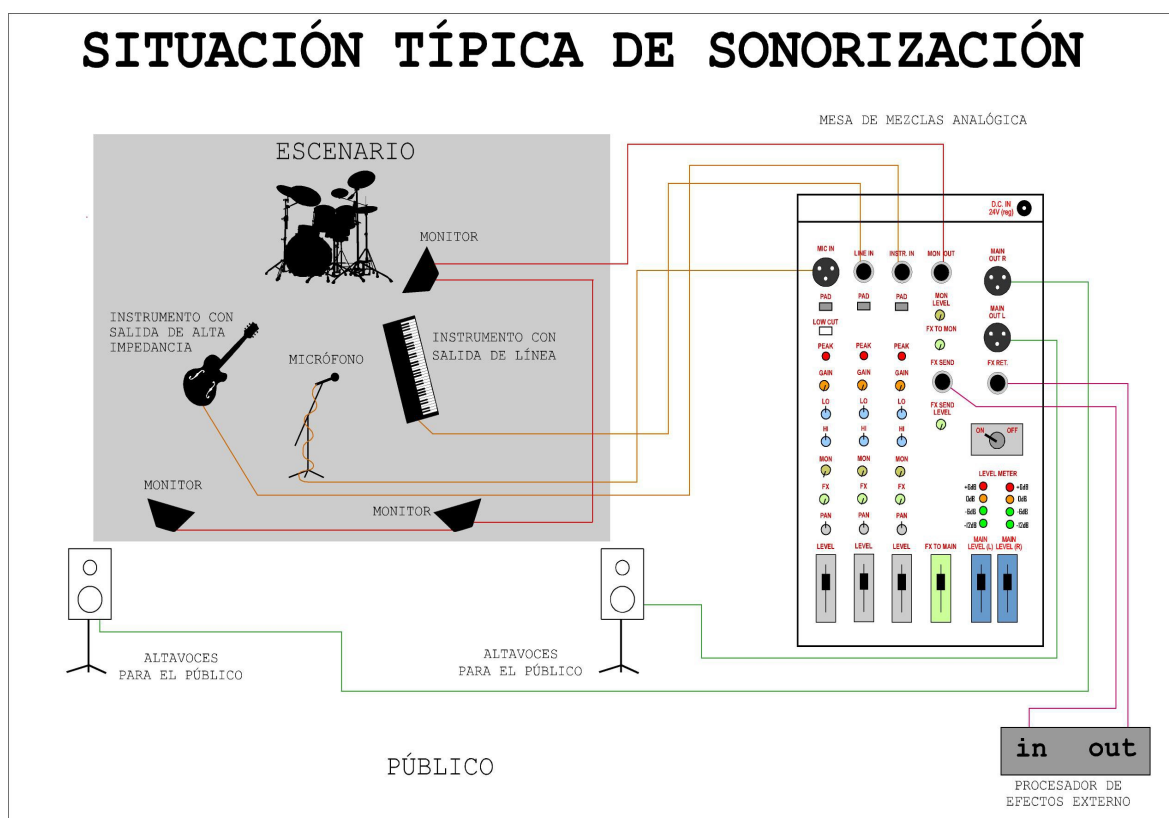
5.2.14 CONTROL DE PANORAMA (PAN).....	37
5.2.15 SUMADOR DE ENVÍO A EFECTOS.....	38
5.2.16 CONTROL DE NIVEL (FX SEND LEVEL).....	38
5.2.17 CONTROL DE NIVEL (FX TO MON.).....	38
5.2.18 SUMADOR DE ENVÍO A MONITORES.....	38
5.2.19 CONTROL DE NIVEL (MON LEVEL).....	38
5.2.20 CONTROL DE NIVEL (FX TO MAIN).....	38
5.2.21 SUMADOR L,R	39
5.2.22 CONTROL DE NIVEL (MAIN L, MAIN R).....	39
5.2.23 MEDIDOR DE NIVEL L,R (LEVEL METER).....	39
5.2.24 ETAPA DE BALANCEO.....	40
6. MEDICIONES, CÁLCULOS Y DECISIONES.....	41
6.1 DECISIÓN DE LAS IMPEDANCIAS DE INTERCONEXIÓN.....	41
6.2 MEDICIÓN DE LA CORRIENTE DE SALIDA MÁXIMA DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL.....	44
6.3 MEDICIÓN DE LA IMPEDANCIA DE SALIDA DE LA GUITARRA ELÉCTRICA.....	46
6.4 CÁLCULOS DE COMPONENTES GLOBAL:.....	49
6.4.1 CANAL DE MICRÓFONO.....	49
6.4.2 CANAL DE LÍNEA.....	50
6.4.3 CANAL DE INSTRUMENTO.....	51
6.5 CÁLCULO DE LOS COMPONENTES DEL CIRCUITO DE PANORAMA PARA OBTENER UNA RESPUESTA SUAVE A LO LARGO DEL RECORRIDO (valores buscados y acotados por medio de la escucha).....	52
6.6 CALCULO DEL EFECTO GENERADO AL INTERCONECTAR DOS ETAPAS DEBEIDO A LA IMPEDANCIA.....	53
7. PLANOS.....	54
8. CONCLUSIONES.....	55
8.1 ESPECIFICACIONES FINALES.....	55
8.2 (REFERENCIA PARA EL USUARIO).....	57
8.3 OTRAS CONCLUSIONES RELATIVAS AL DISEÑO DE ETAPAS DE AUDIO:.....	57
9. BIBLIOGRAFÍA.....	59

1. OBJETIVO DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de una mesa de mezclas que permita cubrir las necesidades de procesamiento, mezcla y distribución de señales de audio en una sonorización en directo o en una grabación.

Además, se pretende que este diseño evite recurrir al procesamiento digital de señales de audio, buscando emplear procesamiento analógico en su totalidad con componentes y etapas de implementación sencilla.

La situación tipo a la que tiene que enfrentarse la mesa de mezclas es la siguiente:



■ fig. 1: SITUACIÓN TÍPICA DE SONORIZACIÓN:

En un escenario está actuando una banda de música con diversos instrumentos.

Estos instrumentos, ya sea por la utilización de un micrófono, de un fonocaptor piezoeléctrico o magnético, o porque ellos mismos generan una señal de audio de forma digital o analógica, proporcionan señales eléctricas que pueden clasificarse en tres tipos:

1.1 Señales de micrófono (instrumentos microfoneados)

La voz, un piano acústico, una guitarra acústica, instrumentos de viento, instrumentos de percusión

1.2 Señales de línea (generalmente instrumentos con salidas activas)

Instrumentos con fonocaptos activos (guitarras acústicas con pastilla activa, bajos con pastilla activa...), sintetizadores analógicos/digitales, teclados digitales, reproductores de música, ordenadores.

1.3 Señales de instrumentos de alta impedancia

Instrumentos con fonocaptos pasivos (guitarras acústicas, eléctricas, bajos

Se cuenta con altavoces amplificados tanto para el público y con monitores para los músicos (ver fig.1).

El objetivo principal es conseguir que por los altavoces para el público salga una única señal que contenga todas las señales que los músicos están generando mientras tocan, con un timbre y balance correctos entre ellas para que la música suene equilibrada y a un volumen adecuado.

También es necesario que por los monitores salga una mezcla que permita a los músicos escuchar amplificada la música que ellos mismos están haciendo, ya que en el escenario, al estar entre los mismos instrumentos, habrá unas condiciones de escucha distintas a las que hay en la zona del público.

Será posible, además combinar la mesa de mezclas con un procesador de efectos externo (ver fig.1), que, recibiendo una señal, que viene de una salida específica de la mesa, devuelva hacia otra entrada de la mesa el efecto que le correspondería, para poder aplicarlo a diferentes canales en distintas proporciones

2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Las mesas de mezclas comerciales constan, prácticamente en su totalidad, de entradas preparadas para aceptar señales de los tres tipos descritos anteriormente (micrófono, línea, y alta impedancia). Si bien muchos modelos tienen entradas conmutables, su diseño siempre sigue la misma estructura: un canal (o más) dedicado a cada tipo de señal.

En las especificaciones de los fabricantes actuales (Yamaha, Soundcraft, Behringer), se indican impedancias de entradas de los canales de micrófono de alrededor de 1,8k Ω , entradas de línea de alrededor de 10k Ω , y salidas de impedancias de 750 Ω . Las entradas de instrumento normalmente no vienen descritas en las especificaciones.

El procesado que sufre cada señal de cada canal, en cuanto a información se refiere es el siguiente: Primero ecualización (realce o atenuación de distintas bandas frecuenciales), y después balance, es decir, posición de la fuente en el eje horizontal, de forma que, mediante un par de altavoces se consiga crear una imagen estéreo de los instrumentos.

En cuanto a electrónica, hay más procesos que intervienen. Son la adaptación de impedancia a la entrada, el desbalanceo (en el caso de señales de micrófono) y la preamplificación.

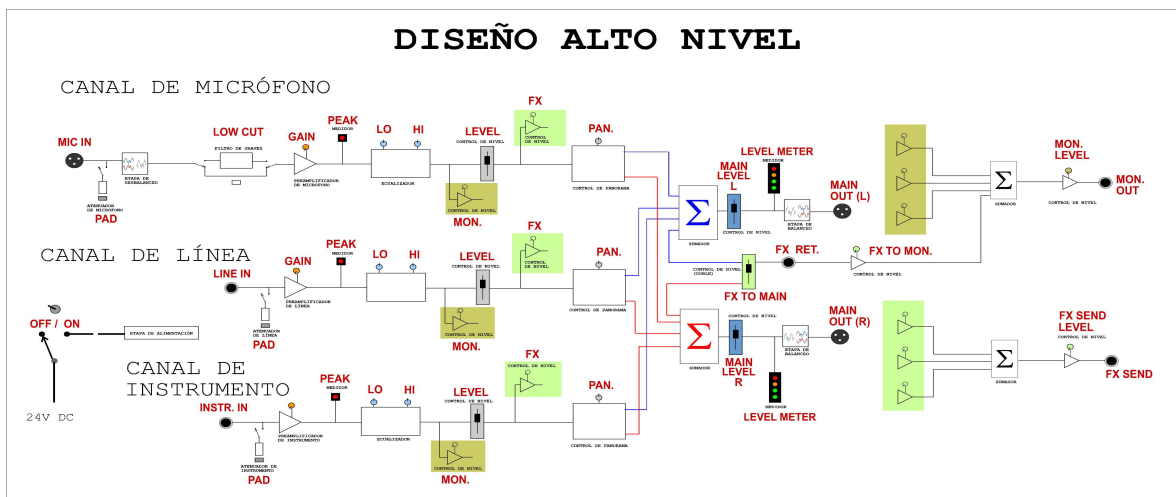
Desde el punto de vista de la distribución, las mesas tienen casi siempre la posibilidad de realizar distintas mezclas de los canales en distintos puntos, de forma que se pueden enviar mezclas independientes a las salidas de monitores y a los procesadores externos de efecto. Dicho sea de paso, muchas mesas incluyen el procesador integrado, de forma que no son necesarias una salida de efectos física, ni una entrada de retorno físico. Los procesadores de efectos (el más común es la reverberación) son en su mayoría digitales, y permiten al usuario editar los parámetros desde el exterior de la mesa.

También tienen herramientas de monitorización visual, que constan de indicadores de nivel luminosos, también en diversos puntos.

3. DISEÑO A ALTO NIVEL

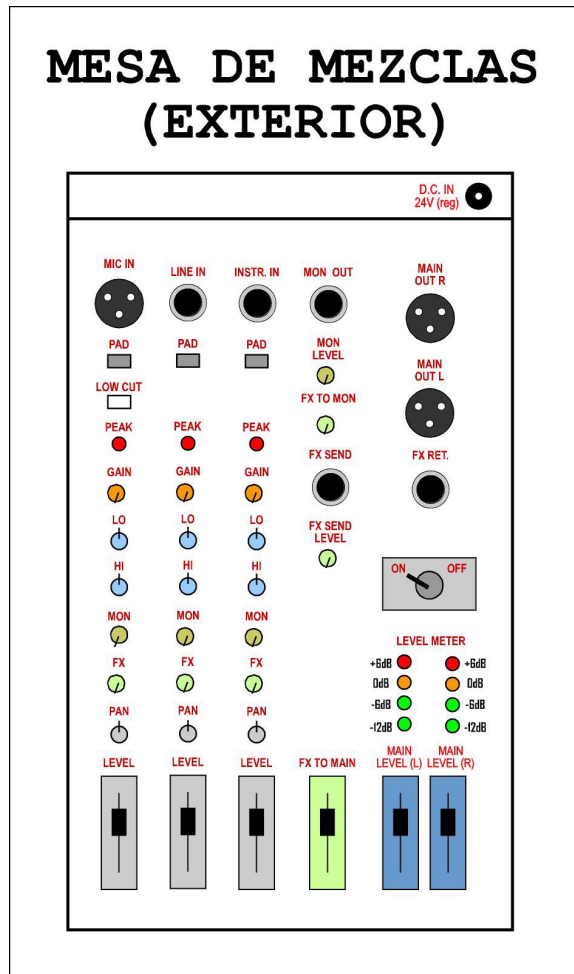
Para cubrir el objetivo del proyecto diseño una mesa de mezclas que sea capaz de recibir señales de los tres tipos descritos (micrófono, línea, instrumento de alta impedancia), de procesarlas adecuadamente para su mezcla, y de obtener una mezcla estéreo con dichas señales, así como una mezcla mono independiente para los monitores de los músicos, además de incluir un envío y retorno a procesadores externos de efectos.

La estructura interna es la siguiente:
(para ampliación, ver apartado "planos")



■ fig.2: ESTRUCTURA INTERNA (DIAGRAMA DE BLOQUES)

Y el aspecto que presentaría la mesa al usuario sería la siguiente:



■ fig.3: EXTERIOR

A continuación, explicaré el funcionamiento:

3.1. CANAL DE MICRÓFONO

Comienza con la entrada MIC IN (ver fig.3) de tipo XLR (tres pines, dedicada a señales balanceadas, en las que una línea de la señal está invertida respecto de la otra).

3.1.1 ATENUADOR DE MICRÓFONO

En caso de la señal recibida tenga demasiado nivel, este circuito atenuador se podrá activar con un conmutador (PAD, fig.3), que hará que la señal se atenúe una cierta cantidad, y así prevenga que las siguientes etapas se saturen.

3.1.2 ETAPA DE DESBALANCEO

Este circuito ha de realizar la operación de desbalanceo, es decir, invertir la señal en contrafase y sumarla con la señal en fase, con lo que se duplica el voltaje de la señal, y se eliminan ruidos que no pertenecían originalmente a la señal en el momento del balanceado (es decir, ruidos o interferencias que han aparecido durante la transmisión desde el circuito del micrófono hasta la mesa).

3.1.3 FILTRO DE GRAVES

En muchas ocasiones se conectan micrófonos dinámicos a las entradas de la mesa de mezclas, y éstos presentan, cuando la fuente está muy cerca del diafragma, una excesiva respuesta en frecuencias graves, inferiores a 100Hz. Es el conocido "efecto de proximidad".

Suele ser conveniente, por lo tanto, un conmutador (LOW CUT, ver fig.3) que permita suprimir es banda o no (dependiendo de si tenemos exceso de graves o no), así que incluiré un filtro paso alto conmutable que corte las frecuencias inferiores a 100Hz, (frecuencias típicamente molestas en voces, al hacer que retumben y hagan perder inteligibilidad a la palabra).

3.1.4 PREAMPLIFICADOR DE MICRÓFONO

Amplifica la señal de micrófono, para poder operar con ella en niveles adecuados. La ganancia será controlable con un potenciómetro (GAIN, ver fig.3).

3.1.5 MEDIDOR DE PICO

Es un diodo LED (PEAK, ver fig.3) que se activa si la señal está sobrepasando el nivel estimado para saturar los circuitos internos de la mesa por haberle dado demasiada ganancia.

Esto permite poder hacer el ajuste de ganancia de forma que la señal no sature el preamplificador sin tener que escuchar.

3.1.6 ECUALIZADOR

Mediante un potenciómetro (HI/LO, ver fig.3), permite modificar la relación de agudos y graves de la señal. Para esto se ha de filtrar en dos bandas separadas por una frecuencia subjetivamente central para el oyente, de forma que al variar el potenciómetro se aprecie un aumento del "cuerpo" o "calidez" de la señal, y de la disminución del "brillo" e "inteligibilidad". Y viceversa.

3.1.7 CONTROL DE NIVEL (MON)

Varía la cantidad de señal de ese canal que se envía al canal de monitores mediante un potenciómetro (MON, ver fig.3).

Esto permite hacer una segunda mezcla paralela para enviarla a los altavoces que utilizarán los músicos para escucharse a sí mismos.

3.1.8 CONTROL DE NIVEL (LEVEL)

Controla con un potenciómetro (LEVEL, ver fig.3) el volumen final de cada canal. Permite ajustar la presencia final de cada señal en la mezcla, desde su eliminación hasta una ligera amplificación.

3.1.9 CONTROL DE NIVEL (FX)

Envío a procesador de efectos. Mediante un potenciómetro (FX, ver fig.3) permite seleccionar qué cantidad de señal de cada canal es enviada a la salida de efectos. El objetivo es conectar esa salida a un procesador externo, y la salida de ese procesador

conectarla después a la entrada de retorno de efectos.

Es el mismo concepto que el envío a monitores, pero en este caso, el nivel de señal enviado es relativo a la posición del control de nivel, ya que la señal se toma desde la salida del control de nivel.

Sea S una señal S de un canal se envía a un procesador de efectos llamado FX . Su efecto devuelto será $FX(S)$. A la señal S se le aplica un coeficiente de nivel C (LEVEL, ver fig.3).

La señal final sumada a su efecto será

$$C*S + FX(S)$$

Es obvio que no tiene sentido que el efecto no esté supeditado al coeficiente de nivel C también, ya que la cantidad de efecto tiene que ser proporcional a la cantidad de señal. Por lo tanto, la fórmula correcta será.

$$C*(S + FX(S))$$

y esto es lo que diferencia el envío de monitores del envío de efectos, la independencia del potenciómetro de control de nivel LEVEL.

3.1.10 CONTROL DE PANORAMA

Esta etapa permite separar la señal en dos canales (izquierda y derecha) y mediante un potenciómetro (PAN, ver fig.3) escoger la cantidad de señal que se envía a cada canal, desde 100%L hasta 100%R, manteniendo el mismo nivel subjetivo acústico en conjunto.

3.2 CANAL DE LÍNEA

Comienza con la entrada LINE IN (ver fig.3) de tipo TS (cable apantallado con un hilo de señal).

3.2.1 ATENUADOR DE LÍNEA

Tiene la misma función que en el canal de micrófono, aunque el diseño variará para adaptarse a la señal de línea.

3.2.2 PREAMPLIFICADOR DE LÍNEA

Tiene la misma función que en el canal de micrófono, aunque el diseño variará para adaptarse a la señal de línea.

3.2.3 MEDIDOR DE PICO

Tiene la misma función que en el canal de micrófono.

3.2.4 ECUALIZADOR

Tiene la misma función que en el canal de micrófono.

3.2.5 CONTROL DE NIVEL (MON)

Tiene la misma función que en el canal de micrófono.

3.2.6 CONTROL DE NIVEL (LEVEL)

Tiene la misma función que en el canal de micrófono

3.2.7 CONTROL DE NIVEL (FX)

Tiene la misma función que en el canal de micrófono.

