

VUMETRO

1. TEMA:

Diseño y construcción de un vúmetro de 100 leds y ecualizador.

2. OBJETIVOS :

2.1 Objetivo General:

Aplicar los conocimientos adquiridos en el curso de Electrónica Análoga II

en el diseño y construcción de vúmetro de 100 con 10 filtros pasa banda angosta a determinada frecuencia cada banda.

2.2. Objetivos Específicos:

Obtener 10 salidas filtradas (30 Hz, 60Hz, 120 Hz, 250Hz, 500Hz, 1KHz, 2KHz, 4.1KHz, 8.2Kz y 16.4KHz) a partir de una señal de audio con filtros pasabanda angosta.

Multiplexar las 10 salidas de los filtros para poder visualizar en una columna cada frecuencia en una pantalla de 100 leds de 10x10 y ecualizar el audio.

3. MARCO TEÓRICO:

- **EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL:** Es un dispositivo lineal de propósito general el cual tiene capacidad de manejo de señal desde $f=0$ Hz hasta una frecuencia definida por el fabricante; tiene además [límites](#) de señal que van desde el orden de los nV , hasta unas docenas de voltio (especificación también definida por el fabricante). Los amplificadores operacionales se caracterizan por su entrada diferencial y una ganancia muy alta, generalmente mayor que 105 equivalentes a 100dB El A.O es un amplificador de alta ganancia directamente acoplado, que en general se alimenta con [fuentes](#) positivas y negativas, lo cual permite que tenga excursiones tanto por arriba como por debajo de [tierra](#) (o el punto de referencia que se considere). El nombre de Amplificador Operacional proviene de una de las utilidades básicas de este, como lo son realizar [operaciones matemáticas](#) en computadores analógicos (características operativas).

El Amplificador Operacional ideal se caracteriza por:

1. Resistencia de entrada, (R_{en}), tiende a infinito.
2. Resistencia de salida, (R_o), tiende a cero.
3. Ganancia de tensión de lazo abierto, (A), tiende a infinito

4. Ancho de banda (BW) tiende a infinito.
5. $v_o = 0$ cuando $v_+ = v_-$

Ya que la [resistencia](#) de entrada, R_{en} , es infinita, la corriente en cada entrada, inversora y no inversora, es cero. Además el hecho de que la ganancia de lazo abierto sea infinita hace que la tensión entre las dos terminales sea cero, como se [muestra](#) a continuación:

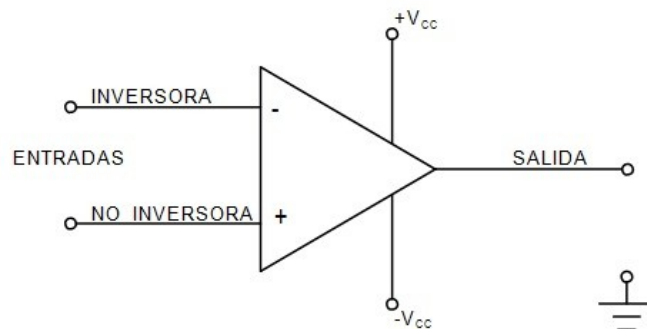
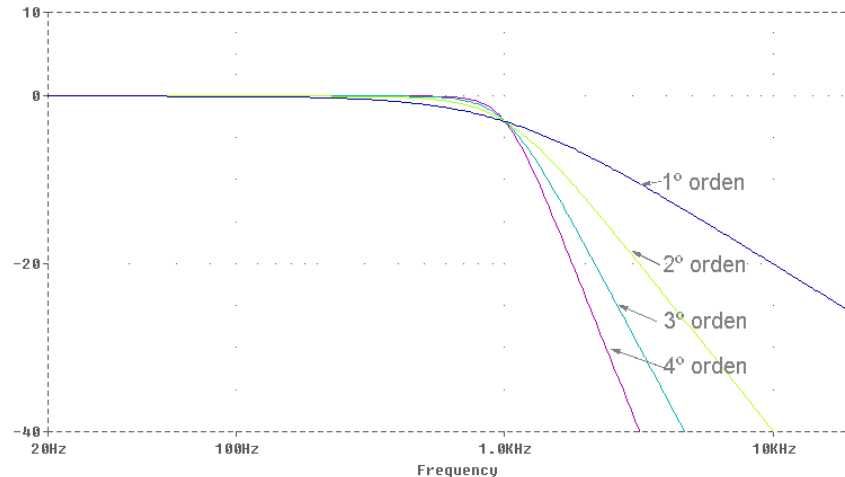


Figura 1

• FILTROS ACTIVOS

- **Definición:** Un filtro eléctrico es un cuadripolo capaz de atenuar determinadas frecuencias del espectro de la señal de entrada y permitir el paso de las demás. Se denomina espectro de una señal a su descomposición en una escala de amplitudes respecto de la frecuencia, y se hace por medio de las series de Fourier o con el analizador de espectro. Obsérvese que mientras el osciloscopio es un instrumento que analiza la señal en relación con el tiempo, el analizador lo hace por medio de las series de Fourier o con el analizador de espectro. Obsérvese que mientras el osciloscopio es un instrumento que analiza la señal en relación con el tiempo, el analizador lo hace con relación a la frecuencia.



- **ventajas e inconvenientes de los filtros activos:** En comparación con los pasivos, los filtros activos poseen una serie de ventajas:

- Permiten eliminar las inductancias que, en bajas frecuencias, son voluminosas, pesadas y caras.
- Facilitan el diseño de filtros complejos mediante la asociación de etapas simples.
- Proporcionan una gran amplificación de la señal de entrada (ganancia), lo que es importante al trabajar con señales de niveles muy bajos.
- Permiten mucha flexibilidad en los proyectos.

- **Por otro lado, tienen una serie de inconvenientes:**

- Exigen una fuente de alimentación.
- Su respuesta de frecuencia está limitada por la capacidad de los AO utilizados.
- Es imposible su aplicación en sistemas de media y alta potencia (por ejemplo, en los filtros que emplean los convertidores e inversores construidos con tiristores que se utilizan en la industria).

A pesar de estas limitaciones, los filtros activos prestan cada vez un mayor servicio en el campo de la electrónica, especialmente en las áreas de instrumentación y Telecomunicaciones. Dentro de la primera es interesante destacar la electro medicina o bioelectrónica, cuyos equipos hacen gran uso de ellos, principalmente cuando operan en bajas frecuencias.

Clasificación:

Los filtros pueden clasificarse atendiendo a tres aspectos:

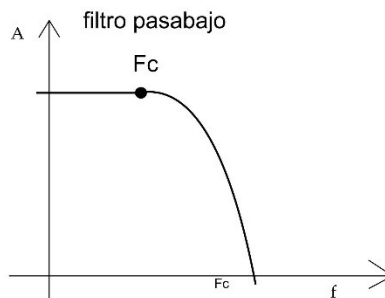
- a la función que llevan a cabo,
- a la tecnología empleada,
- a la función matemática utilizada para conseguir la curva de respuesta.

Al primer grupo pertenecen los cuatro tipos siguientes:

Función que llevan a cabo:

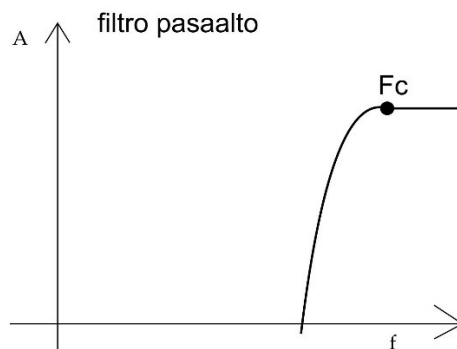
a. Filtro pasa bajo (PB)

Sólo permite el paso de las frecuencias inferiores a una determinada f_c (denominada de corte). Las frecuencias superiores resultan atenuadas.



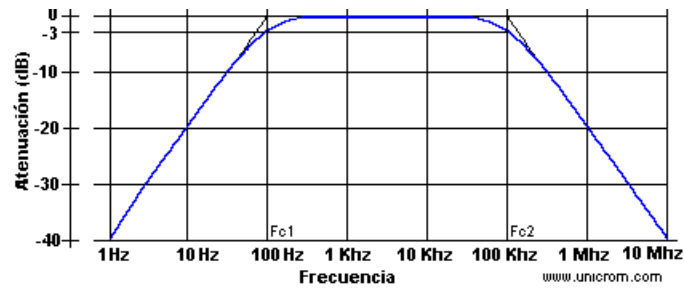
b. Filtro pasa alto (PA)

Deja pasar las frecuencias que se hallan por encima de una determinada f_c (de corte) atenuando las inferiores.