3.2.8 CONTROL DE PANORAMA

Tiene la misma función que en el canal de micrófono.

3.3 CANAL DE INSTRUMENTO DE ALTA IMPEDANCIA

Comienza con la entrada INSTR. IN (ver fig.3) de tipo TS (cable apantallado con un hilo de señal).

3.3.1 ATENUADOR DE INSTRUMENTO

Tiene la misma función que en el canal de micrófono, aunque el diseño variará para adaptarse a la señal de instrumento.

3.3.2 PREAMPLIFICADOR DE INSTRUMENTO

Tiene la misma función que en el canal de micrófono, aunque el diseño variará para adaptarse a la señal de instrumento.

3.3.3 MEDIDOR DE PICO

Tiene la misma función que en el canal de micrófono.

3.3.4 ECUALIZADOR

Tiene la misma función que en el canal de micrófono.

3.3.5 CONTROL DE NIVEL (MON)

Tiene la misma función que en el canal de micrófono.

3.3.6 CONTROL DE NIVEL (LEVEL)

Tiene la misma función que en el canal de micrófono.

3.3.7 CONTROL DE NIVEL (FX)

Tiene la misma función que en el canal de micrófono.

3.3.8 CONTROL DE PANORAMA

Tiene la misma función que en el canal de micrófono.

3.4 CANAL DE EFECTOS

Comienza en una etapa sumadora que aglutina todos los envíos a efectos y los combina en una sola (ver fig.2).

3.5.1 SUMADOR

Recibe todos los envíos a efectos de los canales de entrada y los suma.

3.5.2 CONTROL DE NIVEL (FX SEND)

Permite controlar con un potenciómetro (MON LEVEL, ver fig.3) el nivel general de la suma de los envíos a efectos.

3.5.3 SALIDA DE EFECTOS

Envía al exterior de la mesa la mezcla de efectos por un conector TS (ver fig.3).

3.5.4 RETORNO DE EFECTOS

Recoge la señal procesada del exterior a través del conector FX RET. (ver fig.3).

3.5.5 CONTROL DE NIVEL (FX TO MAIN)

Permite controlar cuánto retorno de efecto se enviará a la mezcla principal. Será un control doble, ya que el efecto se tendrá duplicar y mandar a cada canal (R y L). Ver FX TO MAIN, fig.3.

3.5.6 CONTROL DE NIVEL (FX TO MON)

Permite controlar cuánto retorno de efecto se enviará a la salida de monitores. Ver FX TO MON, fig.3.

3.5 CANAL DE MONITORES

Comienza en una etapa sumadora que aglutina todos los envíos a monitores y los combina en una sola (ver fig.2).

3.5.1 SUMADOR

Recibe todos los envíos a monitores de cada canal y también el retorno de efectos desde FX TO MON (ver fig.2), y los suma.

3.5.2 CONTROL DE NIVEL (MON LEVEL)

Permite controlar el nivel general de la mezcla de monitores. (ver fig.2).

3.6 CANAL DE SALIDA DE LA MESA

3.6.1 SUMADOR

Recibe en estéreo todas las salidas R/L de las etapas y las mezcla. Ver fig.2.

3.6.2 CONTROL DE NIVEL (MAIN LEVEL L)

Controla el volumen estéreo global de la mezcla R/L. Ver fig.3.

3.6.3 ETAPA DE BALANCEO

Realiza la operación inversa a la etapa de desbalanceo; duplica las señales, invierte una de ellas, y la devuelve como una señal doble preparada para ser enviada fuera de la mesa. Ver fig.2.

4. ESPECIFICACIONES Y CONDICIONES PARA EL DISEÑO

4.1 Definir la instrumentación de trabajo

4.1.1 Tarjeta de sonido Roland Edirol UA-4FX®

Es un dispositivo A-D/D-A especializado para señales de audio, de baja latencia y distorsión. Cuenta con dos entradas y dos salidas, con las que generaré y recogeré señales para poder procesarlas con distintos programas del PC.

Ante la falta de documentación por ser un aparato descatalogado, mido su nivel de salida, generando una señal de máxima amplitud desde el ordenador (0dB Full Scale).

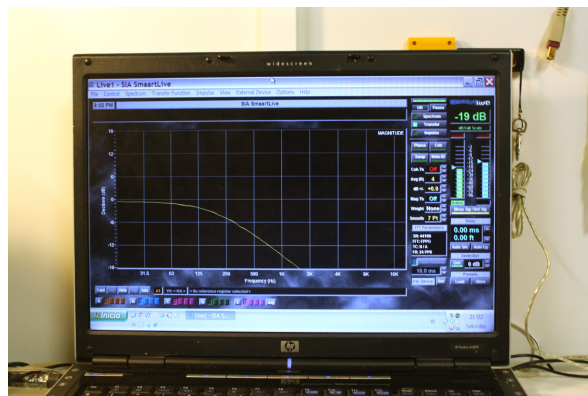
Nivel de salida: 0dBFS \rightarrow 0,7Vrms = 1V (pico) = -0,88dBu



■ fig.4. TARJETA DE SONIDO

4.1.2 Smart Live (PC)

Es un programa dedicado al análisis de equipo de audio, por medio de señales de prueba que procesa mediante FFT. Su principal utilidad será la obtención de la función de transferencia de las etapas en prueba.



■ fig.5 SOFTWARE DE MEDICIÓN SMAARTLIVE

4.1.3 Zelscope (software)

Es una aplicación que hace funcionar al PC, junto con la tarjeta de sonido, como un osciloscopio de dos canales.



■ fig.6. OSCILOSCOPIO VIRTUAL ZELSCOPE

4.1.4 Multímetro digital

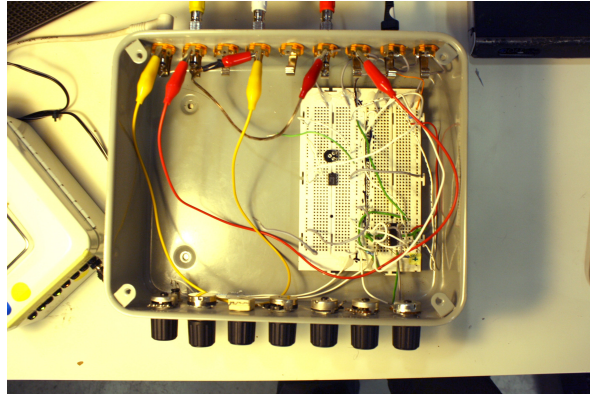
Para medir tensiones eficaces, voltajes continuos y como apoyo a la hora del montaje (continuidades, comprobación de polarización...).



■ fig.7. MULTÍMETRO

4.1.5 Caja de pruebas

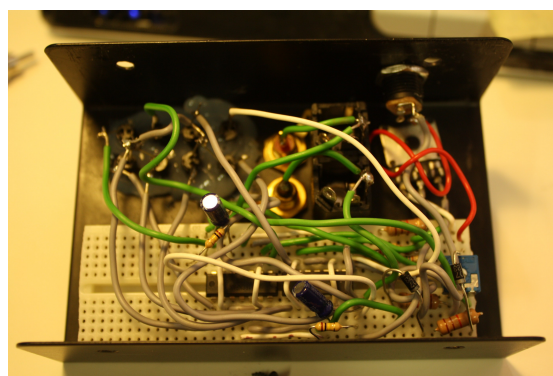
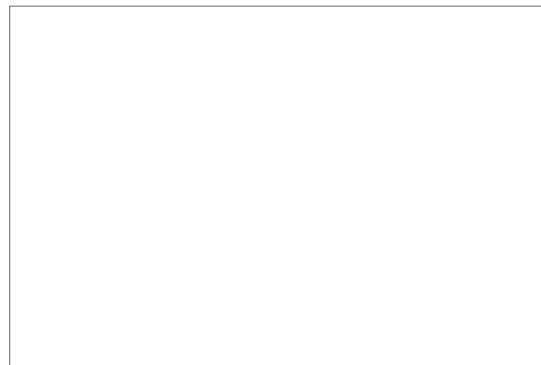
Para el montaje y medición de los circuitos, sin tener problemas de conexiones, construyo una caja metálica perforada con conectores Jack, XLR, conectores para alimentación y agujeros para instalar potenciómetros. Dentro tendrá pegada una placa protoboard. Durante las mediciones la cerraré para simular que el circuito está dentro del chasis obligatorio para minimizar interferencias del exterior.



■ fig. 8. CAJA DE PRUEBAS

4.1.6 Medidor de niveles analógico

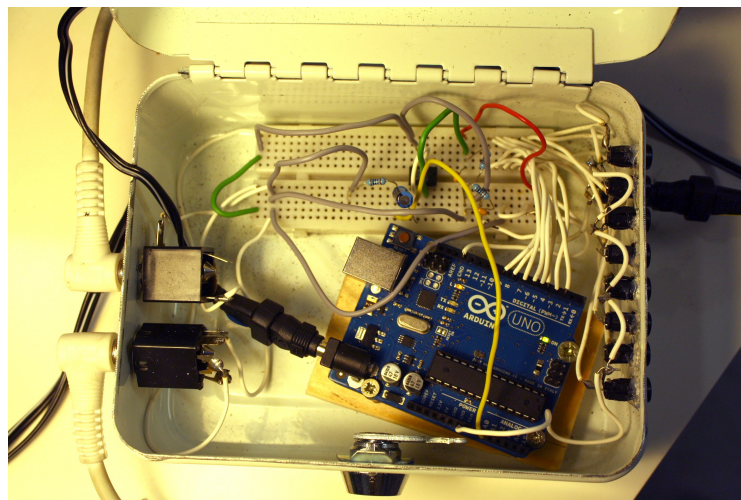
Construyo un medidor de dos canales que se puede conectar a cualquier par de puntos en los que interese, para, de forma alternativa al osciloscopio, monitorizar a tiempo real y de forma directa los niveles de pico que alcanzan las señales. La implementación del circuito está descrita en el apartado "Implementación"



■ fig.9. MEDIDOR DE NIVELES ANALOGICO

4.1.7 Medidor de niveles digital

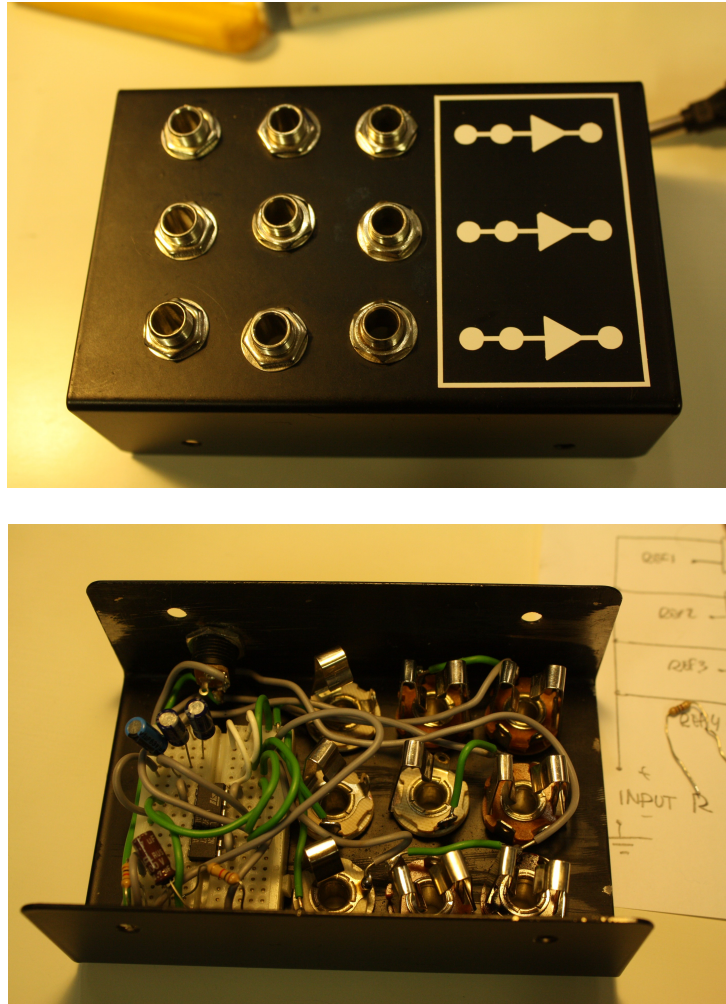
Construyo un medidor de niveles de un canal, esta vez digital, que permite observar los niveles de pico que alcanzan las señales. Programado con un procesador Arduino Uno. El led de máximo nivel tiene memoria, es decir, al excitarse, se queda encendido un tiempo para dejar constancia del pico (a partir del cual ya no puede medir más). La implementación del circuito está descrita en el apartado "Implementación".



■ fig.10. MEDIDOR DE NIVELES DIGITAL

4.1.8 Buffer/distribuidor de señales

Un repartidor de señales de alta impedancia de entrada y baja de salida, ganancia unidad y con bloqueo de corriente continua en la salida y entrada. De esta forma se protege la tarjeta de sonido en caso de conexiones erróneas en los circuitos de prueba. La implementación del circuito está descrita en el apartado "Implementación".

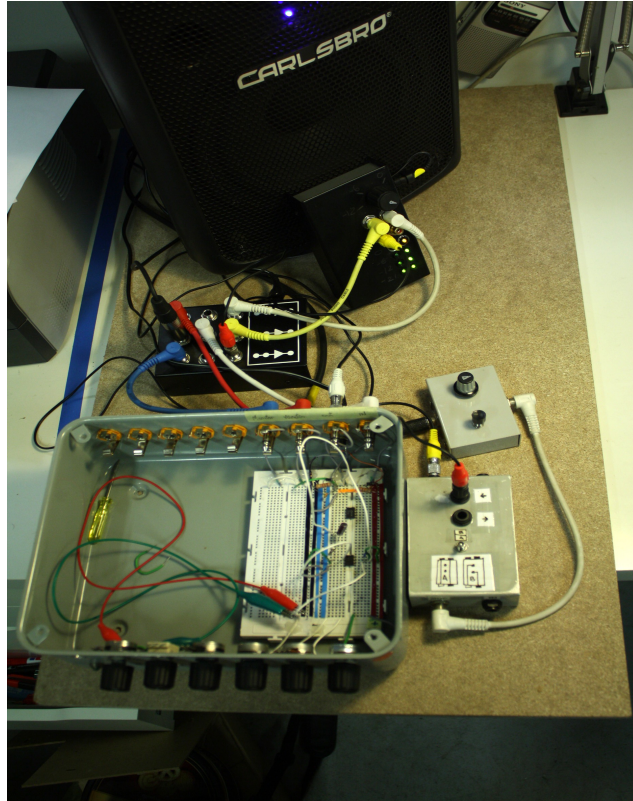


■ fig.11. BUFFER

4.1.9 Monitores de escucha autoamplificados.

Utilizo un par de altavoces Carlsbro que cuentan con etapa amplificadora integrada de 150W.

Permiten escuchar la señal con la que se trabaja. Son útiles para evaluar a oído la función de transferencia y subjetivizar el resultado.



■ fig.12. Altavoz autoamplificado

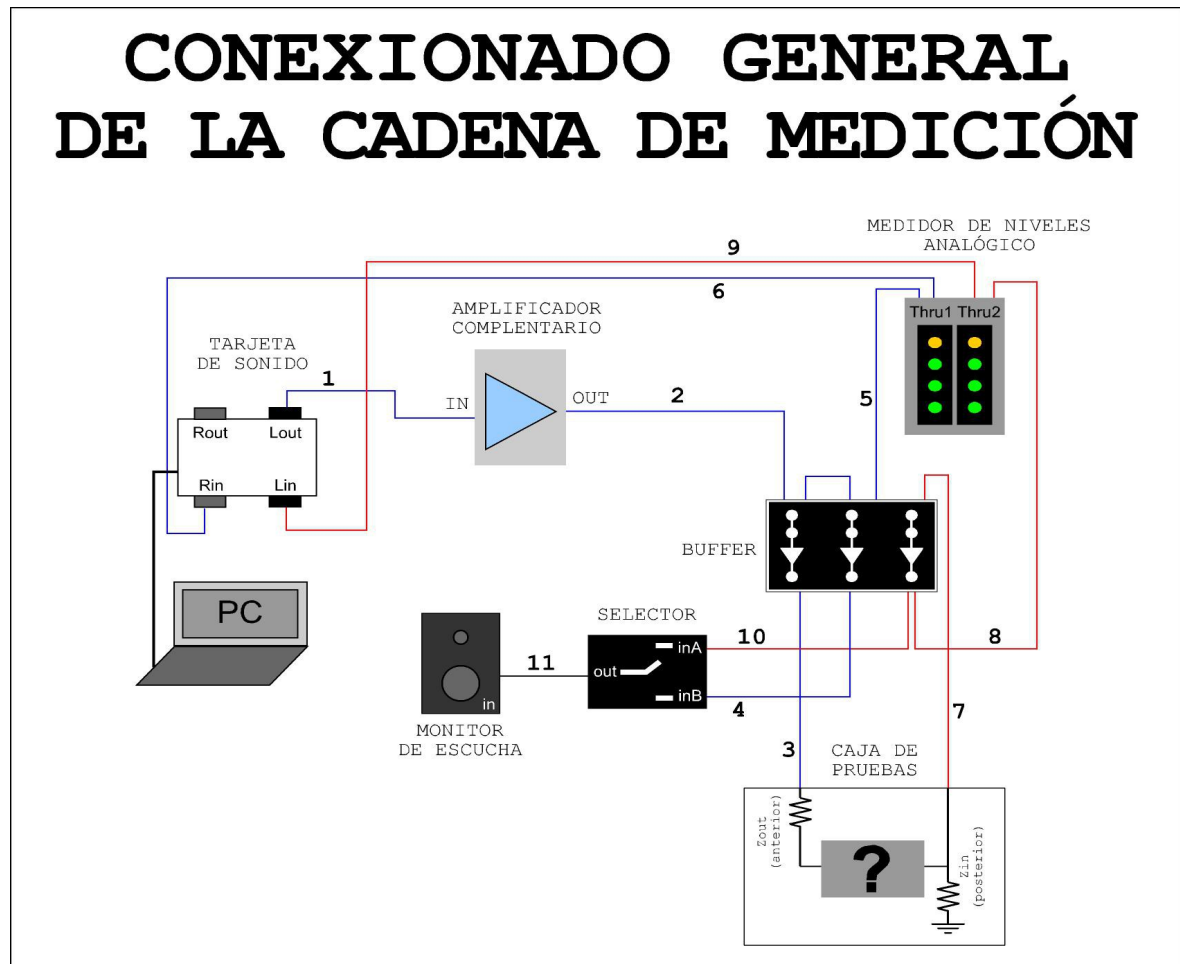
4.1.10 Amplificador complementario

Me permite amplificar la salida de la tarjeta de sonido, ya que ésta es bastante limitada. Con este amplificador aumentaré el rango de tensión aplicada a 4,4Vp.

4.2 Establecer método de medición

4.2.1 Conexionado general

El conexionado de los aparatos de medición explicados en el apartado anterior se realizará por lo general de la siguiente manera:



■ fig.13 CONEXIONADO GENERAL DE LA CADENA DE MEDICIÓN

De esta forma se pueden realizar las mediciones que se describen en los siguientes párrafos.

4.2.2 Ruta de la señal (ver fig.13)

El software Smaart Live, instalado en el ordenador, controla la tarjeta de sonido. Se envían por su salida señales de medición como tonos puros, ruido rosa, audio, o cualquier otra señal (1). El amplificador complementario me permite obtener una señal mayor aún de la que podría obtener sólo con la tarjeta de sonido (2).