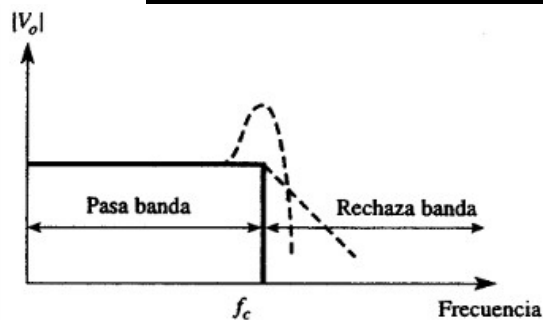
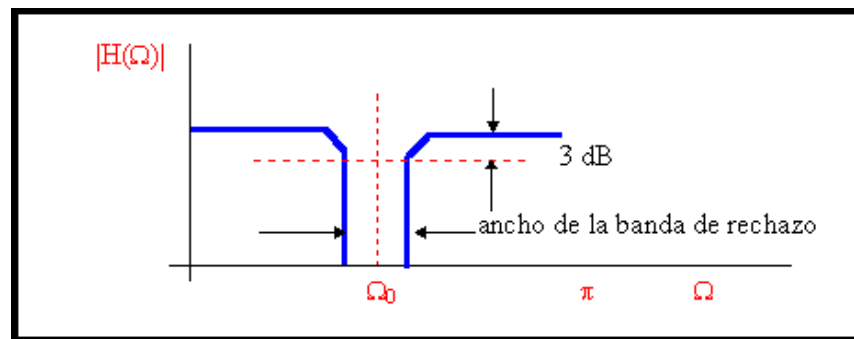
c. Filtro pasa banda (PBANDA)

Permite el paso de las frecuencias situadas dentro de una banda delimitada por una frecuencia de corte inferior (f_{c1}) y otra superior (f_{c2}). Las frecuencias que estén fuera de esta banda son atenuadas.

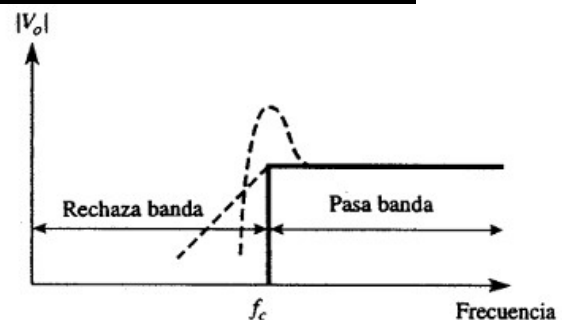


d. Filtro de rechazo de banda (RB)

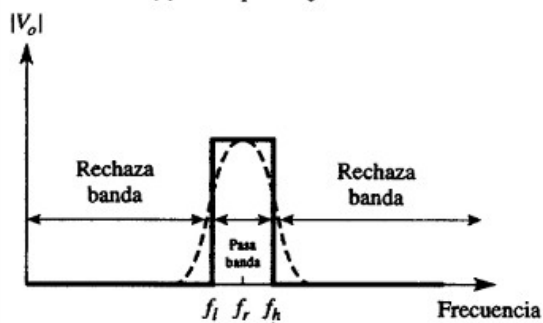
Permite el paso de las frecuencias inferiores o superiores a dos frecuencias determinadas, que se denominan de corte inferior (f_{c1}) y superior (f_{c2}), respectivamente. Son atenuadas las frecuencias comprendidas en la banda que delimitan f_{c1} y f_{c2} .



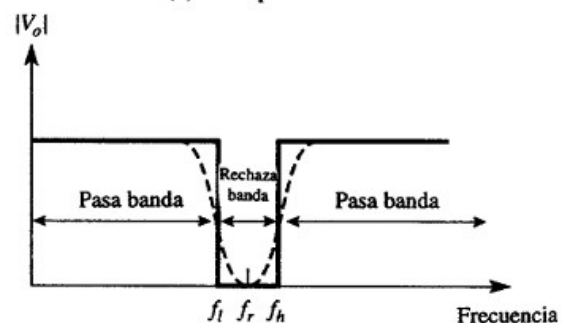
(a) Filtro pasa bajas.



(b) Filtro pasa altas.



(c) Filtro pasa banda.



(d) Filtro eliminador de banda.

Respuesta a la frecuencia de cuatro tipos de filtros.

Dentro del segundo grupo los filtros se clasifican atendiendo a la tecnología Empleada:

Tecnología empleada:

a: Filtros pasivos.- Están contruidos exclusivamente con elementos pasivos como resistencias, condensadores y bobinas. Estos filtros son inviabiles en bajas frecuencias al exigir inductancias muy grandes.

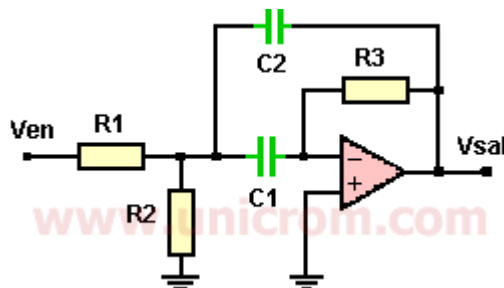


b. Filtros activos.- Constan de elementos pasivos asociados a otros activos (válvulas, transistores o amplificadores operacionales).

La primera generación de estos filtros utilizaba las válvulas, por lo que tenían un consumo de potencia muy alto, ruidos, baja ganancia, etc.

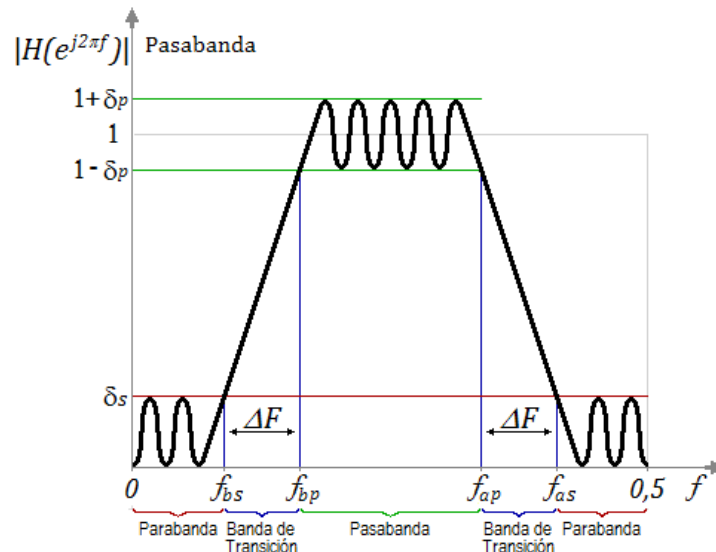
La segunda empleaba transistores como elementos activos y, aunque tenía más ventajas que la anterior, no tenía unas características enteramente satisfactorias.

La tercera generación, objeto de nuestro estudio, utiliza los amplificadores operacionales. La alta resistencia de entrada y la baja resistencia de salida de los



AOP's, además de otras características, permiten la realización de filtros con cualidades óptimas.

c. Filtros digitales.- Estos filtros llevan componentes digitales. La señal analógica es convertida en digital mediante un sistema de conversión A/D. La señal binaria resultante se trata en el filtro digital y a continuación se reconvierte en analógica en un conversor D/A. Estos filtros son útiles para procesar simultáneamente muchos canales de transmisión.



Funciones matemáticas:

Para finalizar, el tercer grupo de la clasificación hacía referencia a la función matemática (o aproximación) utilizada para proyectar el filtro. Un estudio detallado de este tema escapa a nuestras intenciones, ya que exige un tratamiento matemático complejo y de interés puramente teórico.

Los tipos más comunes de aproximaciones son los siguientes:

- Butterworth.
- Chebyshev.
- Cauer.

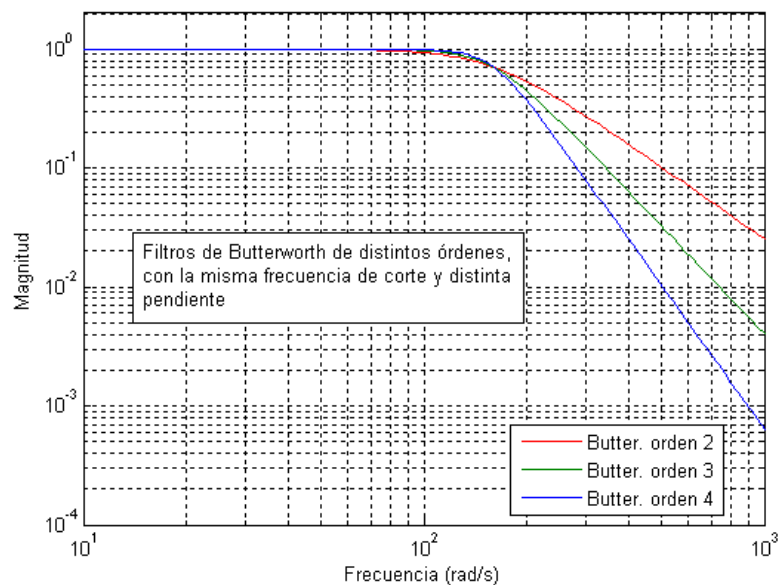
Cada uno tiene una función matemática específica que permite aproximar su curva de respuesta a la ideal de cada tipo de filtro. En las secciones siguientes se estudiarán los dos primeros, por ser los más sencillos y los más utilizados en la práctica. La función de Cauer, denominada también elíptica, es la de mayor exactitud, pero su complejidad impide abordarla con detalle.