Inmediatamente se manda al el buffer/distribuidor, para mandar una copia bufferizada

hacia la caja de pruebas (3) y otra copia bufferizada hacia el selector (4). Además se envía, esta sin bufferizar, una copia hacia el medidor de niveles analógico (5), del que luego entra directamente a la entrada de la tarjeta de sonido (6). Esta será la señal que el software Smart Live utilizará como referencia para la FFT.

La salida de la caja de pruebas (señal ya procesada, y con impedancia de salida igual a la de la etapa en pruebas se manda directamente al buffer (7). Al estar bufferizadas entrada y salida, se puede recrear las impedancias de interconexión colocando una resistencia serie en la entrada de la etapa (simulará la impedancia de salida de la etapa anterior) y una resistencia paralelo a tierra en la salida (simulará la carga).

De la salida del buffer correspondiente a la señal procesada bufferizada, se envían dos copias (es necesario un cable en Y). Una va hacia el medidor de niveles (8), y hacia la otra entrada de la tarjeta de sonido (9) (con esto ya se pueden obtener las transferencias). La otra va hacia el selector (10).

El selector está conectado a los altavoces autoamplificados (11), de forma que se puede escuchar la señal original y conmutarla rápidamente por la señal procesada. Esto permite experimentar con el oído las transferencias de las etapas en pruebas. Muy útil a la hora de apreciar diferencias en el sonido, y de asociar los resultados analíticos con lo que en la realidad se escucha.

Una vez montado el dispositivo, la forma de comprobar su neutralidad, es realizando una medición con la caja de pruebas cortocircuitada internamente para obtener la transferencia (que debería ser completamente plana), ver cómo pasan las señales por ella, y escuchar entrada/salida para comprobar que todo funciona como se espera.

4.2.3 Medición / comparación de niveles de pico

El medidor LED me permite visualizar a tiempo real los niveles de pico que alcanzan las señales, tanto la original, como la procesada. El potenciómetro normalmente está calibrado en la posición de 0dBu, pero si lo varío, puedo explorar rangos de señales más pequeños y comparar cuánta diferencia de nivel presentan (en dB).



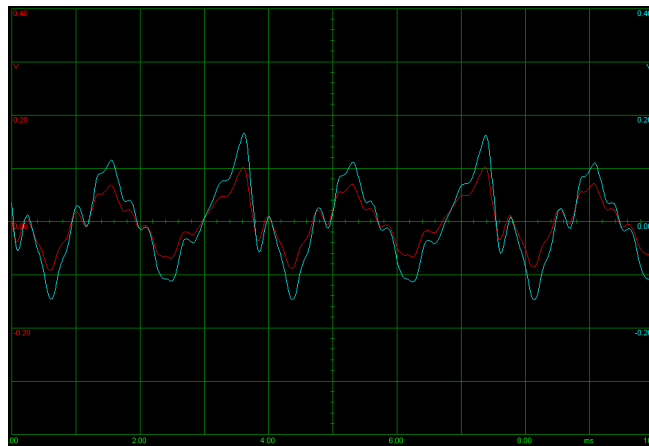
■ fig.14 Medición / comparación de señales

4.2.4 Visualización de señales

El software Zelscope me permite visualizar simultáneamente lo que entra por cada canal de la tarjeta de sonido (ver fig.15).

Para esto es necesario calibrar el preamplificador de la tarjeta, de forma que el nivel de entrada de la referencia (nivel que ya conozco, porque la estoy generando yo mismo desde el software SmartLive) se ajuste a la cuadrícula.

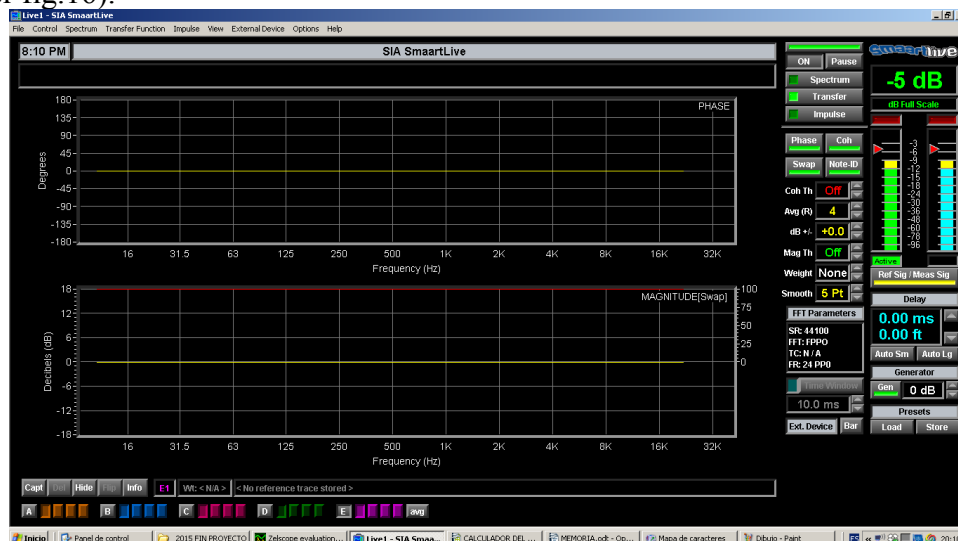
Normalmente emitiré señales lo mayor posibles con SmartLive, de forma que, si la señal procesada ha sufrido amplificación, se sature la entrada de la tarjeta de sonido, mostrando un recorte en la señal procesada. Esto no significa que la señal procesada se haya distorsionado, sino que he de reducir la preamplificación de la tarjeta de sonido para ajustar la señal al rango de entrada. En este caso, será necesario recalibrar la cuadrícula de Zelscope, sabiendo que la señal original, aunque ahora está reducida, sigue midiendo lo mismo que antes.



■ fig.15 Visualización de señales

4.2.5 Función de transferencia

De la misma forma que Zelscope muestra las entradas simultáneamente, SmartLive muestra su espectro, y calcula la transformada rápida de Fourier, mostrándola en módulo y fase (ver fig.16).



■ fig.16 Función de transferencia

Esto permite analizar la respuesta completa de la etapa en pruebas en todo el rango audible.

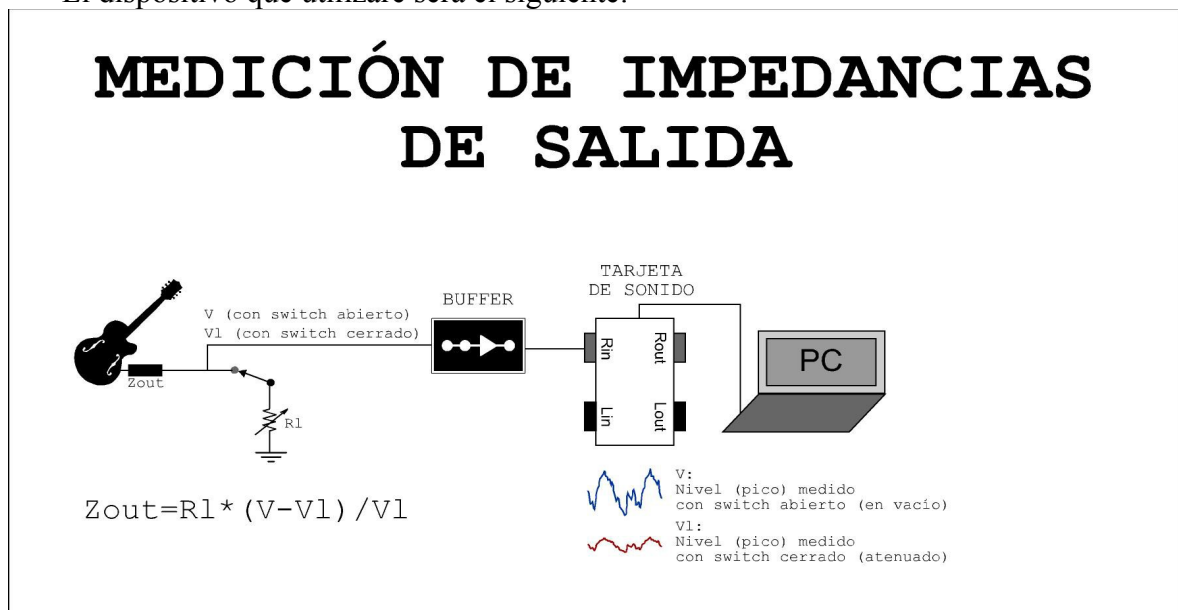
4.2.6 Método de medición de impedancias de salida (y corriente máxima)

Utilizaré el siguiente método para medir una impedancia de salida de una fuente (Z_{out}).

Para cada frecuencia f .

1. Es necesario forzar a la fuente a emitir una señal senoidal estacionaria.
2. Conociendo la amplitud (V) de la señal que la fuente está emitiendo (midiéndola en vacío), entonces puedo:
3. Buscar una carga R_L tal que al conectarla a la fuente, la tensión en dicha carga (V_L) presente una atenuación medible respecto de la tensión medida en vacío*.
4. Con estos valores R_L , V , V_L , puedo obtener Z_{out} para la frecuencia f ;

El dispositivo que utilizaré será el siguiente:



■ fig.17 MEDICIÓN DE IMPEDANCIAS DE SALIDA

* V y V_L han de tener una diferencia significativa, pues esa diferencia es con la que deducimos Z_{out} , y queremos reducir el error instrumental al mínimo, así que conviene que sea grande.

UNA FORMA RÁPIDA Y EFICAZ

Una buena forma es buscar una R_L que atenúe V a la mitad, de forma que $V_L = V/2$. Así consigo una atenuación significativa, minimizando el error de medida, y además sé que $R_L = Z_{out}$

No obstante, HAY QUE TENER CUIDADO CON NO DEMANDAR DEMASIADA CORRIENTE, YA QUE:

Es posible que la impedancia de salida Z_{out} sea muy pequeña.

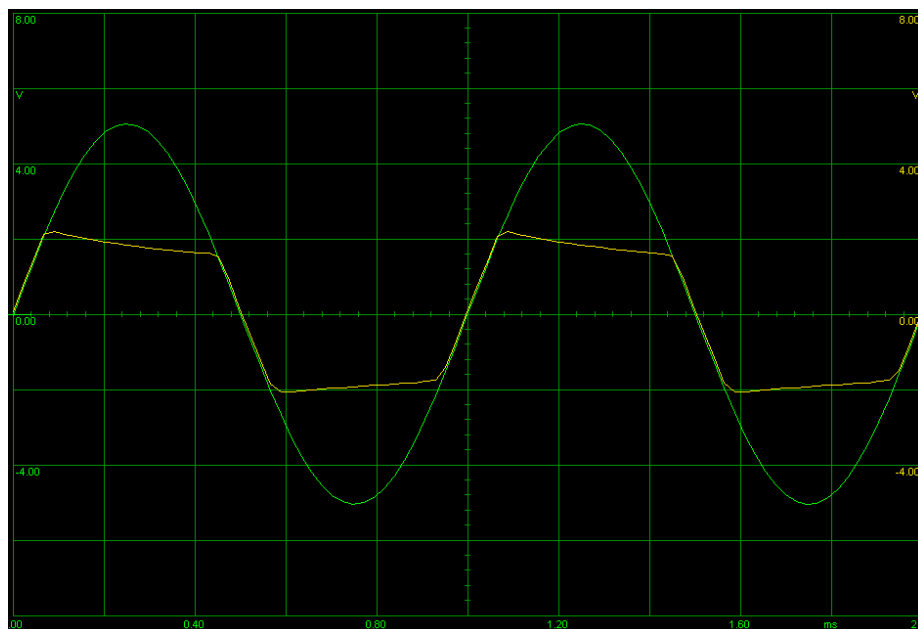
La fuente está proporcionando una intensidad $i = V / (Z_{out} + R_L)$

Para conseguir atenuar visiblemente V_L respecto de V , R_L tiene que ser del orden de Z_{out} .

Si Z_{out} es muy pequeña, la suma de $R_L + Z_{out}$ será pequeña también, y podría demandar una corriente muy grande, que la fuente no podría dar.

Resultado: al ir reduciendo R_L , antes de ver atenuación en V_L respecto de V , lo que vemos es que la onda se empieza a recortar. Esto NO es atenuación debido a que R_L se esté acercando a Z_{out} , sino distorsión por exceso de demanda de corriente.

Ejemplo:



■ fig.18 AMPLIFICADOR OPERACIONAL (SEGUIDOR DE TENSION)
CARGADO CON 60Ω

Si esto ocurre, entonces podemos aprovechar y anotar esa demanda de corriente que hace que la onda se empiece a recortar. Esta corriente será la corriente máxima que la

fuente puede ofrecer.

Para solucionar este caso en el que encontramos antes recorte por exceso de demanda de corriente que atenuación por la impedancia, habrá que reducir la salida de la fuente para no forzar la corriente y así, cuando la carga sea suficientemente pequeña como para poder medir la atenuación y hacer el cálculo, la fuente esté suministrando la corriente esperada, sin recortar.

SI Z VARÍA CON LA FRECUENCIA....

En caso de encontrar que la impedancia de salida de la fuente medida varía con la frecuencia de la señal, anotaré el valor máximo y mínimo de impedancia a lo largo de la banda audible. El valor máximo de Z_{out} causará la mayor atenuación en la transferencia, y el valor mínimo la mínima.

Para cálculos a la hora de acoplar esa fuente a la siguiente etapa consideraré el MÁXIMO valor de impedancia encontrado. Así minimizo el filtrado que podría causar la diferencia de impedancias.

Este filtrado, en el peor de los casos, cumpliendo la relación de interconexión en 19, introduciría un rizado, de como mucho, el 5% (0,45dB).

*Esto es el valor límite teórico del rizado, suponiendo que la variación de impedancia de la fuente sea máxima, es decir, entre 0 y R.

Para conseguir que el rizado de transferencia sea despreciable, y evitar también distorsión por corriente, sobre todo cuando desconozco la impedancia de entrada posterior*, una buena solución puede ser, en caso de tener margen suficiente con las impedancias, colocar una resistencia serie mucho mayor que la de salida de la fuente (y 19 veces menor que la de entrada de la siguiente etapa). De esta forma consigo una impedancia de salida mucho más invariable con la frecuencia.



*Si la etapa posterior tiene una impedancia muy alta, el rizado será pequeño igualmente. En este caso, la resistencia que he colocado sólo está aumentando la impedancia de la línea (haciéndola más susceptible a ruido). A medida que baja esa impedancia, entonces aumentará el filtrado, aunque la resistencia asegura un rizado máximo de 0,45dB (en el límite de una carga menor que $19 * Z_{out}$). En este caso, el precio es que la señal se verá atenuada significativamente (aunque no filtrada).

La relación de 19 entre impedancias entre etapas está justificada en el apartado "cálculos".

4.3 Estudiar la naturaleza de las señales

Ante la necesidad de conocer las características de las señales generadas por los instrumentos, y que se conectarán a la mesa de mezclas, haré un estudio de las propias fuentes con varios modelos a los que tengo acceso, considerándolos una referencia real extrapolable a otros modelos.

4.3.1 Instrumentos con salida pasiva de alta impedancia

Habiendo medido una guitarra eléctrica con pastilla magnética y un violín con fonocaptor piezoeléctrico de la forma descrita en el apartado anterior, obtengo unos valores que tomaré como referencia para los valores que me voy a encontrar:

- Tensión de salida medida: $\sim 0,8V$ (pico)
- Impedancia de salida: $\sim 11,4k\Omega$

4.3.2 Micrófonos dinámicos

De la misma forma, mido dos micrófonos dinámicos.

Micrófono Shure SM58

Micrófono Inside XC

- Tensión de salida (voz humana en tono hablado): $\sim 0,18V$ (pico)
- Impedancia de salida: $\sim 600\Omega$

4.3.3 Instrumentos con salida activa de nivel de línea

Y para señales de línea, mido una guitarra acústica con pastilla piezoeléctrica activa Fishman y un teclado digital Roland RD300GX

- Tensión de salida : $1V$ (pico)
- Impedancia de salida: $\sim 2k\Omega$

4.4 Medir los niveles del amplificador operacional en las condiciones en las que se va a utilizar

Para saber en qué niveles de tensión puedo/debo procesar la señal es necesario saber los niveles máximos de entrada/salida reales de los amplificadores en las condiciones en las que los voy a polarizar ($\pm 12V$). Intentaré utilizarlos en niveles considerables dentro de sus límites, para, de esta forma, conseguir una distorsión de cruce de cero mínima.

CORRIENTE MÁXIMA DE SALIDA

Medida de la forma descrita en el apartado "Método de medición de impedancias de salida (y corriente máxima)"

$$i_{max} = 12,44mA$$

TENSIÓN DE SALIDA MÁXIMA.

Amplificando una señal conocida que no satura la entrada, y medida antes de encontrar distorsión en tensión (controlando que la distorsión no sea por exceso de corriente).

$$V_{outm\acute{a}x} = 4,4V \text{ de pico}$$

TENSIÓN DE ENTRADA MÁXIMA

Enviando una señal gradualmente mayor cada vez desde el amplificador complementario.

$$V_{inmax} = [4,4Vp, 5,4Vp]$$

IMPEDANCIA DE ENTRADA

1000000M Ω (Data sheet)

IMPEDANCIA DE SALIDA

Medida de la forma descrita en "Método de medición de impedancias de salida (y corriente máxima)"

$$Z_{out} = 0,34\Omega$$

4.5 Definir las características de alimentación, entrada y salida de la mesa

De acuerdo a los anteriores resultados, y al material actualmente existente en el mercado, ya que es necesario asegurar que cualquier equipo estándar funcionará correctamente, se establecen las siguientes especificaciones para el diseño.

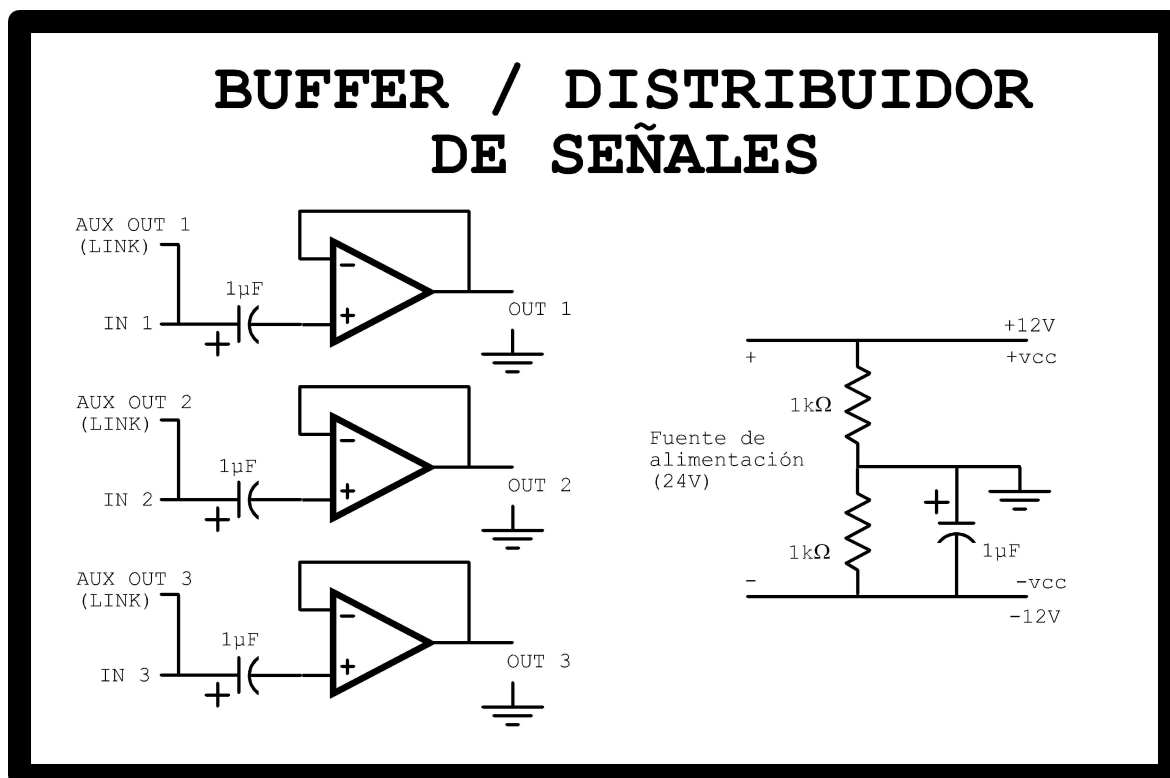
- La entrada de micrófono tendrá una impedancia de entrada de 20kohm
- La entrada de línea tendrá una impedancia de entrada de 40kohm
- La entrada de instrumento tendrá una impedancia de entrada de 200kohm
- La mesa de mezclas ofrecerá un nivel de salida máximo de 5V de pico, con una impedancia de salida de de 600 Ω o menor.
- La alimentación de los amplificadores operacionales se llevará a cabo mediante una fuente de tensión continua de 24V, sin conexión a la tierra de la red eléctrica. Se instalará, en una sección de la mesa, lo más aislado posible del resto de la circuitería (en una jaula de Faraday), un circuito de alimentación que adapte los 24V de tensión continua al formato que requieran los componentes de la mesa (en este caso, amplificadores operacionales modelo TL081/TL084, los cuales requieren alimentación asimétrica entre +-18V).

5. IMPLEMENTACIÓN

5.1 INSTRUMENTACIÓN

5.1.1 BUFFER / DISTRIBUIDOR DE SEÑALES

El buffer se basa en tres seguidores de tensión con una entrada puenteada a otra salida (thru). Al operacional entran a través de un condensador de bloqueo de posibles componentes de continua de $1\mu\text{F}$. Este valor lo he encontrado experimentalmente, al descubrir que el funcionamiento del buffer era muy poco constante, generando ruidos o entregando una salida montada en una tensión sobre la tierra del circuito. Esto se debía a que es una línea muy sensible debido a la alta impedancia. No puedo, no obstante rebajar la impedancia de entrada mediante una resistencia a tierra, ya que entonces perdería la posibilidad de medición. El condensador no afecta a la respuesta, ya que la frecuencia de corte del filtro paso alto generado está en un punto muy bajo.



■ fig.19. Buffer / Distribuidor de señales

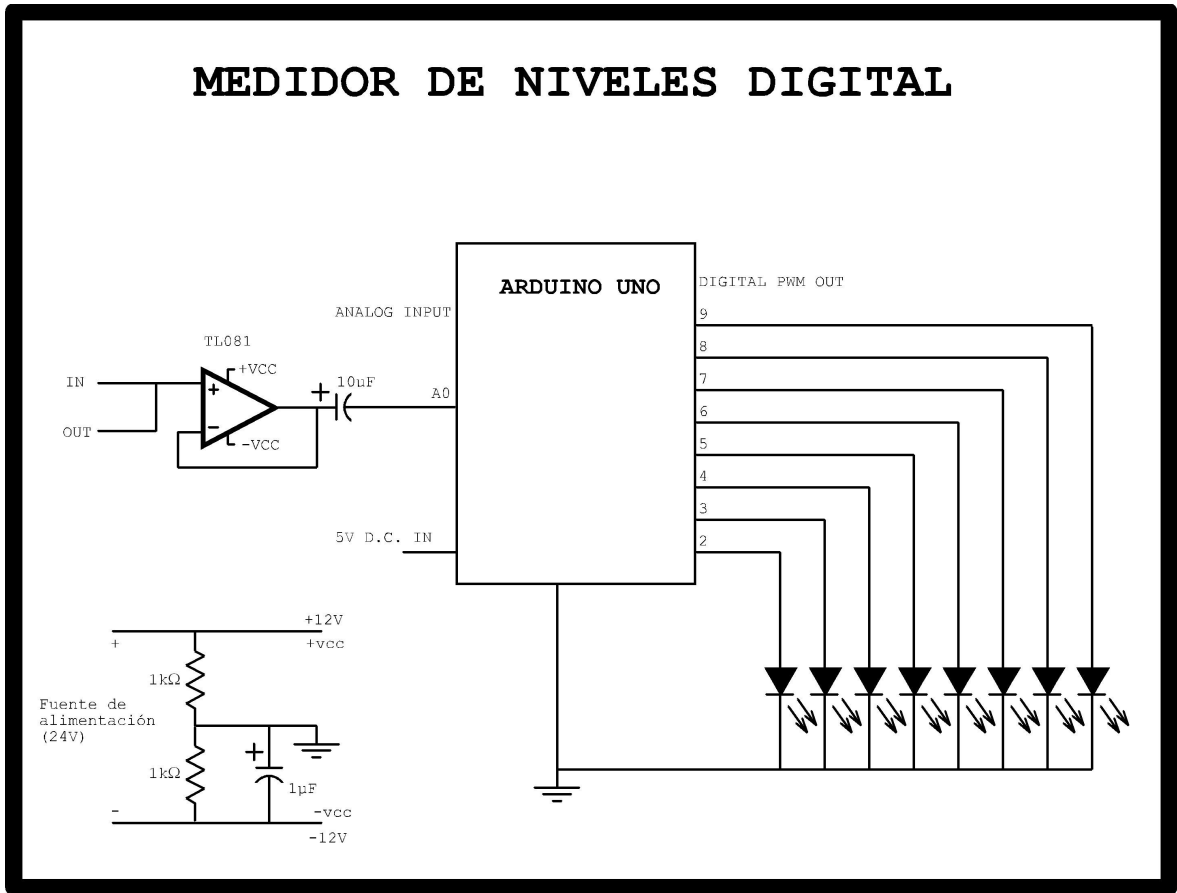
5.1.2 MEDIDOR DIGITAL

El diseño del medidor digital utiliza una placa programable Arduino UNO.

La entrada a la placa se realiza a través de la entrada analógica A0, una vez se buferiza y se filtra la posible componente de continua con un condensador de $10\mu\text{F}$.

Las salidas digitales de 2 a 9 alimentarán directamente los LED indicadores de nivel.

MEDIDOR DE NIVELES DIGITAL



■ fig.20 Medidor de niveles digital

Programa:

```
//MEDIDOR DE SEÑALES DE AUDIO CALIBRADO PARA NIVEL
ESTANDARIZADO DE AUDIO PROFESIONAL (+6dBu)

// INICIALIZACIÓN DE VARIABLES
int luces[] = { 9,8,7,6,5,4,3,2 }; // Vector para
referirse a las salidas asociadas a cada LED
int contador; // Normalmente
vale 0. Cuando la señal alcanza el máximo nivel posible, el
contador se pone a 200

// y se va
incrementando 1 cada vuelta de bucle. Hasta que no valga 0 de
nuevo, el último LED no

// se apagará
(servirá de indicador de que se ha alcanzado o sobrepasado el
nivel máximo)

void setup() {
  Serial.begin(14400);
  for (int n=2; n<=9; n++) {pinMode(n, OUTPUT); } //
Declaramos las salidas digitales desde 2 hasta 9 como salidas
(fila de LEDs)
}
```

```

void loop() {

    int entrada=analogRead(A0)*2.29; // Leemos la entrada
analógica y multiplicamos
    int valor=0;

    if (entrada >= 3      ) {valor=0;}
    if (entrada >= 7      ) {valor=1;}
    if (entrada >= 15     ) {valor=2;}
    if (entrada >= 31     ) {valor=3;}
    if (entrada >= 63     ) {valor=4;}
    if (entrada >= 127    ) {valor=5;}
    if (entrada >= 255    ) {valor=6;}
    if (entrada >= 511    ) {valor=7;}
    if (entrada >= 1023   ) {valor=8;}

    Serial.println(valor);

    for (int n=0; n<7; n++) {
        if (valor>n){ digitalWrite(luces[n],HIGH);}
        if (valor<=n){ digitalWrite(luces[n],LOW);}
    }
    // dejo el led mas alto para lo siguiente:
    // Sólo escribo cuando el contador valga 0. Si vale 0,
    escribo, HIGH or LOW. Si es HIGH, ha saturado, así que subo
    el contador a 100
    // para que se quede con HIGH hasta 100 vueltas de bucle
    más adelante. Resto 1 a contador cada vuelta (siempre que sea
    mayor que 0, claro)
    if (contador==0){
        if (valor>7){ digitalWrite(luces[7],HIGH);}
contador=400;}
        if (valor<=7){ digitalWrite(luces[7],LOW);}
    }

    if (contador>0) {contador=contador-1;}

} // de void loop

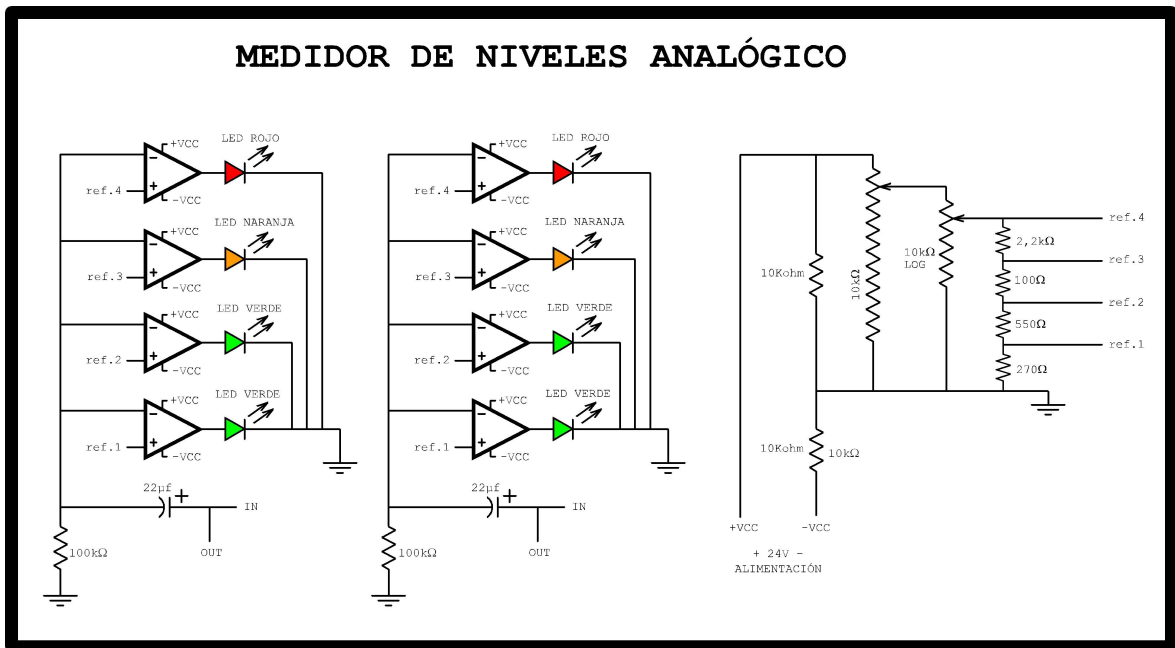
```

5.1.3 MEDIDOR ANALÓGICO

El diseño del medidor se basa en un divisor de tensión con varias resistencias que aseguran la misma relación de tensiones entre los puntos de la rama. Cada punto va conectado a un amplificador operacional que hace de disparador.

Un potenciómetro interno (trimmer) permite ajustar la tensión máxima que se puede

medir, y un potenciómetro externo (accesible desde el exterior) permite reducir ese máximo que se ha fijado internamente, para poder medir señales mucho más pequeñas, ya que cuatro LEDs podría ser un número reducido a la hora de medir señales con un alto rango dinámico.



■ fig.21 Medidor de niveles analógico

Calibración:

Para calibrar el medidor, hay que tener en cuenta que el nivel que excitará el LED naranja será el máximo que se va a poder medir. Se ajustará el *trimmer* hasta que en la entrada de referencia del amplificador operacional correspondiente al LED naranja marque el nivel de tensión máximo que se quiere medir (MAX). Los umbrales de los LED verdes serán, por supuesto, inferiores, y siempre proporcionales, ya que todos se encuentran en la misma rama eléctrica por la que circulará corriente continua constante (la de la fuente de alimentación). Los umbrales, según los valores de resistencias calculados, aseguran la siguiente escala:

- LED naranja - MAX
- LED verde3 - MAX-4dBu
- LED verde2 - MAX-6dBu
- LED verde1 - MAX-12dBu

El trimmer se ajustará de forma que MAX corresponda a +4dBu. De esta forma, la escala será +4dBu, 0dBu, -6dBu, -12dBu. Se harán marcas a lo largo del recorrido del potenciómetro exterior para tener referencias conocidas de otros posibles máximos, y así se podrá medir un amplio rango de amplitudes.

5.2 ETAPAS

- fig.22 Ver, en el apartado “planos”, “Mesa de mezclas analógica; implementación”.

5.2.1 ATENUADOR DE MICRÓFONO (PAD)

El atenuador se basa en un par de resistencias de $100\text{k}\Omega$ que, mediante un conmutador estéreo, se interponen en el camino de las señales hot (en fase) y cold (en contrafase) del micrófono.

Al conmutar se produce una atenuación de 15dB debido al divisor de tensión formado con los $20\text{k}\Omega$ de impedancia de entrada de la etapa siguiente (etapa de desbalanceo),.

Esto es válido para nuestro micrófono, de 600Ω de impedancia de salida, pero no varía el valor de la atenuación aunque el micrófono sea otro, y con otra impedancia de salida, ya que 600Ω es insignificante en comparación con $100\text{k}\Omega$.

5.2.2 ATENUADOR DE LÍNEA (PAD)

El diseño es igual que el atenuador de micrófonos, en este caso, ya que la señal de línea viene sólo por un hilo, sólo es necesario un conmutador y una resistencia de $150\text{k}\Omega$. Con una impedancia de $40\text{k}\Omega$ en la etapa siguiente (preamplificador de línea), se asegura una atenuación de 13dB.

5.2.3 ATENUADOR DE INSTRUMENTO (PAD)

El diseño es igual que el del atenuador de línea. Debido a que ahora esperamos fuentes de mayor impedancia de salida ($11,4\text{k}\Omega$), la resistencia esta vez será de $10\text{M}\Omega$. Con esto, y la impedancia de entrada del preamplificador de instrumento ($200\text{k}\Omega$), se garantizan los 34dB de atenuación.

5.2.4 ETAPA DE DESBALANCEO

La línea invertida de la señal balanceada de micrófono se envía a un seguidor de tensión cargado a tierra con $20\text{k}\Omega$. La línea no invertida se envía a un amplificador inversor de ganancia unidad. Acto seguido se suman ambas salidas mediante dos resistencias de 100Ω . La señal está ahora desbalanceada.

5.2.5 FILTRO DE GRAVES (LOW CUT)

Un conmutador desvía la señal de micrófono hacia una rama en la que se interpone un condensador de $0,5\mu\text{F}$. Las frecuencias agudas, a partir de 159Hz no perciben el condensador, mientras que las graves se ven bloqueadas por él. Para que los 159Hz sean invariables, la etapa siguiente (el preamplificador de micrófono) ha de tener una impedancia de entrada de $2\text{k}\Omega$.

5.2.6 PREAMPLIFICADOR DE MICRÓFONO (GAIN)

Este diseño se basa en un amplificador operacional en configuración inversora.

La rama de realimentación se compone de una resistencia de $2\text{k}\Omega$ y de un potenciómetro logarítmico de $1\text{M}\Omega$. El rango de resistencia variable del potenciómetro permite amplificar la señal desde 0dB hasta 54dB .

5.2.7 PREAMPLIFICADOR DE LÍNEA (GAIN)

De la misma forma que el preamplificador de micrófono, este amplificador permite también un rango de 0dB a 26dB de ganancia mediante una resistencia de entrada de $40\text{k}\Omega$, y una serie de $40\text{k}\Omega$ y $800\text{k}\Omega$ en la rama de realimentación.

5.2.8 PREAMPLIFICADOR DE INSTRUMENTO (GAIN)

Este amplificador tiene un rango de amplificación algo menor, de 0dB a 28dB . La resistencia de entrada es de $200\text{k}\Omega$, y la serie de realimentación de $200\text{k}\Omega$ y $5\text{M}\Omega$. Esto se debe a que las fuentes típicas de alta impedancia (guitarras eléctricas, piezoeléctricos de contacto) no suelen generar señales de niveles muy bajos.

5.2.9 MEDIDOR DE PICO (PEAK)

Desvía la señal hacia un circuito que rectifica la señal mediante dos diodos (habiéndola invertido y replicado previamente por medio de un seguidor de tensión y un inversor) y la manda a un amplificador operacional configurado como disparador, con su referencia tomada en 4.4V (conectados desde el circuito de alimentación). Cuando el valor de pico alcanza los 4.4V , entonces el amplificador operacional genera una corriente continua que excite el LED conectado a su salida, y visible para el usuario, que sabrá que la señal que sale del preamplificador es demasiado alta.

Es necesario entonces bajar la ganancia del preamplificador. En caso de estar ya en 0dB , entonces es ahora cuando se sabe que es momento de activar el atenuador.

Las resistencias de $4,7\text{k}\Omega$ consiguen, junto con la siguiente impedancia de entrada, proteger al preamplificador de saturar por exceso de corriente (412Ω de carga).

5.2.10 ECUALIZADOR (HI, LO)

Dos filtros de primer orden con frecuencia de corte en 1591Hz son enviados a dos seguidores de tensión y acto seguido sumados a lo largo de un potenciómetro lineal en cuyo cursor se tiene, a medida que avanza su recorrido, la señal completa, desde un realce completo de graves y atenuación de agudos hasta un realce completo de agudos y atenuación de graves, pasando por la linealidad en el punto intermedio.



■ fig.22 Ecuador (respuesta plana vs extremos)

5.2.11 CONTROL DE NIVEL (MON)

El control de nivel permite mandar una copia de la señal hacia el sumador de monitores. Es un amplificador inversor con resistencia de realimentación de 20kΩ, y resistencia de entrada de 10kΩ. El rango de ganancias es de -infdB hasta 6dB.

5.2.12 CONTROL DE NIVEL (LEVEL)

El nivel que se controla ahora es el que tendrá el canal en la mezcla principal. Es un amplificador inversor igual que el anterior, con resistencia de realimentación de 33kΩ, y resistencia de entrada de 10kΩ. El rango de ganancias es de -infdB hasta 10dB.

5.2.13 CONTROL DE NIVEL (FX)

Después del control de nivel principal, copio de nuevo la señal, esta vez para enviarla al sumador de efectos. De nuevo un amplificador inversor, esta vez con 1kΩ de impedancia de entrada y 1kohm de realimentación. Esto produce una ganancia 0dB (ya que la señal ya está amplificada por el control LEVEL).