✓ Orden

El orden de un filtro describe el grado de aceptación o rechazo de frecuencias por arriba o por debajo, de la respectiva frecuencia de corte. Un filtro de primer orden, cuya frecuencia de corte sea igual a (F), presentará una atenuación de 6 dB en la primera octava ($2F$), 12 dB en la segunda octava ($4F$), 18 dB en la tercera octava ($8F$) y así sucesivamente. Uno de segundo orden tendría el doble de pendiente (representado en escala logarítmica).

Esto se relaciona con los polos y ceros: los polos hacen que la pendiente baje con 20 dB por década y los ceros que suba también con 20 dB por década, de esta forma los polos y ceros

Pueden compensar su efecto.



Para realizar filtros analógicos de órdenes más altos se suele realizar una conexión en serie de filtros de 1º o 2º orden debido a que a mayor orden el filtro se hace más complejo. Sin embargo, en el caso de filtros digitales es habitual obtener órdenes superiores a 100.

✓ **Ecualizador:** Un ecualizador gráfico es un dispositivo que procesa señales de audio y nos permite dividir esta señal en diferentes bandas de frecuencia, pudiendo alterar la ganancia de cada banda de forma independiente. Su nombre viene dado por la disposición de los potenciómetros deslizables, colocados de forma que permite visualizar la compensación realizada. Normalmente es

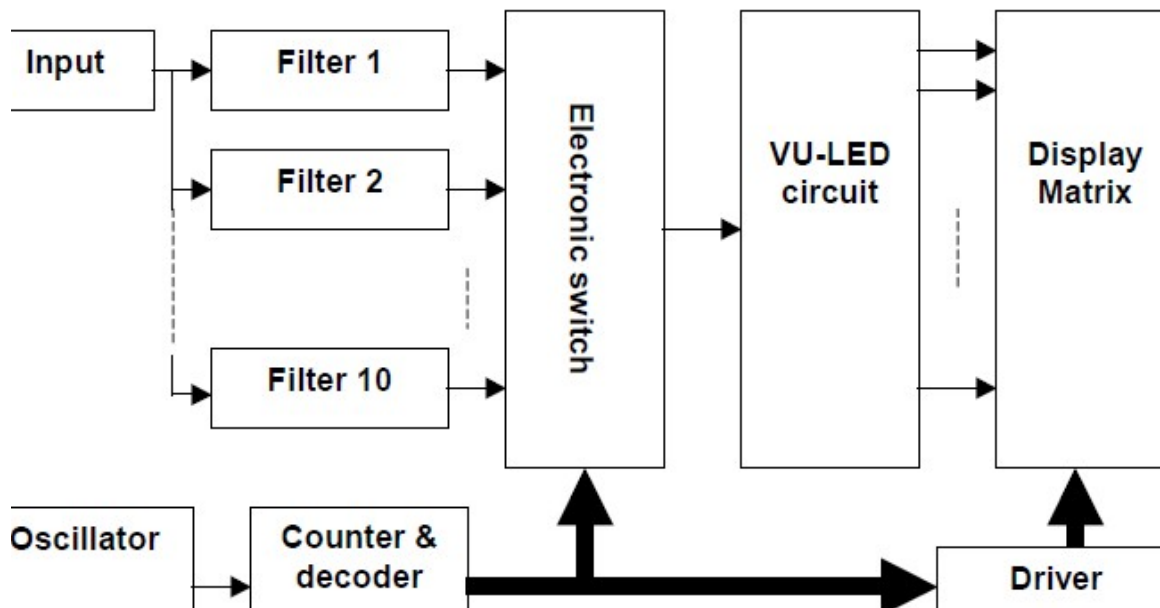
utilizado en audio profesional, para adaptar el sistema de altavoces respecto a la respuesta en frecuencia deseada en cada aplicación. El presente ecualizador es el de octavas, cuenta con 10 puntos de control ya que el ancho de banda audible tiene 10 bandas de frecuencia: 30 Hz, 60 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1kHz, 2 KHz, 4 KHz, 8 KHz y 16 KHz.

Se compone de diferentes filtros pasa banda, variando los valores de los condensadores, para filtrar la banda de frecuencia deseada. Estos filtros se combinan con los potenciómetros que controlan la ganancia de cada banda.

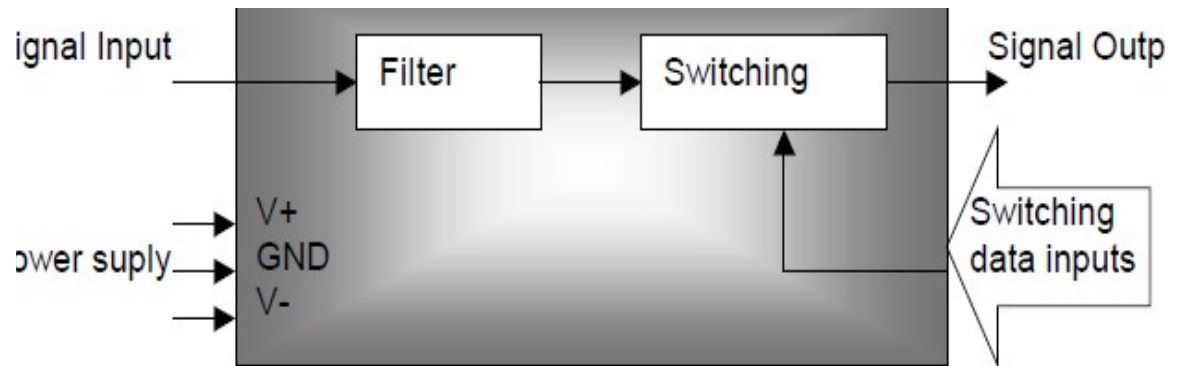
4. FUNCIONAMIENTO DEL PROYECTO PLANTEADO:

El funcionamiento del vúmetro diseñado por el grupo será descrito lo más didáctico posible, y es el siguiente:

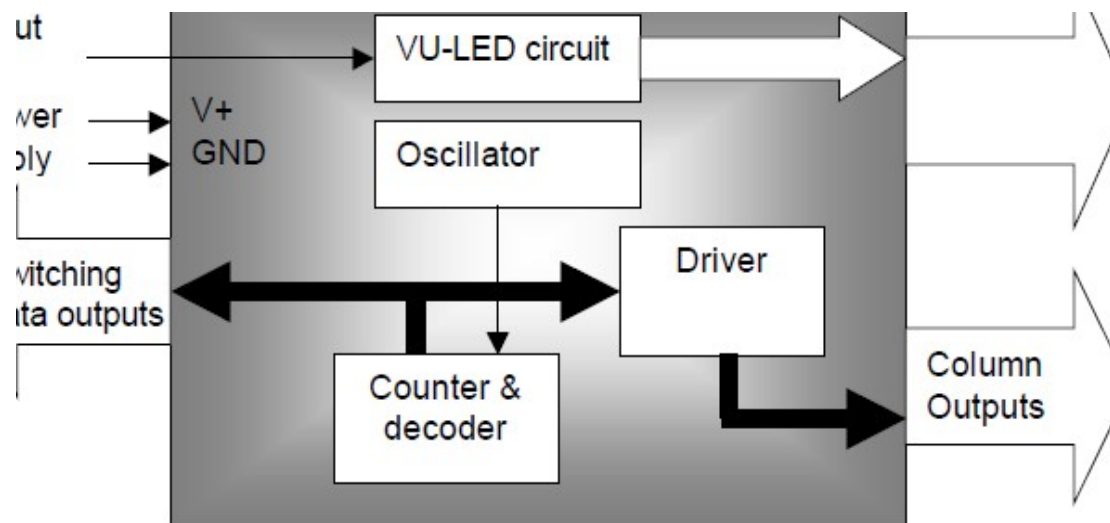
- **Diagrama de Bloques:**



- **BLOQUE FITRO Y switching:**



- Oscillator, counter, driver with VU LED:



- ✓ La señal de entrada proveniente de un reproductor que va conectado con un Jack al ingreso de los filtros.
- ✓ La señal pasara por diez filtros pasa banda conectados en paralelo, cada filtro solo deberá dejar pasar las señales pertenecientes a la gama de frecuencia fija y eliminar las otras.
- ✓ Se dividirá la señal en un rango de frecuencias que es el típico para aplicaciones de audio utilizando 10 bandas de 30hz, 60hz, 120hz, 250hz, 500hz, 1khz, 2khz, 4.1khz, 8.2khz, 16.4khz

Donde:

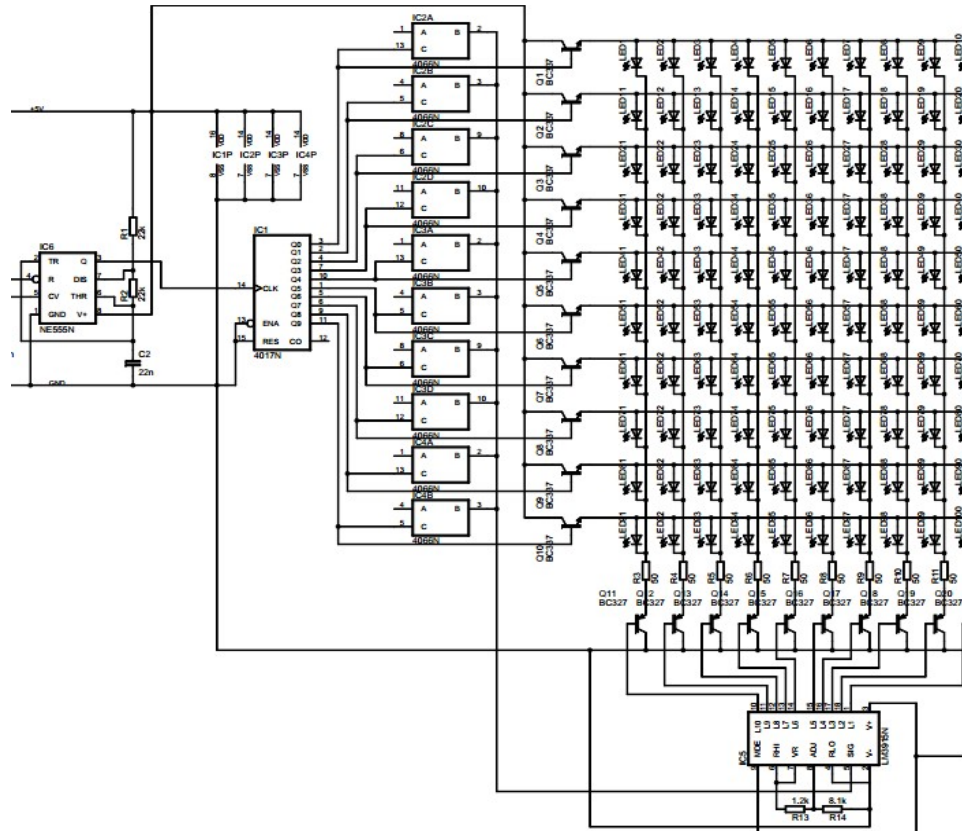
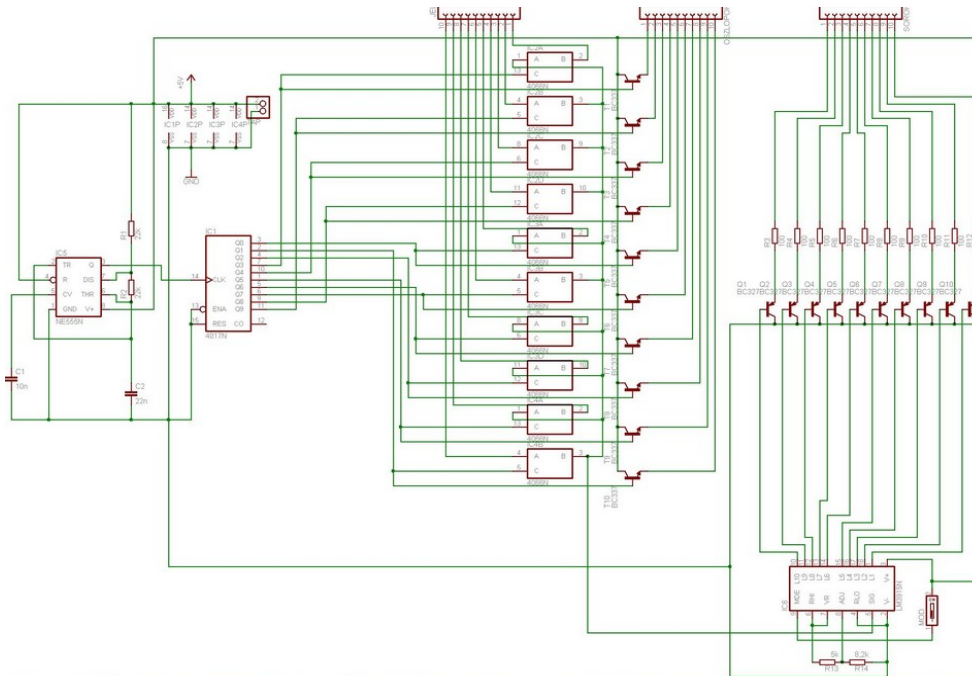
"explicación de los sonidos que se encuentran en cada rango de frecuencias"

30 - 60 Hz	Destaca los sonidos
120 Hz	Subiendo la sensibilidad
250Hz	Bajando el mando
500 HZ	Aumenta la fuerza
1 KHZ	Actúa sobre la voz
2 kHz	Estimula el oído .
4.1 kHz	Si está muy alto
8.2 kHz	Aumenta la brillantez
16.4 kHz	Aumenta la presión

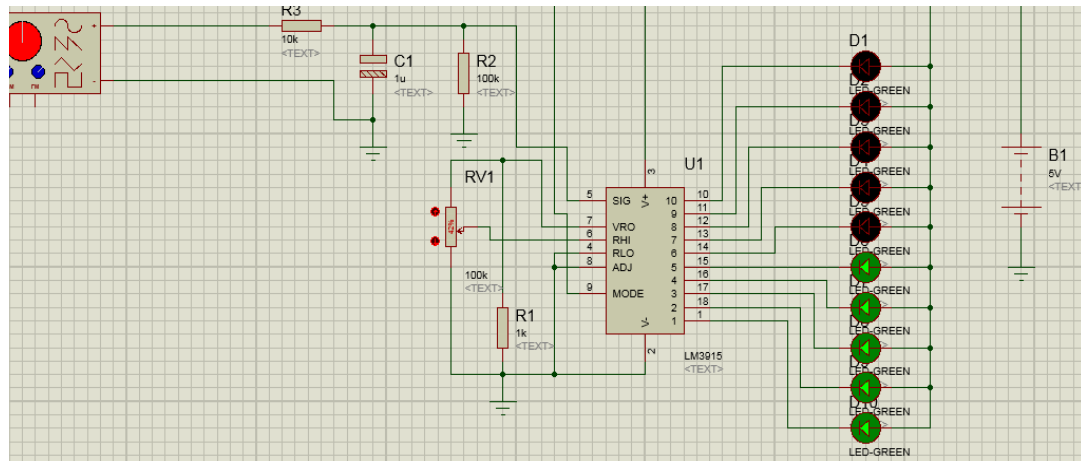
- ✓ La salida de cada filtro se conectará a un multiplexor de 10 entradas 1 salida, que está formado por 10 swich digitales (4066) controlados por una señal de reloj.
- ✓ La salida del multiplexor se conecta a varias etapas comparadoras dependiendo del número de leds que queremos controlar en nuestro caso 10 etapas comparadoras.
- ✓ Existe en el mercado un circuito integrado (LM3915 o LM3914) que tiene diez comparadores y es un circuito hecho exclusivamente para el control de leds.
- ✓ Entonces a la salida de cada filtro pasa banda conectaremos uno de estos circuitos integrados en una configuración tal, que a mayor intensidad de la señal filtrada, permita encender una mayor cantidad de leds, pudiendo así visualizar la intensidad de la señal por cada frecuencia intermedia calculada.

5. DIAGRAMAS:

A) Diagrama para multiplexar:



- **Simulacion:**

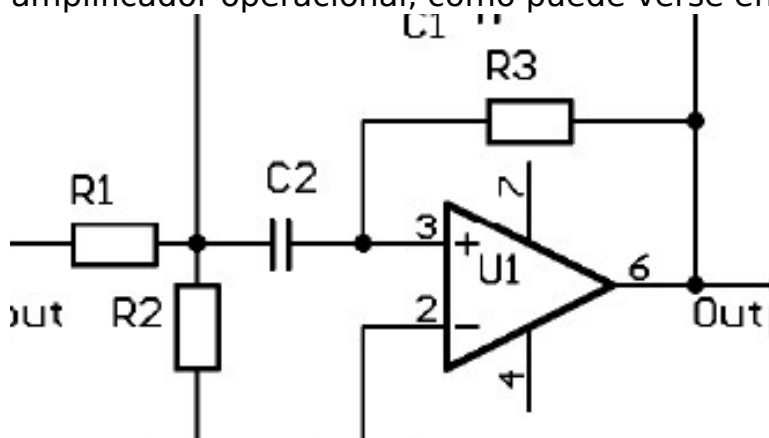


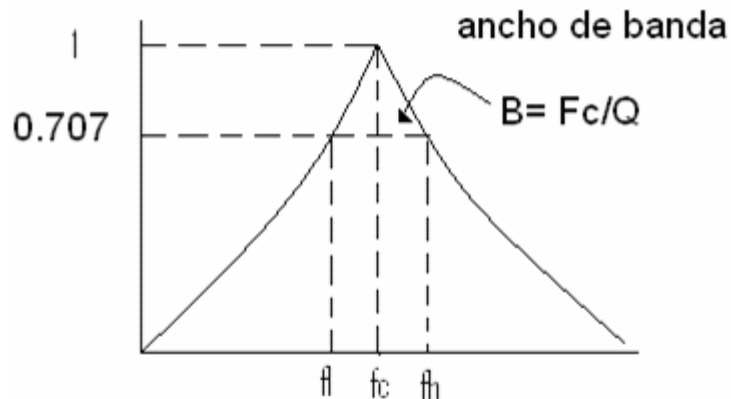
B) Diseño de los filtros para el ecualizador:

Para el diseño de este ecualizador se utilizara filtros pasa banda “angosta” activos, pues son los que mejor se adecuan y permiten solucionar de una mejor forma el problema planteado. Permiten elegir o pasar solo una determinada banda de frecuencias de entre todas las frecuencias que puede haber en un circuito. Este tipo de filtro tiene una ganancia máxima en la frecuencia resonante, f_c . El filtro pasabanda utilizado aquí tendrá una ganancia de 1 o de 0 db, para la frecuencia f_c . Solo existe una frecuencia inferior a f_c en cuyo caso la ganancia disminuye hasta 0.707. Se trata de la *frecuencia de corte inferior*, f_l . En el caso de la *frecuencia de corte superior*, la ganancia también es 0.707, como se ve en la gráfica.