5.2.14 CONTROL DE PANORAMA (PAN)

Este diseño pasivo desvía la señal hacia dos ramas, aislándolas con resistencias de 4,7kohm, y las atenúa complementariamente entre -inf dB y -3,9dB mediante un potenciómetro lineal de 10kohm que las conecta de nuevo, con el cursor en tierra.

Se presenta algo de atenuación en cada canal cuando el potenciómetro está al 50%. Al llevarlo al extremo R, el nivel del canal R aumentará, y el del L disminuirá, de forma que el nivel sonoro producido por la suma (acústica) de las ondas que salen de cada monitor sea constante.

Corroboro con pruebas subjetivas que unos 3dB de atenuación en el centro respecto de los extremos es una diferencia adecuada para no percibir un cambio en el nivel de presión sonora, sino un desplazamiento de L a R.

Los cálculos que me han permitido llegar a los valores de las resistencias se presentan en la hoja de excel "Calculos".

5.2.15 SUMADOR DE ENVÍO A EFECTOS

Tres resistencias de 1,2k Ω suman los tres envíos de canales a efectos.

5.2.16 CONTROL DE NIVEL (FX SEND LEVEL)

Controla el nivel de la suma de efectos enviada a la salida FX SEND (envío a efectos). Se permite una amplificación de -infdB a 3,5dB. También se coloca una resistencia de 600 Ω , para evitar posibles distorsiones por exceso de corriente (en caso de ser un procesador de impedancia de entrada muy baja) o de filtrados indeseados (por la misma razón, además de la irregularidad de la impedancia de salida del operacional).

5.2.17 CONTROL DE NIVEL (FX TO MON.)

Conectado directamente a la entrada de retorno de monitores, este amplificador inversor con resistencia de entrada de 120k Ω y un potenciómetro de realimentación de 470k Ω adapta la impedancia del procesador externo que el usuario habría conectado (desconocida, aunque presumiblemente similar a una señal de línea, de ahí los 120k Ω de las tres etapas a las que se conecta) y permite aún amplificarla unos 12dB para luego añadirse a la suma de monitores, de forma que los músicos puedan escoger cuánto efecto quieren escuchar (independientemente de cuánto efecto quiera escuchar el público).

5.2.18 SUMADOR DE ENVÍO A MONITORES

Una red de cuatro resistencias de 1700 Ω suma los envíos a monitores de los tres canales, más el retorno de efectos (FX TO MON).

5.2.19 CONTROL DE NIVEL (MON LEVEL)

Para enviar la mezcla de monitores definitivamente fuera de la mesa de mezclas, coloco un amplificador inversor que me permita variar la ganancia entre 0dB y 10dB, además de asegurar una impedancia de salida de 600 Ω , para evitar posibles distorsiones por exceso de corriente en el amplificador operacional en caso de conectarse una etapa de muy baja impedancia.

5.2.20 CONTROL DE NIVEL (FX TO MAIN)

Es una etapa doble que forma en realidad las dos terceras partes del "CONTROL DE NIVEL (FX TO MON.)", ya que su función es la misma, pero en vez de enviar el retorno de efectos al sumador de monitores, lo envía al sumador estéreo de la mezcla principal. Los 120k Ω de entrada de cada canal (L/R) son los que consiguen, junto con los 120k Ω del control de nivel FX TO MON, una impedancia de entrada de 40k Ω , adaptada por lo tanto a

una señal de línea (que es lo que espero que venga del procesador externo).

Los 470kohm de realimentación me permiten una ganancia de 12B para la mezcla principal.

5.2.21 SUMADOR L,R

Recibe, en estéreo, las señales procesadas de cada canal, y el retorno de efectos, y los suma mediante una red de resistencias de 100kΩ

5.2.22 CONTROL DE NIVEL (MAIN L, MAIN R)

El último control que se tiene sobre la señal MASTER, una vez procesada, mezclada, y con su retorno de efecto. Mediante un potenciómetro estéreo de 8Mohm y resistencias de entrada de 2Mohm se podrá atenuar por completo la mezcla o darle una última amplificación de 12dB.

5.2.23 MEDIDOR DE NIVEL L,R (LEVEL METER)

Antes de ser enviada al proceso final, el balanceo, se envía la señal a un circuito que no interfiere con ella. Es un circuito medidor.

El diseño del medidor se basa en un divisor de tensión montado en el circuito de alimentación con varias resistencias que aseguran la misma relación de tensiones entre los puntos de la rama. Cada punto va conectado a un amplificador operacional que hace de disparador.

Un potenciómetro interno (trimmer) permite ajustar la tensión máxima que se puede medir, y un potenciómetro externo (accesible desde el exterior) permite reducir ese máximo que se ha fijado internamente, para poder medir señales mucho más pequeñas, ya que cuatro LEDs podría ser un número reducido a la hora de medir señales con un alto rango dinámico.

El valor máximo que marcará el medidor de nivel será el mismo en el que el el medidor PEAK se activará. La mesa de mezclas puede entregar señales hasta esos 4,4V, pero después no tenemos forma de saber lo que está pasando. Si el medidor está por debajo del máximo (LED ROJO), entonces sabemos que no hay saturación dentro de la mesa. Hay que tener en cuenta que el nivel que excitará el LED rojo será el máximo que se va a poder medir. Se ajustará el trimmer hasta que en la entrada de referencia del amplificador operacional correspondiente al LED naranja marque el nivel de tensión máximo que se quiere medir (4,4V). Los umbrales de los LED verdes serán, por supuesto, inferiores, y siempre proporcionales, ya que todos se encuentran en la misma rama eléctrica por la que circulará corriente continua constante (la de la fuente de alimentación). Los umbrales, según los valores de resistencias calculados, aseguran la siguiente escala:

LED ROJO	0dB
LED NARANJA	-4dB
LED VERDE	-6dB
LED VERDE	-12dB

5.2.24 ETAPA DE BALANCEO

La etapa de salida de la mesa. 400Ohm de impedancia de entrada, un amplificador inversor de ganancia unidad y un seguidor de tensión duplican la señal para enviarla a los pines 2 y 3 de los conectores XLR de salida. Conecto dos resistencias serie de 600ohm a la salida, de esta forma aseguro una impedancia de salida estándar y estable.

6. MEDICIONES, CÁLCULOS Y DECISIONES

6.1 DECISIÓN DE LAS IMPEDANCIAS DE INTERCONEXIÓN

La impedancia de entrada de una etapa, tiene que cumplir ciertos objetivos:

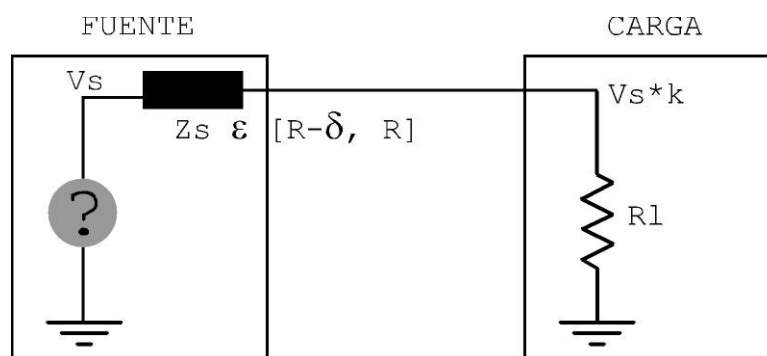
I. La impedancia de entrada ha de ser lo más pequeña posible, ya que así será menos propensa a radiación electromagnética externa que induzca variaciones de tensión (cuanto mayor sea la impedancia, más fácil será que campos externos generen variaciones de tensión).

El extremo ideal que garantizaría la ausencia total de ruidos de interferencias sería 0Ω , aunque es un ideal absurdo, ya que implicaría también la ausencia de señal transferida, al haber caído toda la tensión en la etapa anterior.

II. Para una buena transferencia de la tensión de salida de la etapa anterior, la impedancia de entrada ha de ser lo mayor posible respecto a la impedancia de salida anterior. Cuanto mayor sea esta relación, mayor será la transmisión de tensión.

Desde este punto de vista, infinito sería un valor que garantizaría el 100% de transmisión.

III. Se ha de asegurar que la transferencia sea neutra, es decir, que la interconexión no provoque diferencias en la transmisión de unas frecuencias respecto a otras. Esto sucede cuando la impedancia de salida de la etapa anterior varía con la frecuencia.



■ fig. 23 VARIACIONES EN EL COEFICIENTE DE TRANSMISION DEBIDO A VARIACIONES EN LA IMPEDANCIA DE SALIDA

Z_s - impedancia de salida de la fuente (desconocida)
 k - coeficiente de transmisión de tensión
 Δk - desviación máxima en el coeficiente de transmisión
 δ - desviación máxima de la impedancia de salida

$$Z_s \in [R-\delta, R]$$

$$k \in [R_1 / (R_1 + R), R_1 / (R_1 + R - \delta)]$$

$$\Delta k = R_1 / (R_1 + R - \delta) - R_1 / (R_1 + R)$$

Con una impedancia variable con la frecuencia, variaciones de impedancia de salida en la etapa anterior generarán variaciones pequeñas en el coeficiente de transferencia, y, por lo tanto, un filtrado indeseado.

Para que las variaciones del coeficiente de transferencia sea mínimo ayuda que:

- La resistencia de entrada sea lo mayor posible.
- Que las variaciones de impedancia de salida δ sean lo menores posible respecto de $R_1 + R$

Siguiendo los objetivos II, y III (transferencia máxima y filtrado mínimo), la mejor estrategia de diseño vendría por tender a fijar resistencias de entrada lo mayores posible.

El objetivo I (poca sensibilidad a ruidos) es el contrapunto de los beneficios de tender a unas impedancias de entrada lo mayores posibles.

Conclusión: buscaré impedancias de entrada altas, pero sólo lo suficiente como para poder cumplir al límite los objetivos II y III. Es decir; definiré un valor de pérdidas y rizado máximo que me puedo permitir entre etapa y etapa, y calcularé, para conseguir cumplir dicho valor, la resistencia de entrada según la impedancia de salida de la etapa anterior.

Consideraré aceptable una transferencia con rizado o pérdidas de hasta 0,4dB de señal. Esto equivaldría a un coeficiente de transferencia de 0,95.

$$0,95 \geq R_1 / (Z_s + R_1)$$

$$R_1 \geq 19 * R_s$$

Por lo tanto, con una impedancia de entrada de 19 veces la de la etapa anterior, y una impedancia de salida lo más pequeña posible, estaré en un punto intermedio con los tres objetivo (buena transferencia, minimización de variaciones de transferencia, y minimización de interferencias).

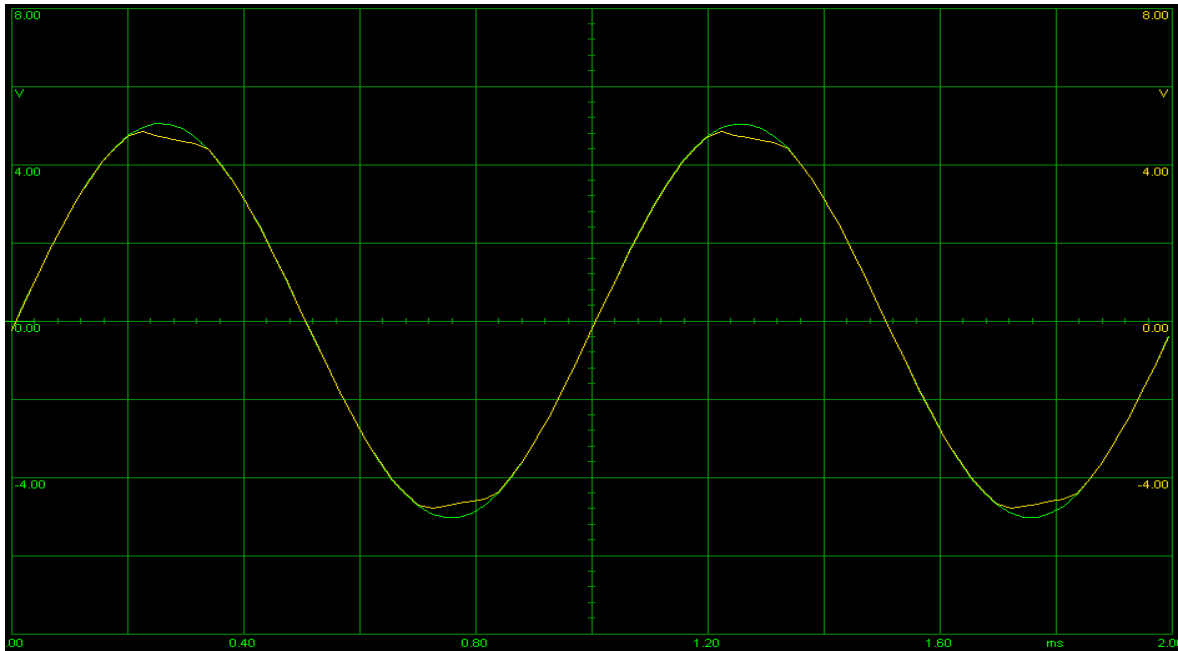
Quedará al diseño de cada etapa concreta el que la diferencia de impedancias de salida

(δ) sea significativamente pequeña comparada con la suma de impedancias de salida y entrada. En caso de no serlo, y de acusar efectos de filtrado, se aumentará el valor de la impedancia de entrada más de 19.

Una última circunstancia que puede darse es que, ante una salida de impedancia muy baja, no convenga diseñar una etapa posterior ajustada a 19 veces mayor, ya que podría ser pequeña aún y demandar demasiada corriente de la fuente. En caso de manejar tensiones altas, se podría saturar la fuente. Convendría escoger valores más altos (relativos a niveles de corriente seguros).

6.2 MEDICIÓN DE LA CORRIENTE DE SALIDA MÁXIMA DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL.

Con la siguiente configuración obtengo el nivel al cual el operacional deja de ser capaz de entregar corriente a la fuente:



■ fig. 24 Medición de la corriente de salida máxima del amplificador operacional (carga 200ohm, excesiva)

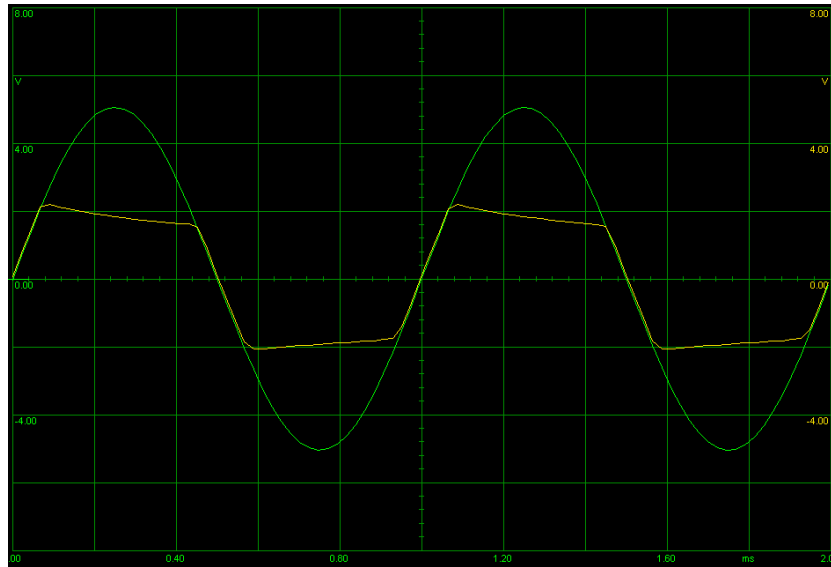
Puedo forzar R_I hasta los 238Ω , sin apreciar distorsión en la salida, a partir ahí, resistencias menores provocarán que la salida se vea truncada, ya que el amplificador está dentro de su capacidad de entregar corriente. A partir de ahí, para valores menores, la salida se ve truncada, debido a exceso de corriente demandada.

Esta corriente límite es:

$$i_{\text{máxima}} = 5V/238\Omega = 21\text{mA}$$

No obstante, el valor de resistencia de 238Ω no es absoluto, sino que va emparejado con la tensión que se esté demandando. Si la tensión fuera menor, entonces el amplificador sí que podría alimentar cargas de menos de 238Ω .

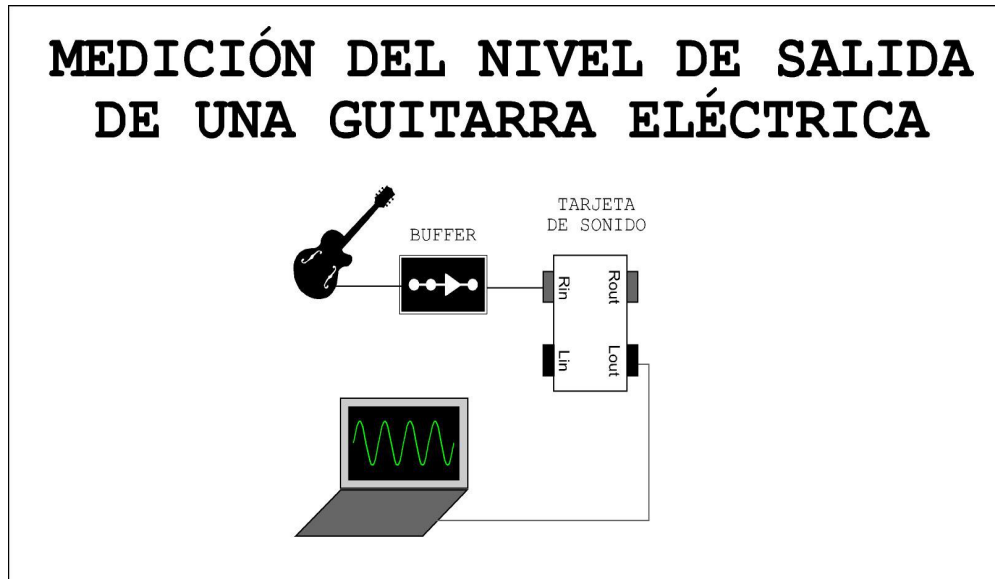
Consideraré 238Ω un valor límite de impedancia de entrada de una etapa precedida por una salida con amplificador operacional si los niveles de señal que espero en esa salida están cercanos a los 5V.