- ventajas

- El análisis y la construcción de los filtros de banda angosta se simplifica considerablemente si se parte del supuesto de que la de que la ganancia máxima del filtro de banda angosta es de 1 o 0 db cuando la frecuencia es la resonante, f_r .
- Para el circuito del filtro de banda angosta se utiliza un amplificador operacional, como puede verse en el diagrama.





- Funcionamiento

La resistencia de entrada del filtro queda establecida con la resistencia (**R1**), con la resistencia de retroalimentación **R3** se garantiza una ganancia máxima de 1 en la frecuencia de resonancia **fc**. Ajustando **R2** es posible cambiar o realizar ajustes finos a la frecuencia de resonancia, sin modificar la ganancia o el ancho de banda.

El funcionamiento de este filtro de banda angosta se caracteriza por las siguientes ecuaciones.

- **Cálculos:** hacemos que los dos condensadores sean iguales ($C1 = C2$) para facilitar el cálculo.
- ✓ **Frecuencia de corte (Fc):** La frecuencia de corte define el límite de la banda de paso, y por lo común corresponde a 3 dB de atenuación. Mientras que los filtros pasa baja y pasa alta tienen sólo una frecuencia de corte, los filtros pasa banda y de rechazo de banda tienen dos frecuencias de corte.
- ✓ **Factor de selectividad (Q):** Es la razón de la frecuencia central de un filtro pasa banda al ancho de banda de 3 dB. Si $F1$ y $F2$ corresponden al punto inferior y superior de 3 dB, el factor de selectividad se podrá expresar como sigue:



Calculamos R1, R2 y R3.

$$\frac{Z}{(2\pi F_c CK)} = \frac{Q}{(2\pi F_c C(2Q))} = \frac{2Q}{2Q}$$

Ganancia determinada por R1 y R3:

Definido C, R1, R2, R3, calculamos Fc:

$$F_c = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{K_1}{R_1}}$$

$Z = R1 + R2$.

$A_v = 12\text{Db}$ ganancia obtenida con $K=4$, $Q=2$ y $R1 = R2 =$

120K

$R2 = 120\text{KW}$; $R3 = 960\text{KW}$ (cambiamos $R3 = 1\text{MW}$)

$Q = pF_c.C.R3$.

$$R_3 = 3,14$$

$$C = 0,636 \frac{10^{-6}}{F} (F)$$

$$C_1 = C_2 = C.$$

Utilizando estas ecuaciones hicimos el cálculo de los componentes de los 10 filtros, cuyo resultado mostramos en la siguiente tabla:

Tabla 1

Frecuencia nominal	R1	R2	R3	C	(Calculado) Frecuencia real	Ancho de banda	Ganancia	Factor Q
30Hz	10k	12k	47k	330 N	30,122Hz	20,523Hz	2.35	1468
60Hz	4,7K	10k	20k	330 N	60,312Hz	48,229Hz	2128	1251
120Hz	2k	15k	9,1k	330 N	120,351Hz	105,997Hz	2275	1135
250Hz	10k	39K	47k	33n	249,358Hz	205,229Hz	2.35	1215
500Hz	4,7K	43k	22k	33n	499,541Hz	438,443Hz	2.34	1139
1 kHz	2,7k	6,8K	12k	33n	1001Hz	803,813Hz	2222	1246
2 kHz	1,2k	6,8K	5,6k	33n	2,018kHz	1,722kHz	2333	1172
4,1kHz	6,2k	27k	27k	3,3n	4,133kHz	3,573kHz	2177	1157
8,2kHz	3k	10k	15k	3,3n	8,197kHz	6,431kHz	2.5	1275
16,4kHz	1,3k	47k	6,8K	3,3n	16,444kHz	14,185kHz	2615	1159

- ✓ **impedancia de entrada:** La impedancia de entrada de una red eléctrica es la impedancia equivalente "vista" por una fuente de energía conectada a tal red. Si la fuente entrega un valor conocido de voltaje o de corriente, tal impedancia puede ser calculada usando la ley de Ohm. La impedancia de entrada es el circuito equivalente Thévenin de una red eléctrica, modelada por una combinación de RL (resistencia-inductancia) o de RC (resistencia-conductancia), con valores equivalentes que resultarían en la misma respuesta que la de la red.

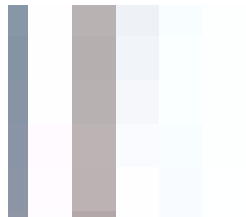
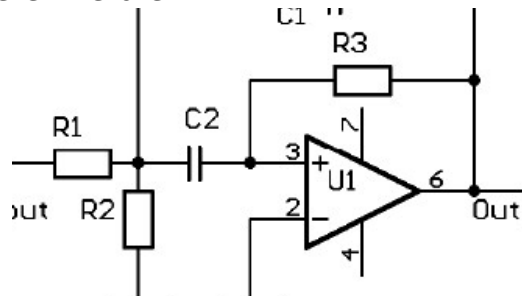
Generalmente en sistemas de audio y sistemas de alta fidelidad, los amplificadores tienen una impedancia de entrada de bastantes órdenes de magnitud más altos que la impedancia de salida de la fuente conectada a esa entrada. Este concepto también es llamado puente de impedancia. En este caso,

$$Z_{\text{carga}} \gg Z_{\text{fuente}}$$

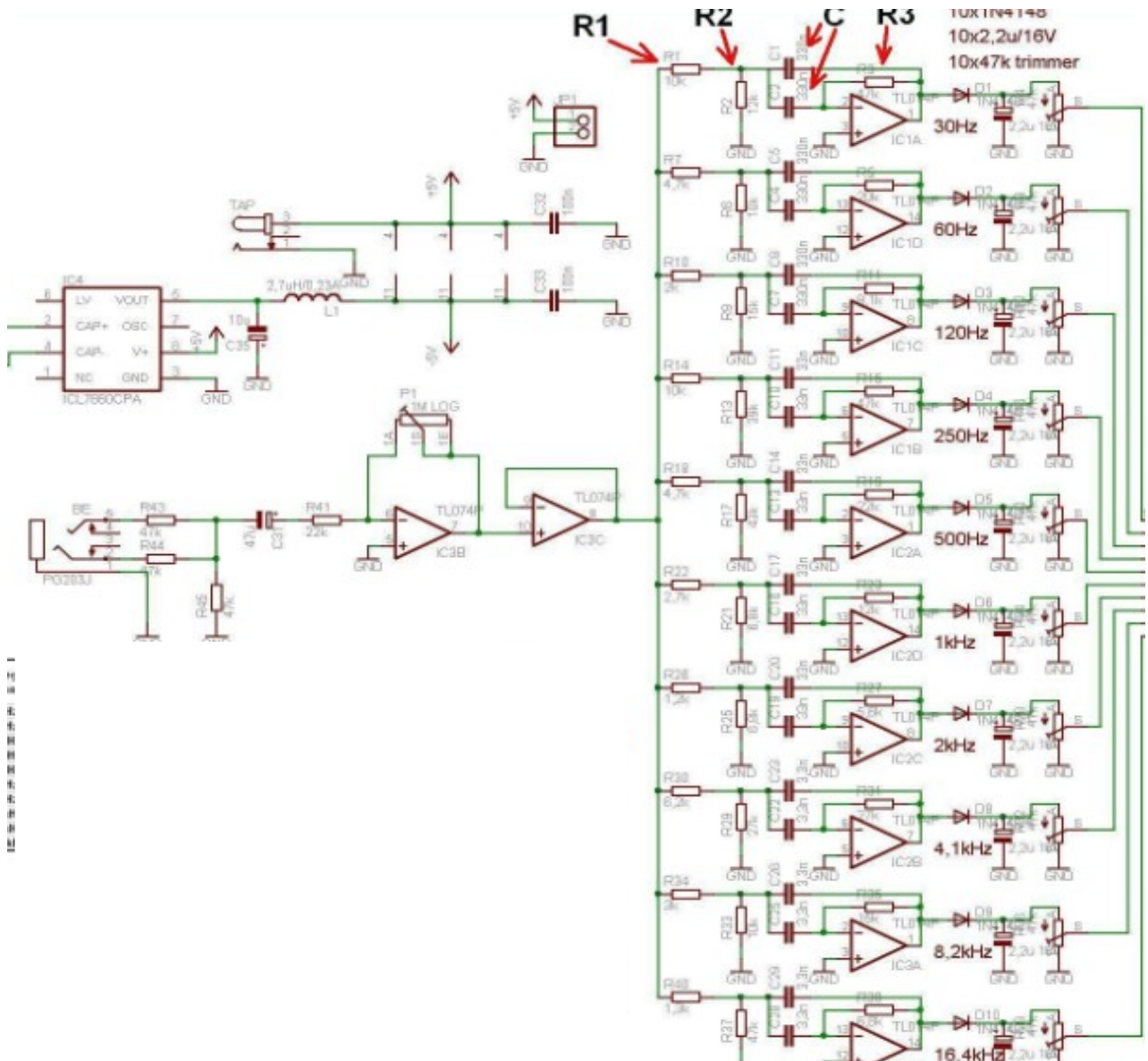
La impedancia de entrada de la fase de puente (carga) es mucho más grande que la fase de manejo (fuente).