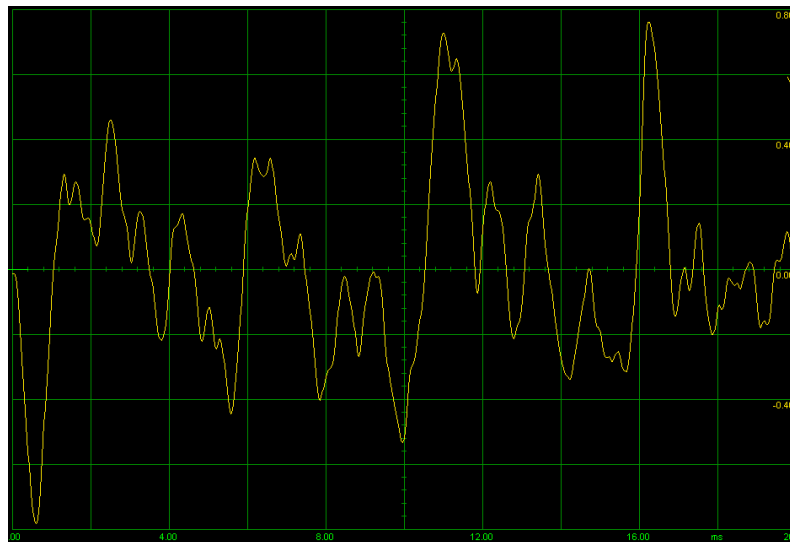
■ fig. 25 Medicion de corriente maxima TL084 (carga 60Ω , muy excesiva)

6.3 MEDICIÓN DE LA IMPEDANCIA DE SALIDA DE LA GUITARRA ELÉCTRICA

Medición del nivel:



■ fig.26 MEDICIÓN DEL NIVEL DE SALIDA DE LA GUITARRA ELÉCTRICA

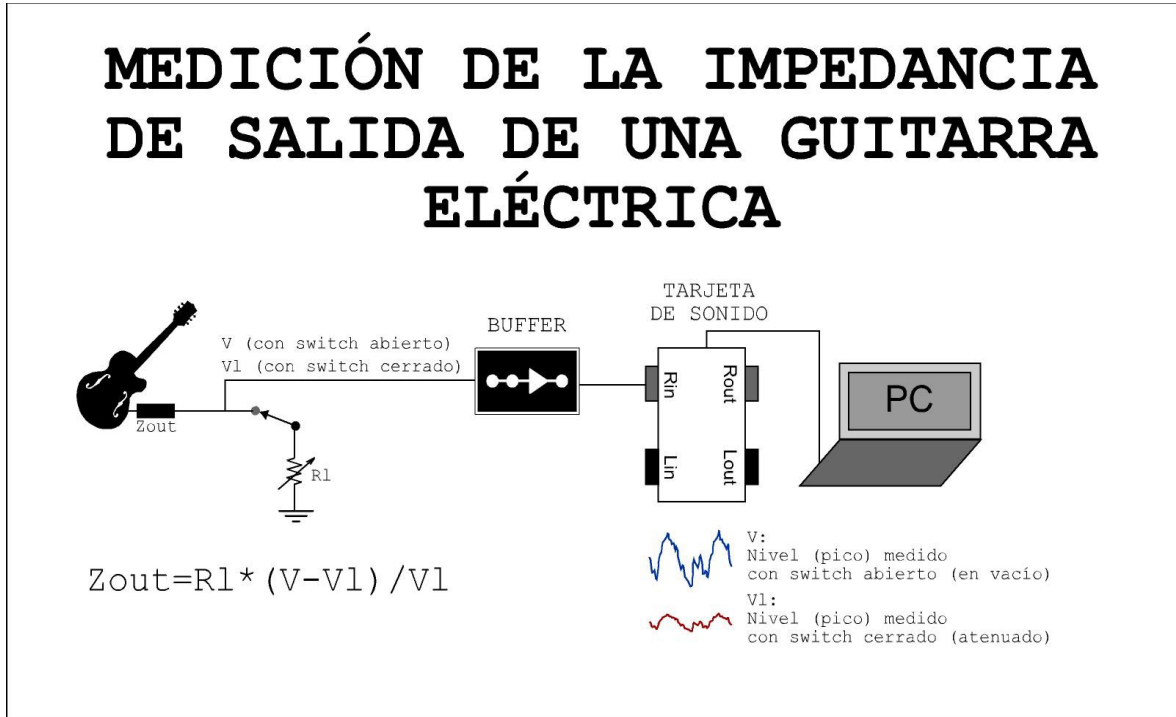


■ fig.27 MEDICIÓN DEL NIVEL DE LA GUITARRA ELÉCTRICA

Nivel obtenido: 0,8V (pico)

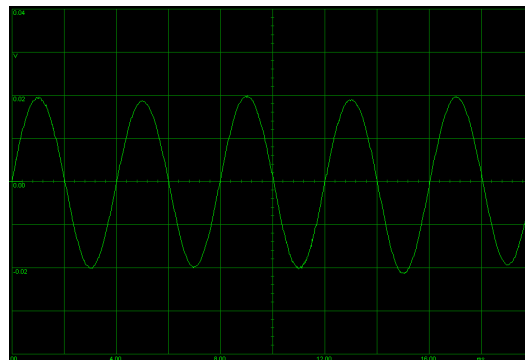
Medición de la impedancia:

Para calcular la impedancia de salida de la guitarra sigo el procedimiento descrito en el apartado de medición de impedancias:



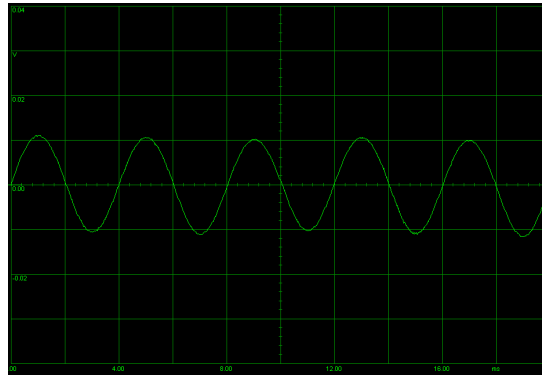
■ fig.28 MEDICION DE IMPEDANCIAS DE SALIDA DE UNA GUITARRA ELÉCTRICA

Fuerzo a la guitarra a generar una señal senoidal excitándola con un altavoz que hace que sus cuerdas vibren por simpatía. Mido, sin conectar el potenciómetro (de $1M\Omega$), la salida. Ahora conecto el potenciómetro (en el valor inicial de $1M\Omega$, no hay atenuación, claro) y voy variándolo. No encuentro reducción o cambio visible de la señal hasta llegar a los $56,7k\Omega$:



■ fig.29 MEDICION IMPEDANCIA GUITARRA ELECTRICA I (250HZ, R ENTRE $1M\Omega$ Y $56,7K\Omega$)

A partir de ahí, la señal se empieza a reducir. Varío el potenciómetro hasta conseguir una reducción de la mitad. El potenciómetro vale $4,11\text{k}\Omega$ en este punto:



■ fig.30 MEDICION IMPEDANCIA GUITARRA ELECTRICA II (250HZ, $R=4,11\text{k}\Omega$)

Esos $4,11\text{k}\Omega$ se corresponden con la impedancia de salida de la guitarra eléctrica a 250Hz.

Lo que, contrastándolo con las dos mediciones anteriores, corrobora que en $56,7\text{k}\Omega$, el valor de potenciómetro en el que empiezo a apreciar la pérdida de señal, transferencia teórica es de 0,93. A partir de ahí, ya empieza a ser notable la disminución de nivel.

Repito la medición en varias frecuencias, y veo que hay irregularidad en los resultados. El valor mayor de impedancia de salida lo encuentro en 10kHz, de $7,5\text{k}\Omega$.

Por lo tanto, la pastilla pasiva tiene variaciones en la impedancia de salida, entre $4,11\text{k}\Omega$ y $7,5\text{k}\Omega$, con tendencia a ser mayor en agudos.

Empleo el mismo procedimiento para el fonocaptor piezoeléctrico del violín. En este caso obtengo un valor de impedancia máxima de $11,4\text{k}\Omega$.

6.4 CÁLCULOS DE COMPONENTES GLOBAL:

Debido a ser un ajuste multidireccional, en el que se requiere máxima flexibilidad a la hora de recalculer los componentes, he realizado el cálculo final de componentes ayudándome de la hoja de cálculo Excell "Calculo de componentes global".

6.4.1 CANAL DE MICRÓFONO

CANAL DE MICRÓFONO		
ATENUADOR DE MICRÓFONO	Rout micrófono	600
	Ratenuador	100000
	Rcarga (siguiente etapa)	20000
	ATENUACIÓN (coef.) = Rcarga/ (Rout+Ratenuador+Rcarga)	0,17
ETAPA DE DESBALANCEO	GANANCIA (dB)	-15,61
	GANANCIA (dB)	-6
FILTRO DE GRAVES	Condensador	0
	Rin etapa siguiente (preamplificador de micrófono)	2000
PREAMPLIFICADOR DE MICRÓFONO	Fcorte = $1/(2*PI*C*R)$	159,15
	R1	2000
	R2	1002000
	Ganancia (coef)	501
ECUALIZADOR	GANANCIA (dB)	54
	Condensador	0,000001
	R	100
	Fcorte = $1/(2*PI*C*R)$	1591,55
CONTROL DE NIVEL MON	Pérdidas en posición central (dB)	-6
	Pérdidas en posición central (coef)	0,5
	R1	10000
	R2	20000
SUMADOR DE MONITORES	Ganancia (coef)	2
	GANANCIA (dB)	6,02
	Ganancia (coef)	0,25
CONTROL DE NIVEL MON LEVEL OUT	GANANCIA (dB)	-12,04
	R1	10000
	R2	33000
	Ganancia (coef)	3,3
CONTROL DE NIVEL	GANANCIA (dB)	10,37
	R1	10000
	R2	33000
CONTROL DE NIVEL FX	Ganancia (coef)	3,3
	GANANCIA (dB)	10,37
	R1	1000
SUMADOR FX	R2	1000
	Ganancia (coef)	1
	GANANCIA (dB)	0
	Ganancia (coef)	0,33
CONTROL DE NIVEL FX SEND OUT	GANANCIA (dB)	-9,63
	R1	10000
	R2	15000
	Ganancia (coef)	1,5
CONTROL DE PANORAMA	GANANCIA (dB)	3,52
	Atenuación (dB)	-6
	Atenuación (coef.)	0,5
SUMADOR	Atenuación (coef)	0,25
	Atenuación (dB)	-12,04
	R1	2000000
CONTROL DE NIVEL MASTER	R2	8000000
	Ganancia (coef)	4
	GANANCIA (dB)	12,04
GANANCIA TOTAL MÁXIMA DEL CANAL (EN LA SALIDA DE MON)		46,35
GANANCIA TOTAL MÁXIMA DEL CANAL (EN LA SALIDA DE FX)		46,26
GANANCIA TOTAL MÁXIMA CANAL DE MICRÓFONO		46,37

6.4.2 CANAL DE LÍNEA

CANAL DE LÍNEA			
ATENUADOR DE LÍNEA	Rout	2000	
	Ratenuador	150000	
	Rcarga (siguiente etapa)	40000	
	ATENUACIÓN (coef.) = $Rcarga / (Rout + Ratenuador + Rcarga)$	0,21	
PREAMPLIFICADOR DE LÍNEA	GANANCIA (dB)	-13,62	
	R1	40000	
	R2	840000	
	Ganancia (coef)	21	
ECUALIZADOR	Ganancia (dB)	26,44	
	Condensador	0,000001	
	R	100	
	Fcorte = $1 / (2 * \pi * C * R)$	1591,55	
CONTROL DE NIVEL MON	Pérdidas en posición central (dB)	-6	
	Pérdidas en posición central (coef)	0,5	
	R1	10000	
	R2	20000	
SUMADOR DE MONITORES	Ganancia (coef)	2	
	Ganancia (dB)	6,02	
	Ganancia (coef)	0,25	
	Ganancia (dB)	-12,04	
CONTROL DE NIVEL MON LEVEL OUT	R1	10000	
	R2	33000	
	Ganancia (coef)	3,3	
	Ganancia (dB)	10,37	
CONTROL DE NIVEL	R1	10000	
	R2	33000	
	Ganancia (coef)	3,3	
	Ganancia (dB)	10,37	
CONTROL DE NIVEL FX	R1	1000	
	R2	1000	
	Ganancia (coef)	1	
	Ganancia (dB)	0	
SUMADOR FX	Ganancia (coef)	0,33	
	Ganancia (dB)	-9,63	
	R1	10000	
	R2	15000	
CONTROL DE NIVEL FX SEND OUT	Ganancia (coef)	1,5	
	Ganancia (dB)	3,52	
	Atenuación (dB)	-6	
	Atenuación (coef.)	0,5	
CONTROL DE PANORAMA	Atenuación (coef)	0,25	
	Atenuación (dB)	-12,04	
	R1	2000000	
	R2	8000000	
SUMADOR	Ganancia (coef)	4	
	Ganancia (dB)	12,04	
	GANANCIA TOTAL MÁXIMA DEL CANAL (EN EL SUMADOR DE MON)		24,79
	GANANCIA TOTAL MÁXIMA DEL CANAL (EN EL SUMADOR DE FX)		24,71
GANANCIA TOTAL MÁXIMA CANAL DE LÍNEA		24,81	

6.4.3 CANAL DE INSTRUMENTO

CANAL DE INSTRUMENTO

ATENUADOR DE INSTRUMENTO	Rout	11400	
	Ratenuador	10000000	
	Rcarga (siguiente etapa)	200000	
	ATENUACIÓN (coef.) = $Rcarga / (Rout + Ratenuador + Rcarga)$	0,02	
	GANANCIA (dB)	-34,16	
PREAMPLIFICADOR DE INSTRUMENTO	R1	200000	
	R2	5200000	
	Ganancia (coef)	26	
	Ganancia (dB)	28,3	
ECUALIZADOR	Condensador	0,000001	
	R	100	
	$F_{corte} = 1 / (2 * \pi * C * R)$	1591,55	
	Pérdidas en posición central (dB)	-6	
	Pérdidas en posición central (coef)	0,5	
CONTROL DE NIVEL MON	R1	10000	
	R2	20000	
	Ganancia (coef)	2	
	Ganancia (dB)	6,02	
SUMADOR DE MONITORES	Ganancia (coef)	0,25	
	Ganancia (dB)	-12,04	
CONTROL DE NIVEL MON LEVEL OUT	R1	10000	
	R2	33000	
	Ganancia (coef)	3,3	
	Ganancia (dB)	10,37	
CONTROL DE NIVEL	R1	10000	
	R2	33000	
	Ganancia (coef)	3,3	
	Ganancia (dB)	10,37	
CONTROL DE NIVEL FX	R1	1000	
	R2	1000	
	Ganancia (coef)	1	
	Ganancia (dB)	0	
SUMADOR FX	Ganancia (coef)	0,33	
	Ganancia (dB)	-9,63	
CONTROL DE NIVEL FX SEND OUT	R1	10000	
	R2	15000	
	Ganancia (coef)	1,5	
	Ganancia (dB)	3,52	
CONTROL DE PANORAMA	Atenuación (dB)	-6	
	Atenuación (coef.)	0,5	
	SUMADOR	Atenuación (coef)	0,25
	Atenuación (dB)	-12,04	
CONTROL DE NIVEL MASTER	R1	2000000	
	R2	8000000	
	Ganancia (coef)	4	
	Ganancia (dB)	12,04	
GANANCIA TOTAL MÁXIMA DEL CANAL (SALIDA MON)		26,65	
GANANCIA TOTAL MÁXIMA DEL CANAL SALIDA FX		26,56	
GANANCIA TOTAL MÁXIMA CANAL DE INSTRUMENTO		26,67	

6.5 CÁLCULO DE LOS COMPONENTES DEL CIRCUITO DE PANORAMA PARA OBTENER UNA RESPUESTA SUAVE A LO LARGO DEL RECORRIDO (valores buscados y acotados por medio de la escucha)

ETAPAS CONTIGUAS		CIRCUITO EN SÍ		CONDICIONES				RISTRAS				
IMPEDANCIA DE SALIDA DE LA FUENTE (ETAPA ANTERIOR)	IMPEDANCIA DE ENTRADA DE CADA CANAL CARGA (ETAPA POSTERIOR)	RESISTENCIA SERIE (CADA UNA)	POTENCIÓMETRO	POSICIÓN DEL CURSOR DEL POTENCIÓMETRO (%)	% sin llegar a los extremos	coeficiente	TENSIÓN EN LA FUENTE	A (valor de la resistencia A, depende de dónde esté el cursor del potenciómetro)	B (valor de la resistencia B, depende de dónde esté el cursor del potenciómetro)	R1 (resistencia de la rama R1)	R2 (resistencia de la rama R2)	Rtot resistencia total con la que se enfrenta la fuente (incluida la suya propia)
100	100000	4700	10000	0	0	0,00	1	0	10000	4700	13791	3605
100	100000	4700	10000	1	1	0,01	1	100	9900	4800	13708	3655
100	100000	4700	10000	2	2	0,02	1	200	9800	4900	13625	3704
100	100000	4700	10000	3	3	0,03	1	300	9700	4999	13542	3751
100	100000	4700	10000	4	4	0,04	1	400	9600	5098	13459	3798
100	100000	4700	10000	5	5	0,05	1	500	9500	5198	13376	3843
100	100000	4700	10000	6	6	0,06	1	600	9400	5296	13292	3887
100	100000	4700	10000	7	7	0,07	1	700	9300	5395	13209	3931
100	100000	4700	10000	8	8	0,08	1	800	9200	5494	13125	3973
100	100000	4700	10000	9	9	0,09	1	900	9100	5592	13041	4014
100	100000	4700	10000	10	10	0,10	1	1000	9000	5690	12957	4054
100	100000	4700	10000	11	11	0,11	1	1100	8900	5788	12873	4093
100	100000	4700	10000	12	12	0,12	1	1200	8800	5886	12788	4131
100	100000	4700	10000	13	13	0,13	1	1300	8700	5983	12704	4168
100	100000	4700	10000	14	14	0,14	1	1400	8600	6081	12619	4203
100	100000	4700	10000	15	15	0,15	1	1500	8500	6178	12534	4238
100	100000	4700	10000	16	16	0,16	1	1600	8400	6275	12449	4272

i (intensidad total que se le pide a la fuente mono)	VL (tensión en carga izquierda) (dB)	VR (tensión en carga derecha) (dB)	ATENUACIÓN DE LA SEÑAL EN EL CANAL L (DEPENDE DE LA POSICIÓN DEL CURSOR)				ATENUACIÓN DE LA SEÑAL EN EL CANAL R (DEPENDE DE LA POSICIÓN DEL CURSOR)				ATENUACIÓN QUE TENDRÍAMOS SI NO ESTUVIERA EL CIRCUITO DE PANORAMA	ATENUACIÓN QUE INTRODUCE EL CIRCUITO DE PANORAMA
			razón (%)	dB	razón (%)	dB	razón (%)	dB				
0	0,00	-173,69	0,64	-3,86	1,00	0,0	-173,7	0,36	64,1	-3,9	-0,02	-6,2
0	0,02	-33,87	0,64	-3,89	0,98	2,0	-33,9	0,36	63,9	-3,9		
0	0,04	-28,04	0,64	-3,91	0,96	4,0	-28,0	0,36	63,7	-3,9		
0	0,06	-24,70	0,64	-3,94	0,94	5,8	-24,7	0,36	63,6	-3,9		
0	0,08	-22,37	0,63	-3,96	0,92	7,6	-22,4	0,37	63,4	-4,0		
0	0,09	-20,61	0,63	-3,99	0,91	9,3	-20,6	0,37	63,2	-4,0		
0	0,11	-19,19	0,63	-4,02	0,89	11,0	-19,2	0,37	63,0	-4,0		
0	0,13	-18,02	0,63	-4,04	0,87	12,6	-18,0	0,37	62,8	-4,0		
0	0,14	-17,03	0,63	-4,07	0,86	14,1	-17,0	0,37	62,6	-4,1		
0	0,16	-16,16	0,62	-4,10	0,84	15,6	-16,2	0,38	62,4	-4,1		
0	0,17	-15,41	0,62	-4,13	0,83	17,0	-15,4	0,38	62,2	-4,1		
0	0,18	-14,73	0,62	-4,16	0,82	18,3	-14,7	0,38	61,9	-4,2		
0	0,20	-14,13	0,62	-4,19	0,80	19,7	-14,1	0,38	61,7	-4,2		
0	0,21	-13,58	0,61	-4,22	0,79	20,9	-13,6	0,39	61,5	-4,2		