En general, esta configuración será más resistente al ruido (particularmente zumbido). Además, los efectos de carga de la fase del amplificador de manejo son reducidos. En ciertos circuitos una fase de seguimiento de tensión es usada para hacer coincidir la impedancia de carga y de fuente, lo cual resulta en la máxima transferencia de energía.

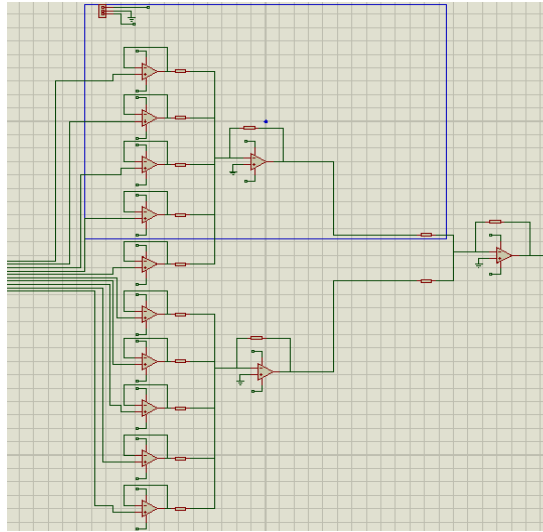
como se puede observar la impedancia de entrada es igual a la suma de R1 con R2, pero como son diez filtros que están en paralelo se divide entre diez.



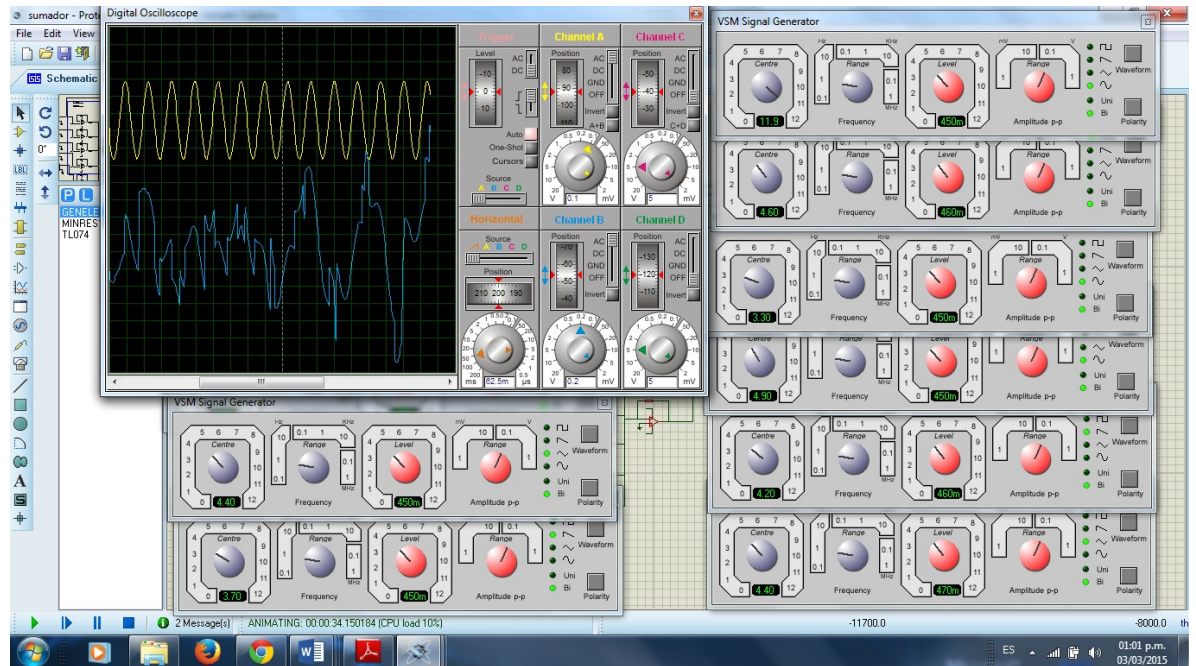
- **Esquema del circuito de los 10 filtros:** con los datos calculados en la tabla 1, precedemos a implementar el circuito con los 10 filtros.



- C) **Sumador:** Se utilizó un sumador para unir todas las señales filtradas y poder escuchar así la señal ecualizada.



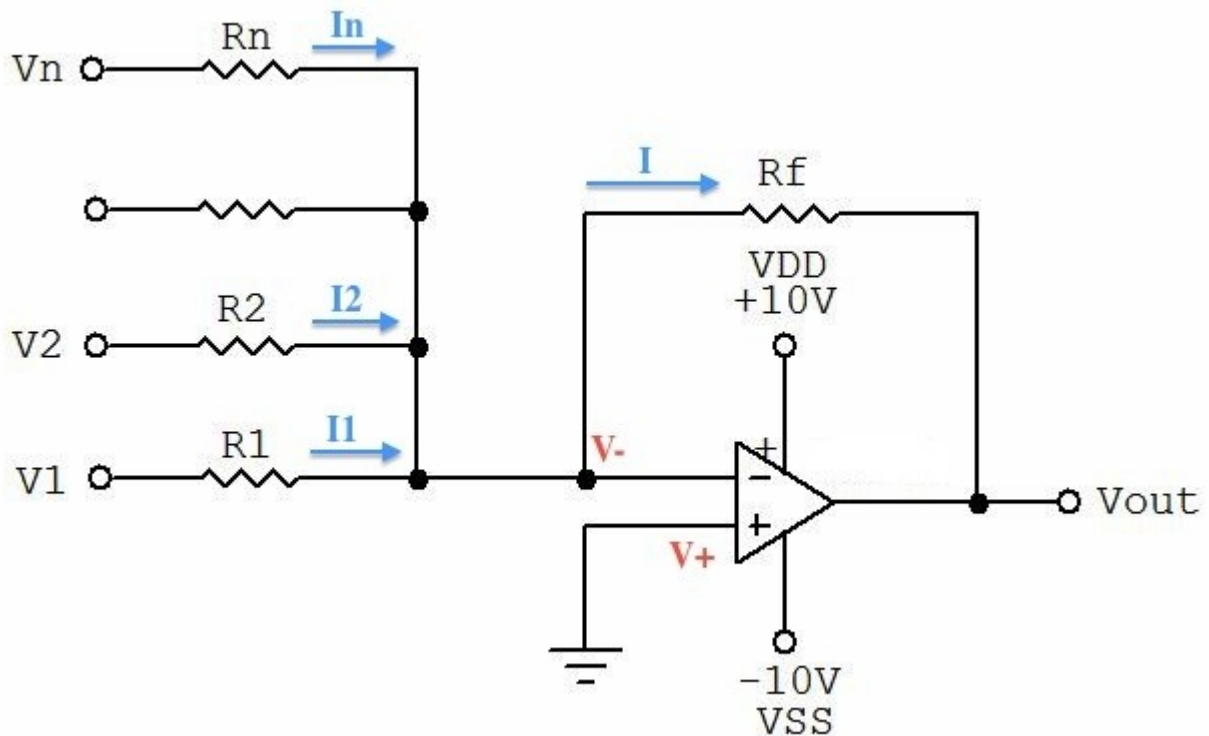
- Simulación:



El Circuito Sumador es un circuito muy útil, basado en la configuración estándar del amplificador operacional inversor. Este circuito permite combinar múltiples entradas, es decir, permite añadir algebraicamente dos (o más) señales o voltajes para formar la suma de dichas señales.

- Funcionamiento y cálculos

La razón de utilizar un amplificador operacional para sumar múltiples señales de entrada, es evitar la interacción entre ellos, de modo que cualquier cambio en el voltaje de una de las entradas no tendrá ningún efecto sobre el resto de entradas.



Como V_+ está conectado a masa, $V_+=0$, y si se considera que el amplificador operacional es ideal, $V_-=V_+=0$. Por lo tanto, las intensidades que circulan por cada rama de entrada son independientes de las demás y no se produce redistribución de intensidad alguna. Con ello, la intensidad total que atraviesa R_f será la suma de las intensidades de cada una de las ramas de entrada.

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_N$$

$$I = \sum_{i=1}^N I_i$$

La tensión de salida, V_{out} , será:

$$V_{out} = -I \cdot R_f$$

$$V_{out} = -\frac{V_1}{R_1} - \frac{V_2}{R_2} - \dots - \frac{V_N}{R_N}$$

$$V_{out} = -R_f \cdot \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_N}{R_N} \right)$$

Si todas las $R_i=R$, la tensión de salida será la siguiente:

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R} \cdot (V_1 + V_2 + \dots + V_N)$$

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R} \cdot \sum_{i=1}^N V_i$$

Si todas las resistencias del circuito tienen el mismo valor y son iguales a R_f , la tensión de salida será la siguiente:

$$V_{out} = -(V_1 + V_2 + \dots + V_N)$$

$$V_{out} = -\sum_{i=1}^N V_i$$

Si todas las V_i son iguales, es decir, si todas las resistencias de entrada están conectadas a la misma tensión de entrada, la tensión de salida será la siguiente:

$$V_{out} = -R_f \cdot V_{IN} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N} \right)$$

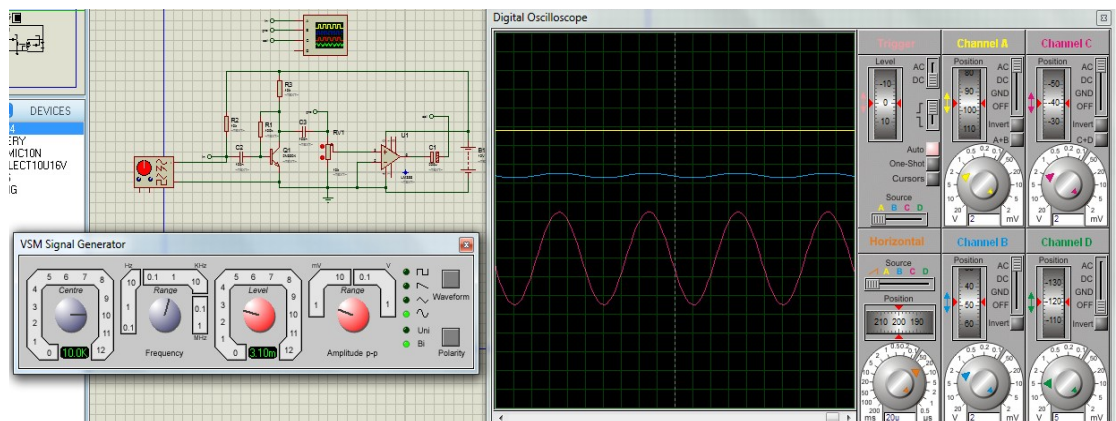
$$V_{out} = -R_f \cdot V_{IN} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$$

Al ser un Sumador Inversor, en todos estos casos, la salida es la inversa de la suma de las tensiones de entrada.

- **Explicación del circuito:** Utilizamos 3 sumadores en el circuito, ya que es recomendable sumar hasta cinco señales, los dos primeros sumadores suman cada uno cinco señales teniendo a su salida la suma pero invertidas, posteriormente usamos el tercer sumador para sumar las dos señales de los dos sumadores anteriores obteniendo a la salida la suma total de los 10 filtros sin invertir.

D) Amplificador de micrófono:

- **Simulación:**

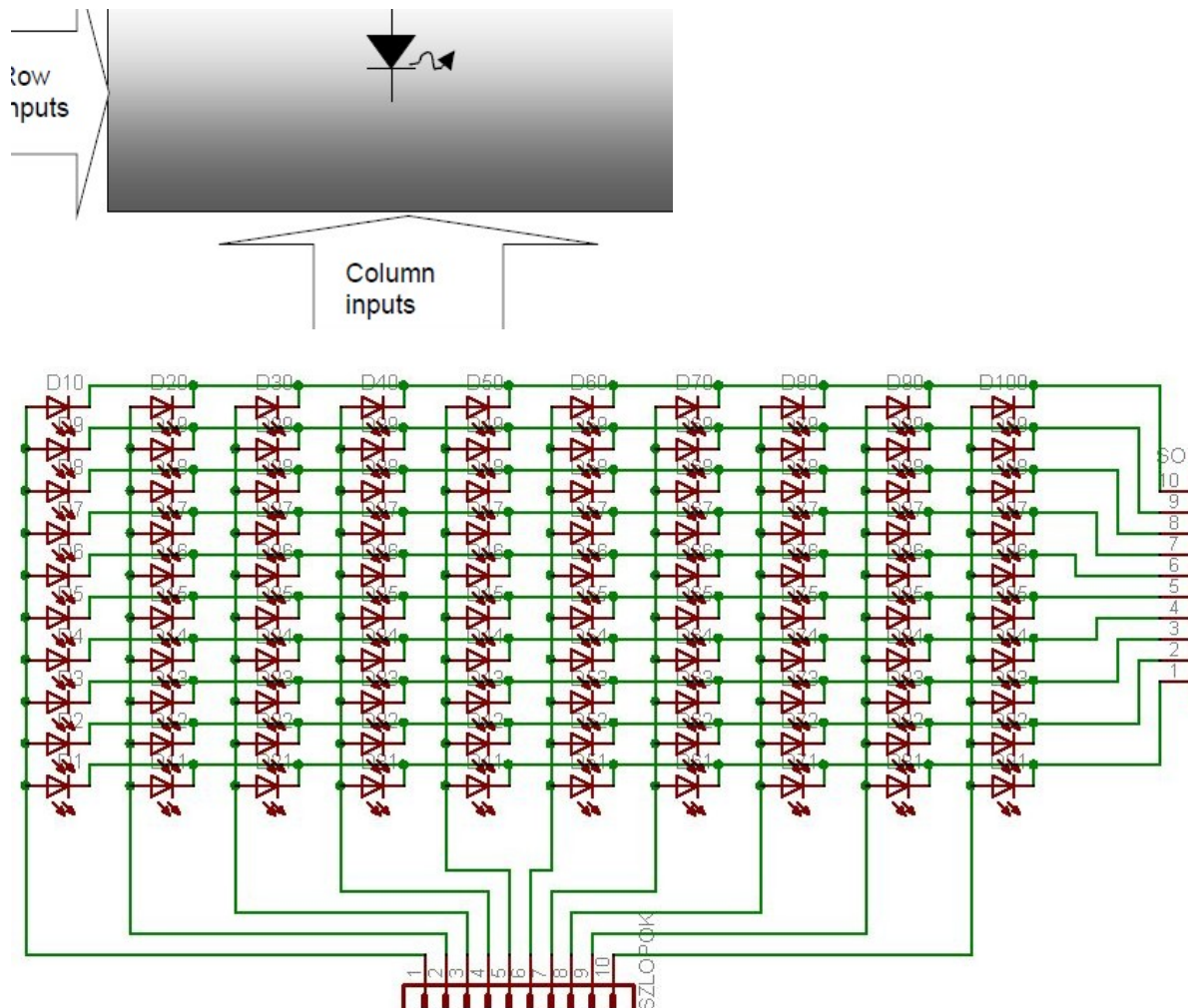


La resistencia de 10K sobre el terminal positivo del micrófono le provee a este tensión necesaria para su funcionamiento. El capacitor de 100nF sobre la misma conexión bloquea la componente DC de la señal permitiendo a la AC perteneciente al audio ingresar al transistor amplificador por su base. La resistencia de 10K conectada al transistor por su colector permite la polarización de ese elemento, mientras que la de 100K efectúa la realimentación de la señal. El capacitor de

salida bloquea la componente DC dejando ir hacia la siguiente etapa sólo la señal de audio.