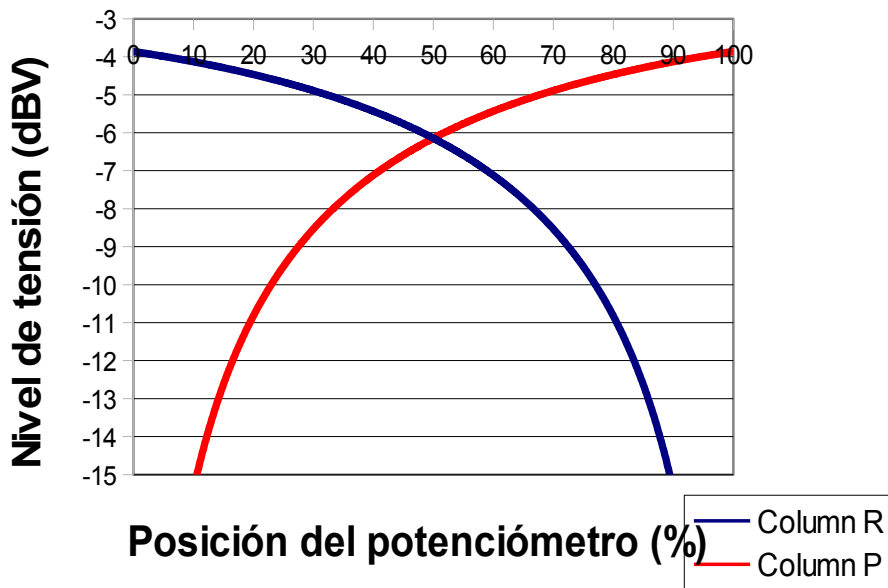
MAXIMA ATENUACIÓN 113,7

ATENUACION MEDIA 6,1

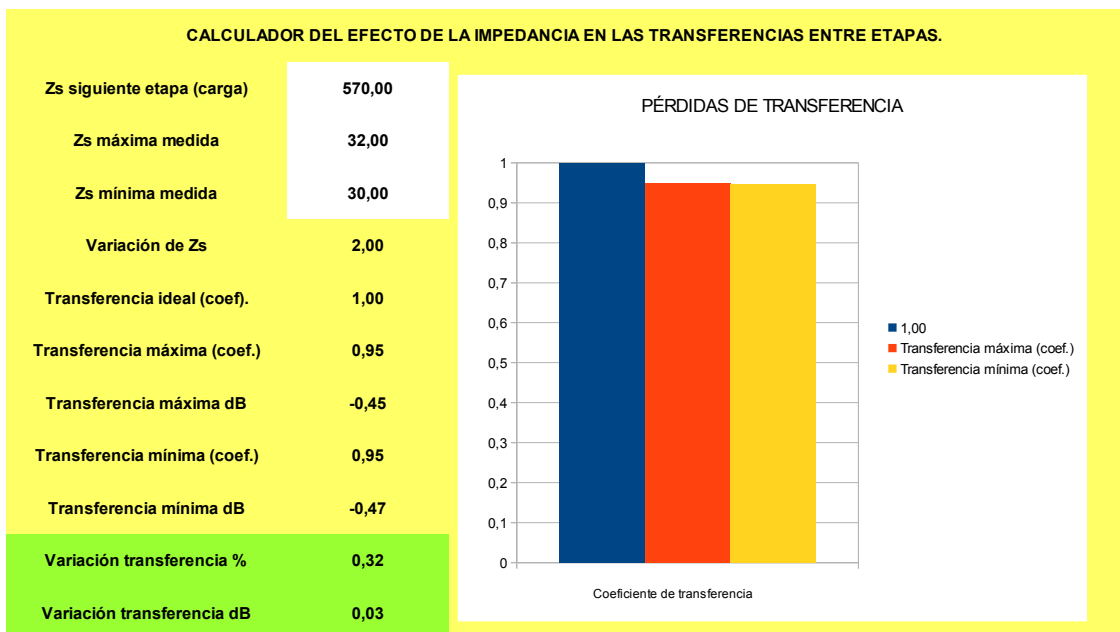
MINIMA ATENUACIÓN 3,9

DIFERENCIA 2,3

NIVELES DE CADA CANAL EN FUNCIÓN DEL POT. (Vin=0dB) [Rfuente=100ohm, Rserie=4,7kohm, Pot=10kohm, Rcarga=100kohm]



6.6 CALCULO DEL EFECTO GENERADO AL INTERCONECTAR DOS ETAPAS DEBEIDO A LA IMPEDANCIA



7. PLANOS

(VER ARCHIVOS ADJUNTOS)

- Mesa de mezclas (exterior)

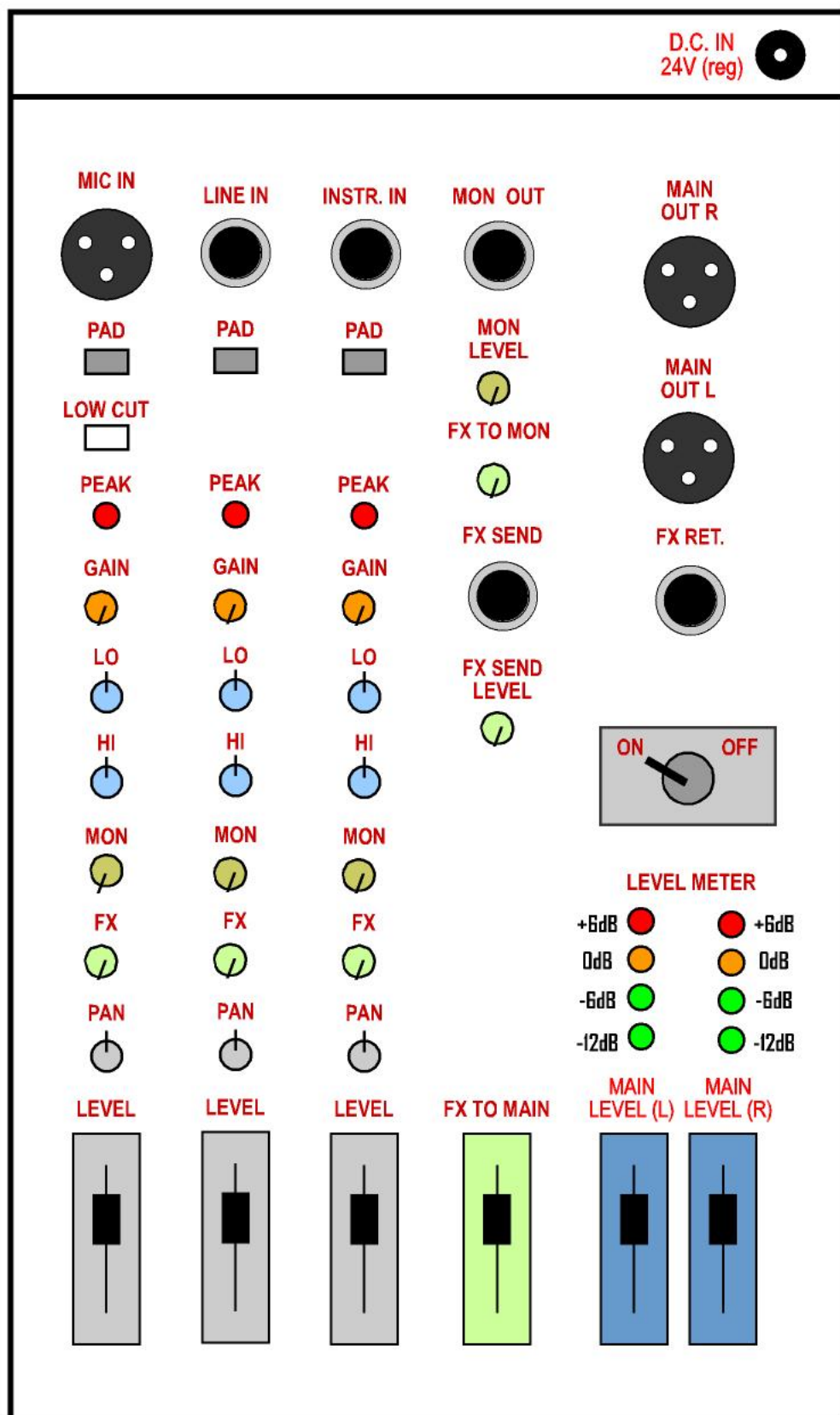
- Diseño alto nivel (diagrama de bloques)

- Mesa de mezclas analogica - Implementacion de las etapas

- Medidor de niveles digital

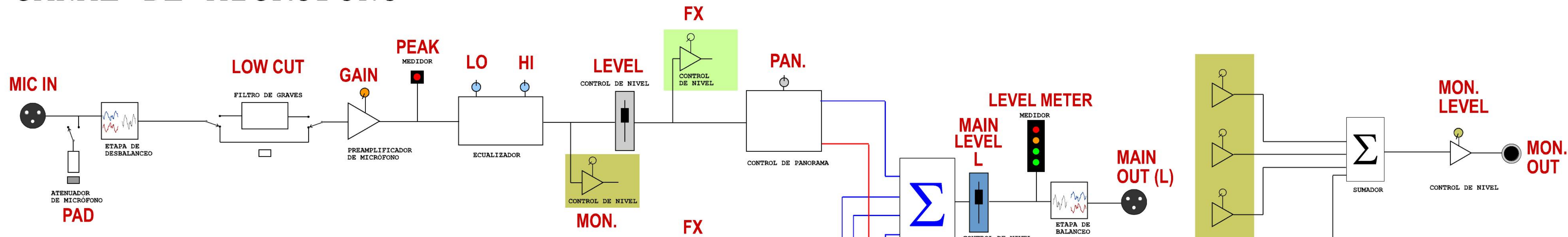
- Medidor de niveles analogico

MESA DE MEZCLAS (EXTERIOR)

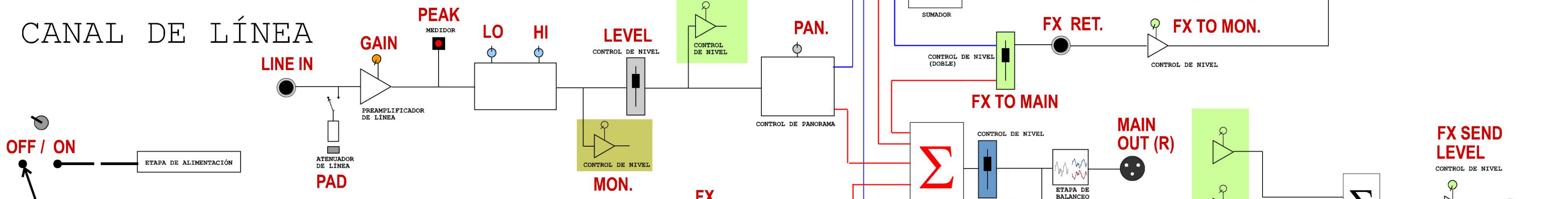


DISEÑO ALTO NIVEL

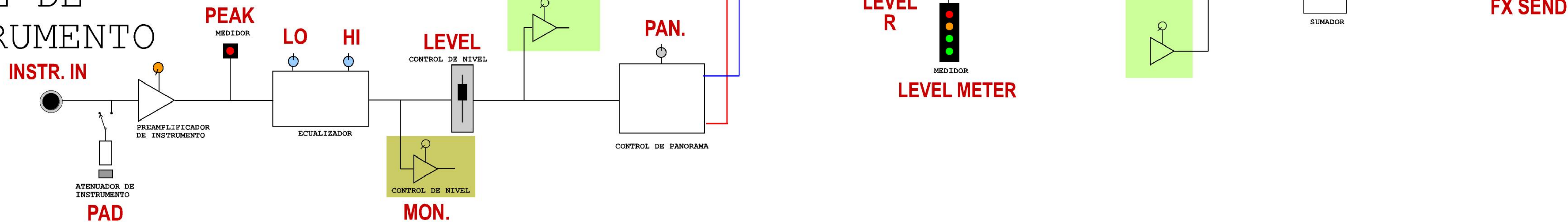
CANAL DE MICRÓFONO



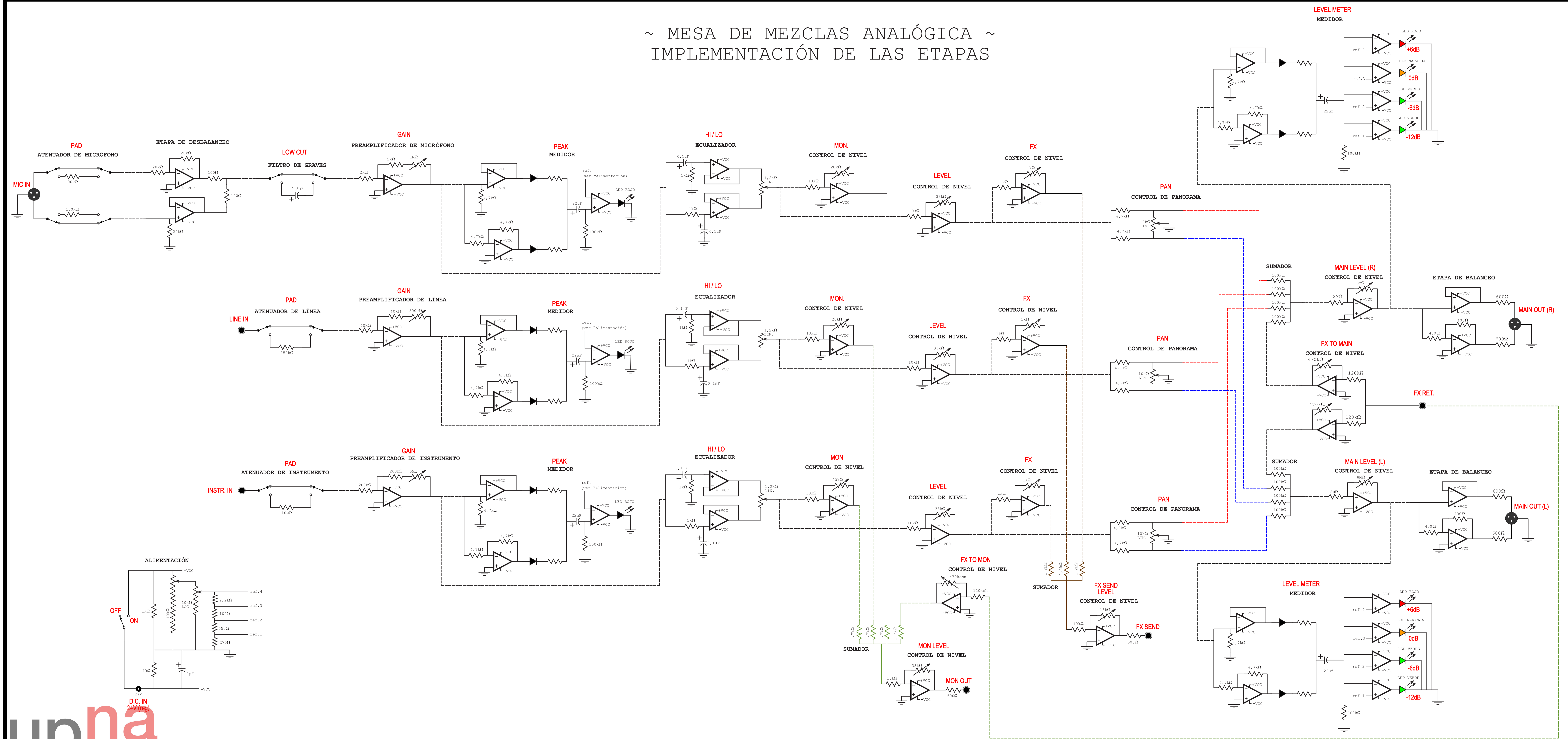
CANAL DE LÍNEA



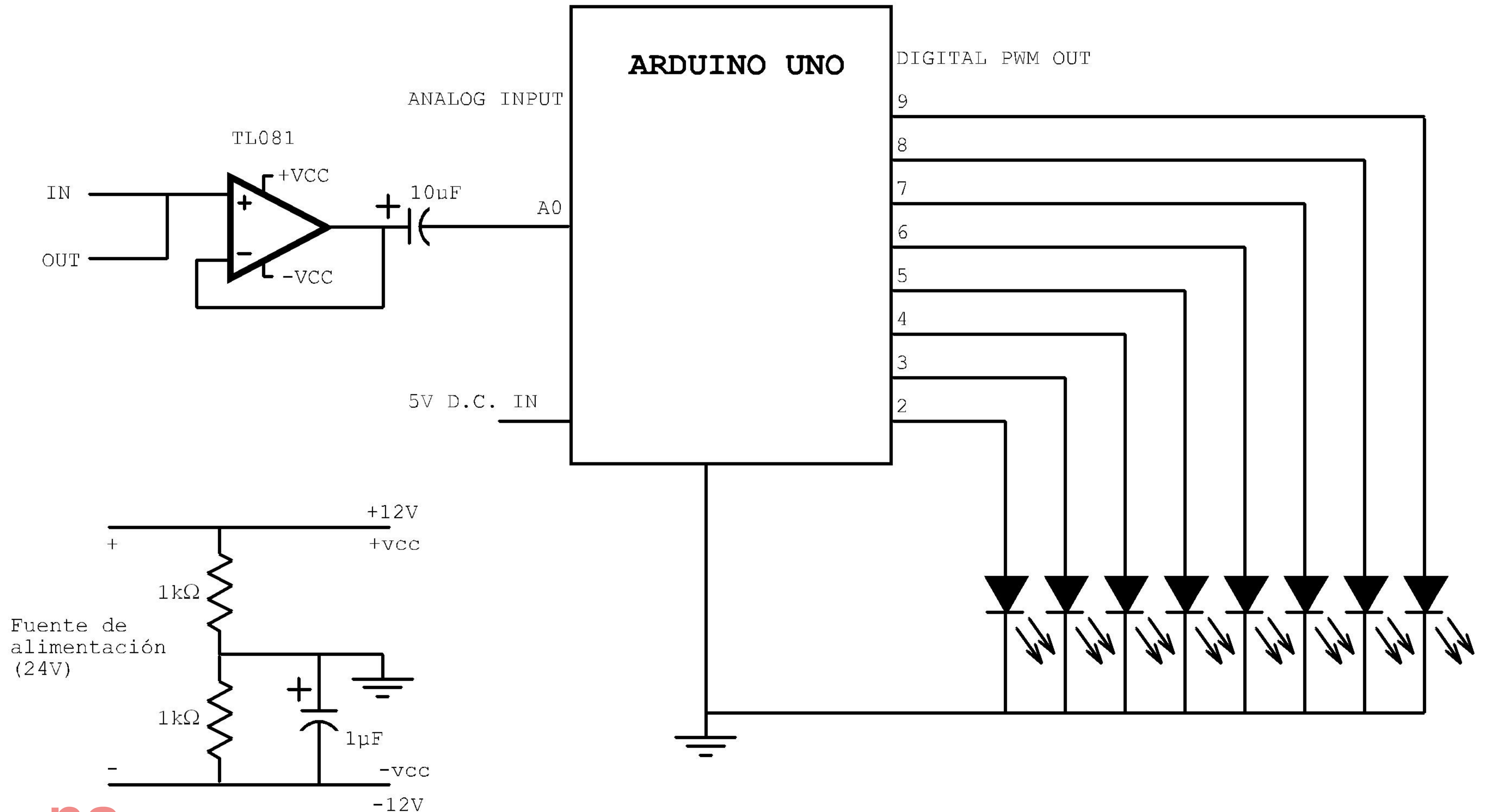
CANAL DE INSTRUMENTO



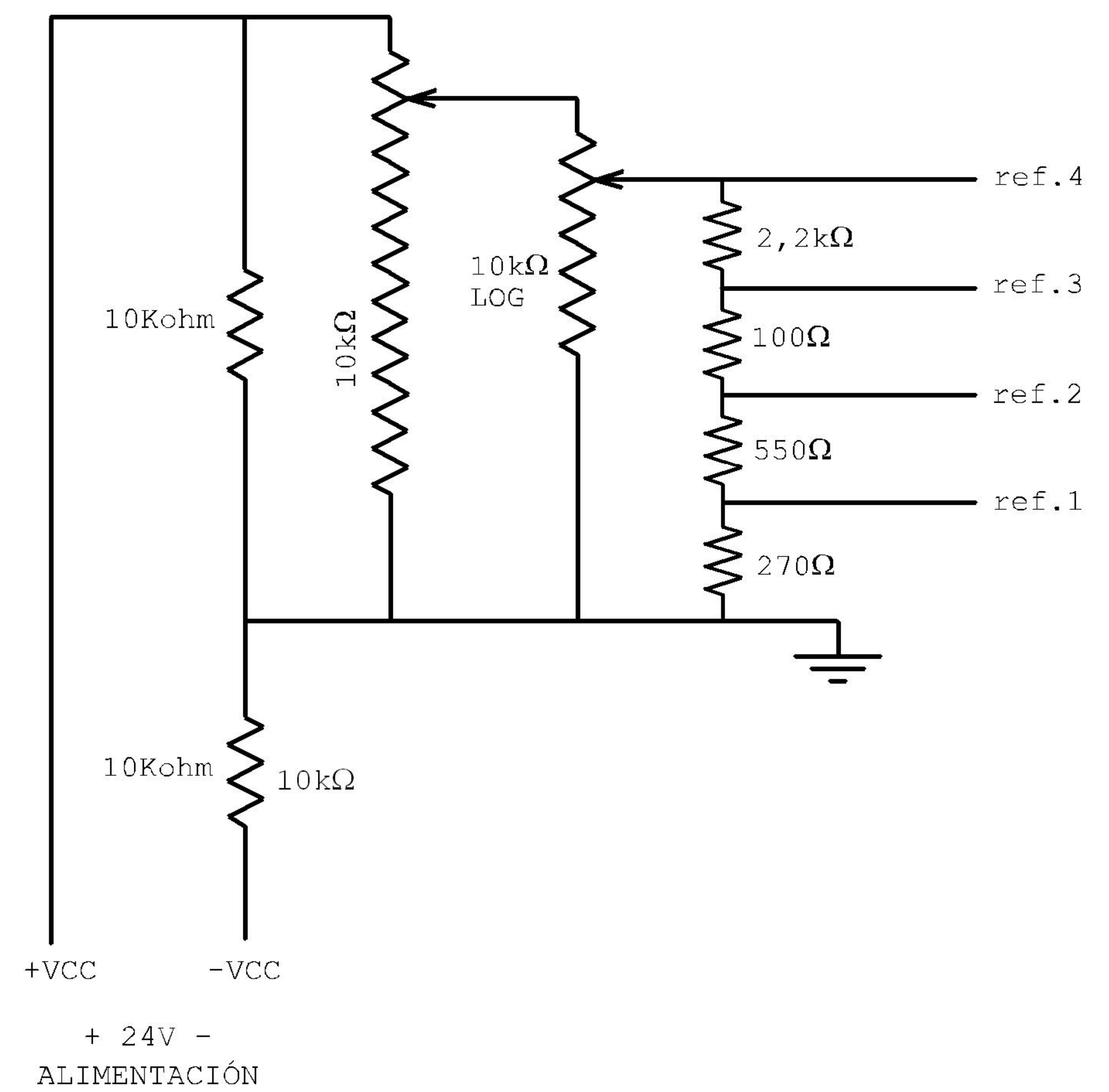
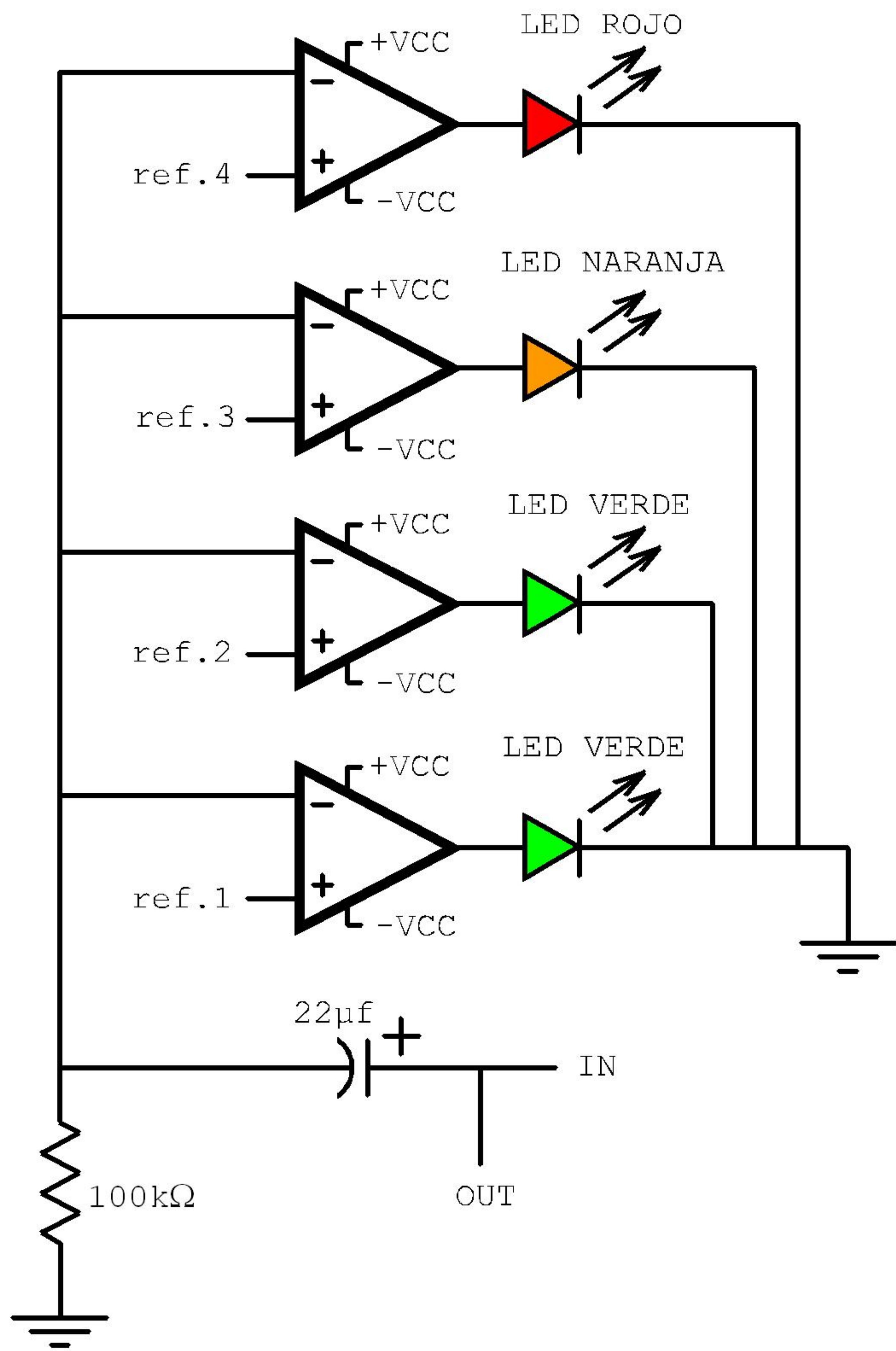
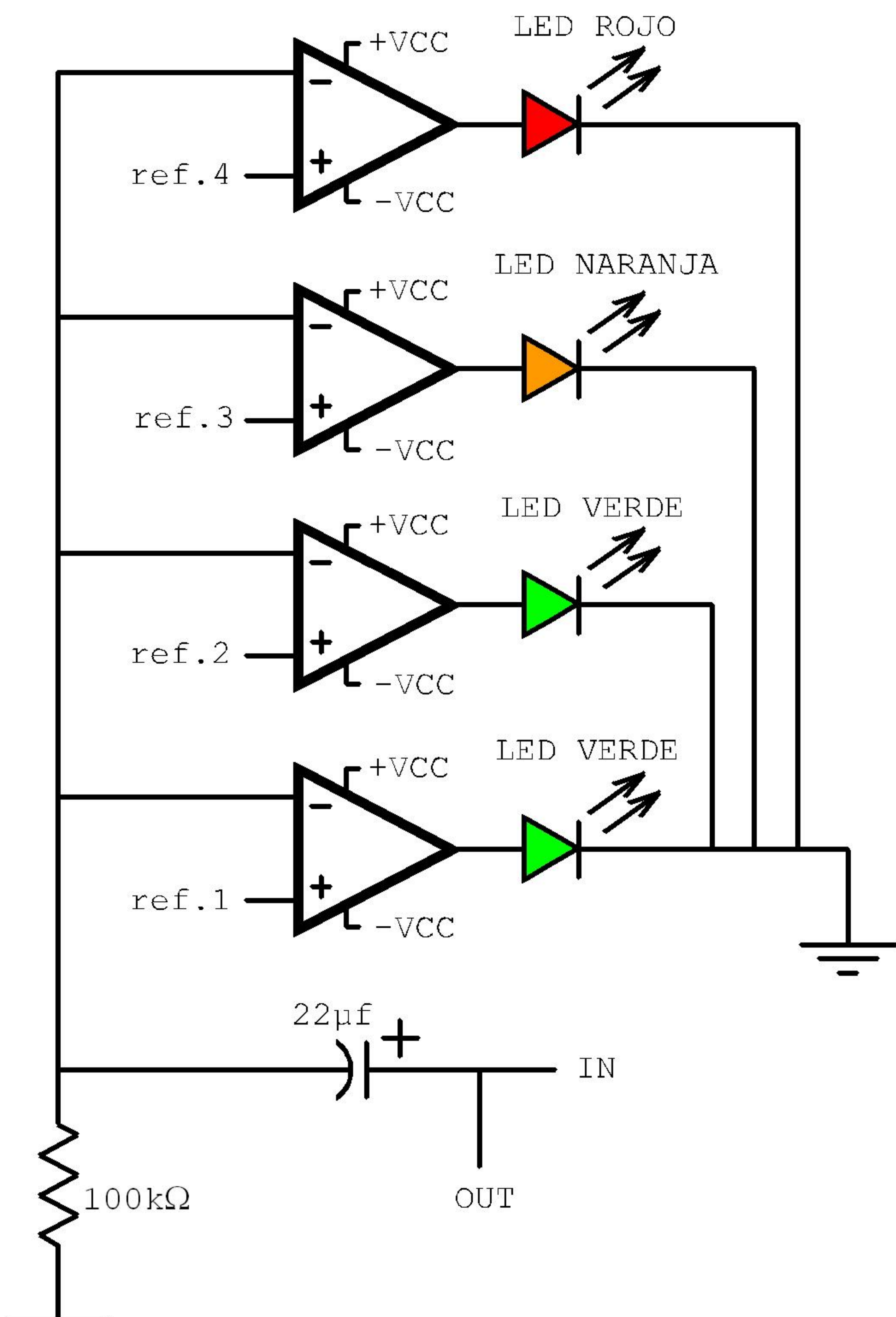
~ MESA DE MEZCLAS ANALÓGICA ~ IMPLEMENTACIÓN DE LAS ETAPAS



MEDIDOR DE NIVELES DIGITAL



MEDIDOR DE NIVELES ANALÓGICO



8. CONCLUSIONES

Finalmente, el resultado es una mesa de mezclas que cumple con lo establecido en los objetivos. Sus características de salidas son:

8.1 ESPECIFICACIONES FINALES

NIVELES DE ENTRADA MÁXIMOS

MIC IN	26,52Vp
LINE IN	21,12Vp
INSTR IN	26,65Vp

GANANCIA

CANAL DE MICRÓFONO	
Ganancia máxima (salida de monitores)	46,35 dB
Ganancia máxima (salida de efectos)	46,26 dB
Ganancia máxima (salida principal)	46,37 dB
CANAL DE LÍNEA	
Ganancia máxima (salida de monitores)	24,79 dB
Ganancia máxima (salida de efectos)	24,71 dB
Ganancia máxima (salida principal)	24,81 dB
CANAL DE INSTRUMENTO	
Ganancia máxima (salida de monitores)	26,55 dB
Ganancia máxima (salida de efectos)	26,56 dB
Ganancia máxima (salida principal)	26,67 dB

IMPEDANCIAS DE ENTRADA

MIC IN	20 kohm
LINE IN	40 kohm
INSTR IN	200 kohm
FX RET	40 kohm

IMPEDANCIAS DE SALIDA

MON OUT	600 ohm
FX SEND	600 ohm
MAIN OUT L / R	600 ohm, bal.

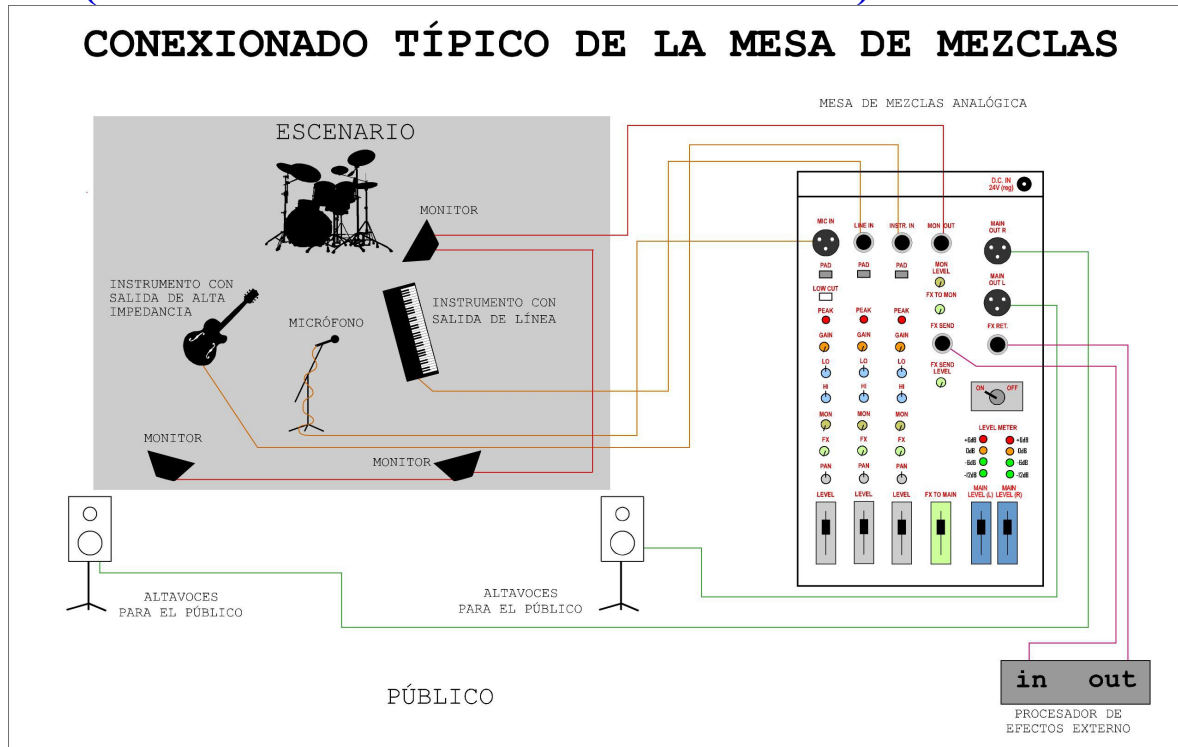
ECUALIZADORES

Frecuencia de corte	159 Hz
Realce máximo	+6dB dB
Atenuación máxima	-inf dB

ALIMENTACIÓN

Vin (D.C.)	+24 V, ungrounded
imax	1,5 A

8.2 (REFERENCIA PARA EL USUARIO)



■ fig. 30 Conexionado típico de la mesa de mezclas

8.3 OTRAS CONCLUSIONES RELATIVAS AL DISEÑO DE ETAPAS DE AUDIO:

Para una buena transferencia en tensión es necesario que la impedancia de entrada de la etapa posterior sea mucho mayor que la de la anterior. Pero no demasiado, ya que impedancias demasiado alejadas harán la línea mucho más sensible a ruidos inducidos. Merece la pena sacrificar algo de nivel a cambio de hacer la línea más resistente al ruido.

En un filtro paso bajo de primer orden, en circuitos de electrónica analógica de voltaje (donde interesa transmitir el máximo de nivel de voltaje posible), la frecuencia de corte SÓLO depende de la FUENTE y del condensador.

En un filtro paso alto de primer orden, en circuitos de electrónica analógica de voltaje (donde interesa transmitir el máximo de nivel de voltaje posible), la frecuencia de corte SÓLO depende de la CARGA y del condensador.

Conviene cargar las salidas de los amplificadores operacionales, ya que así se puede asegurar un valor de impedancia de salida exacto e invariable con la frecuencia.

Conviene cargar las salidas de las etapas, ya que así se limita la corriente que se puede demandar de ellos, pudiéndose evitar distorsión al conectar una etapa de muy baja impedancia (en este caso, aunque habrá mucha atenuación, y por lo tanto, ruido blanco añadido, la señal no estará distorsionada).

Se puede medir la impedancia de salida de una fuente en emisión con un potenciómetro. No obstante, si ésta es muy pequeña, es posible que no se consiga llegar a atenuar su salida, sino sólo a recortarla (exceso de corriente). En este caso, si no podemos disminuir la salida de la fuente, sólo podremos saber que la impedancia de salida es menor que ese valor en el que empezó a distorsionar.

Las fuentes de tensión reguladas son mucho más resistentes a bucles de masa generados por asimetrías en los circuitos que alimentan. Son necesarias para alimentar varios circuitos de distintos diseños (o fabricantes) sin que se generen corrientes entre diferentes tierras.

A veces es necesario colocar condensadores de aislamiento para bloquear componentes continuas que se generan entre diferentes etapas.

A veces es necesario colocar vías de alta impedancia ($M\Omega$) a tierra al lado de dichos condensadores, ya que puede acumularse demasiada carga en ellos, y al desconectar la alimentación seguir allí indefinidamente, haciéndoles perder la permeabilidad. Estas vías liberan la carga y así el condensador no sufre daños a la larga.

Se puede alimentar un amplificador operacional con una fuente no simétrica. Basta con referenciar la tierra del circuito a un punto intermedio entre los límites de la fuente. Eso sí, la fuente de alimentación NO ha de tener conexión a tierra. Se podría acabar cortocircuitando la mitad del divisor al conectar los cables de audio a otro equipo en el que su chasis sea la misma tierra que la de la instalación eléctrica (distinta, por lo tanto, a la de nuestro circuito).

9. BIBLIOGRAFÍA

A. Pertence J. - "Amplificadores operacionales y filtros activos. Teoría, proyectos y aplicaciones prácticas". McGraw-Hill. 1990

J. C. Marchais - "El amplificador operacional y sus aplicaciones" . Marcombo., 1986

Wait, J. - Introducción al amplificador operacional. Teoría y aplicaciones. Gustavo Gili, 1986

TL084 Data sheet

Shure SM58 Data sheet

Arduino UNO Data sheet