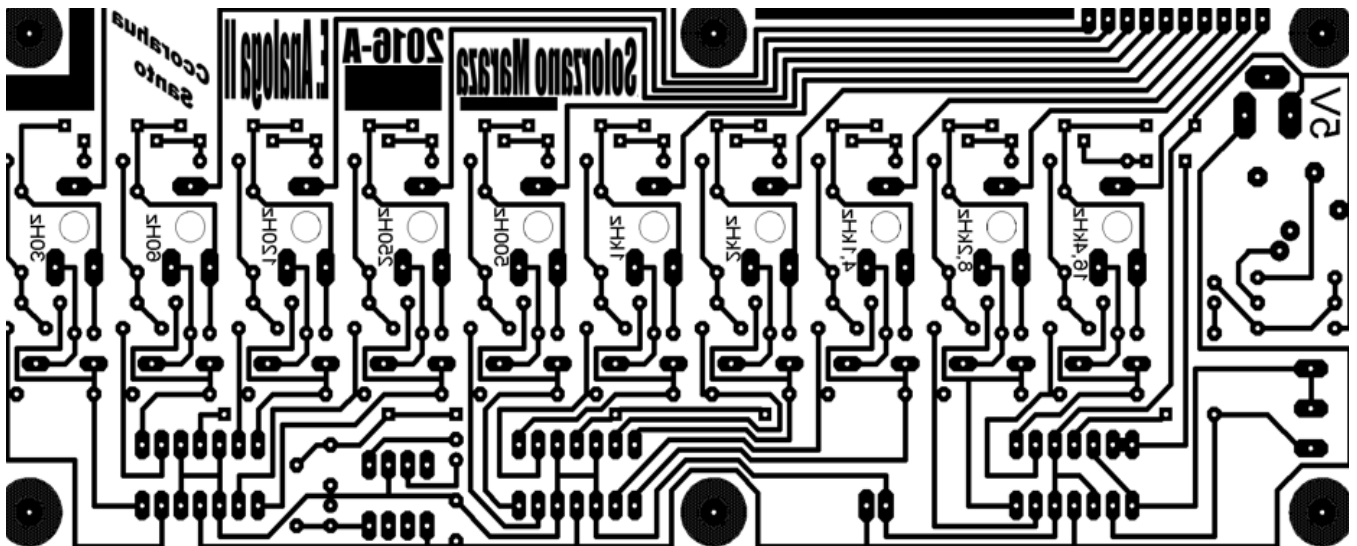
El circuito puede ser alimentado con cualquier tensión comprendida entre 3 y 9 volts sin necesariamente estar estabilizada. Pero es importante que la fuente esté bien filtrada y desacoplada. Para ello es posible colocar un capacitor de $100\mu\text{F}$ junto con uno de 100nF en paralelo con la alimentación sobre el circuito.

E) Bloque matriz leds:

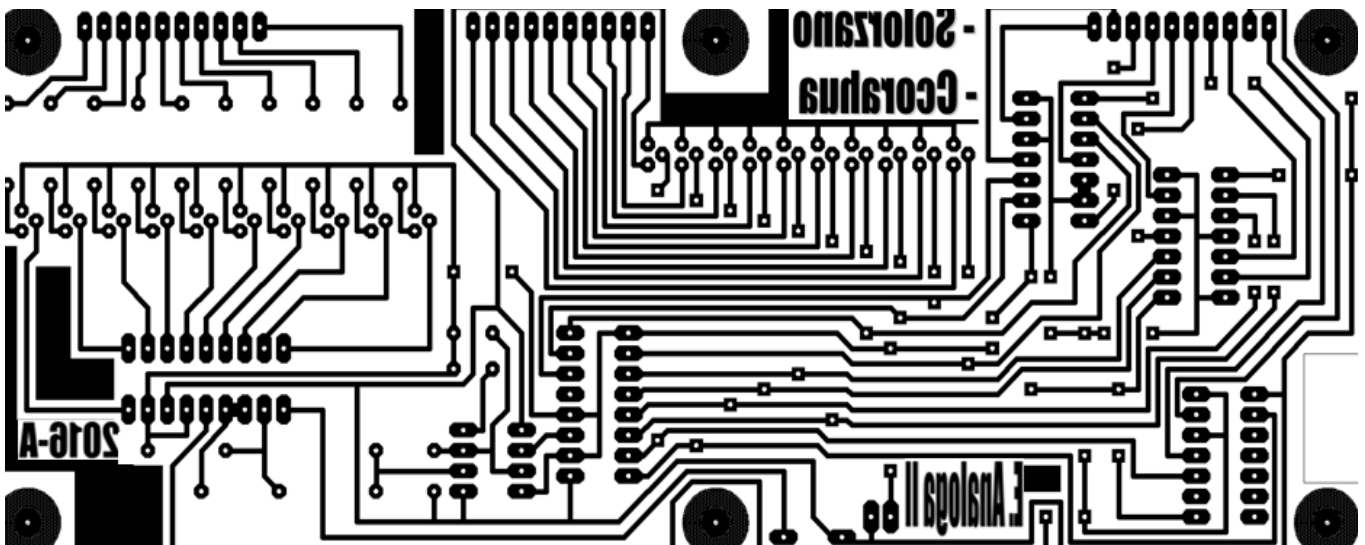


F) Circuitos Impresos (PCB):

- Filtros:

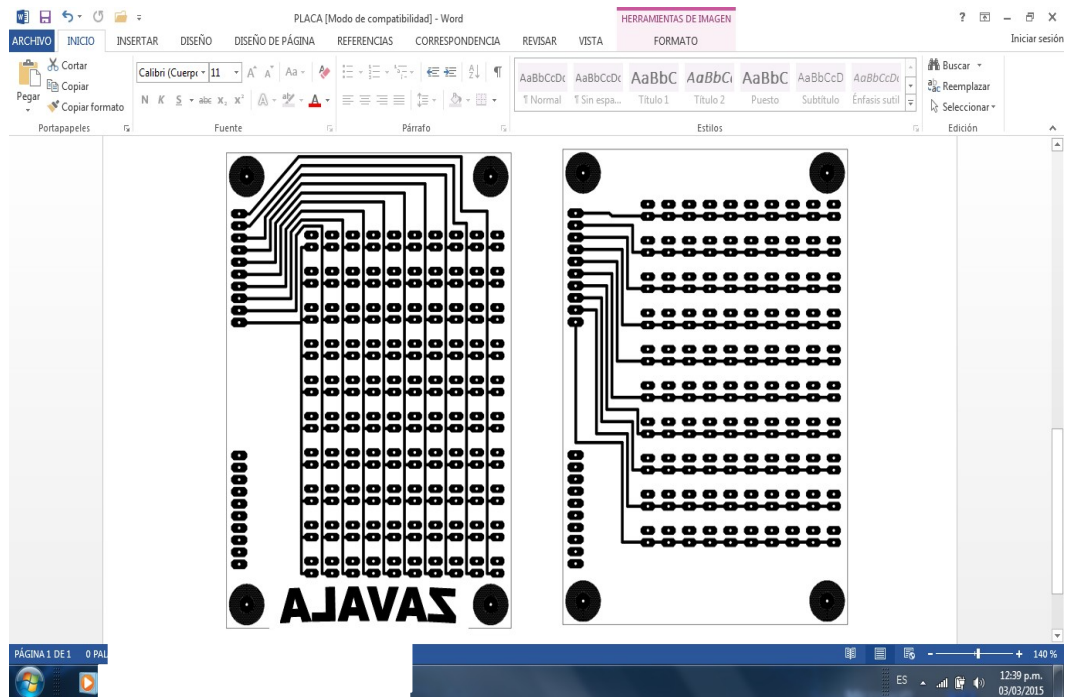


- Multiplexacion:

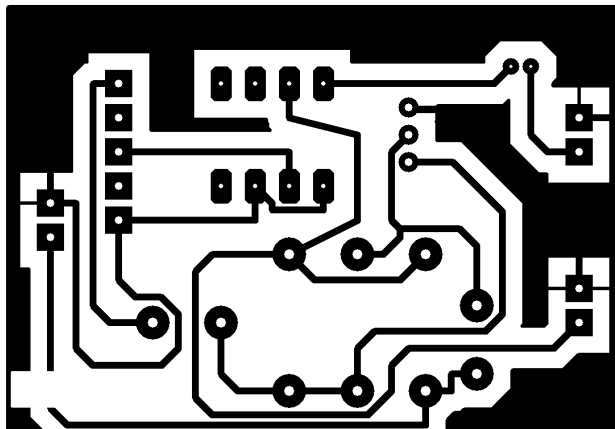


- **Pantalla de Leds:**

Se utilizó una placa de fibra de vidrio de doble capa.

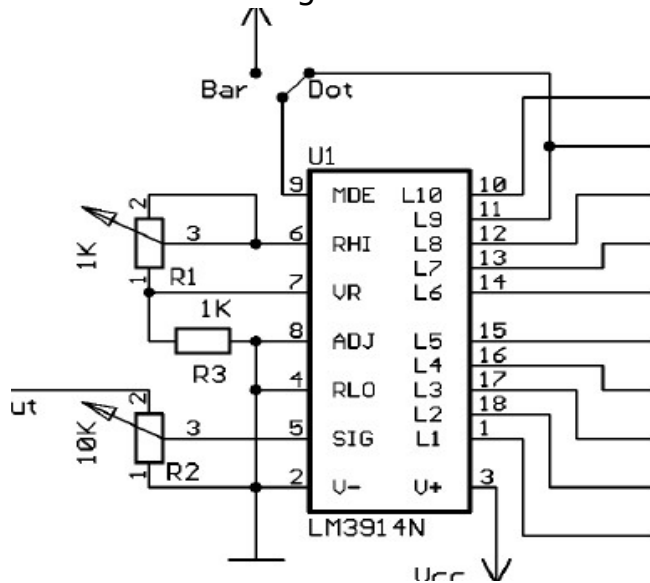


- **Amplificador de micrófono:**

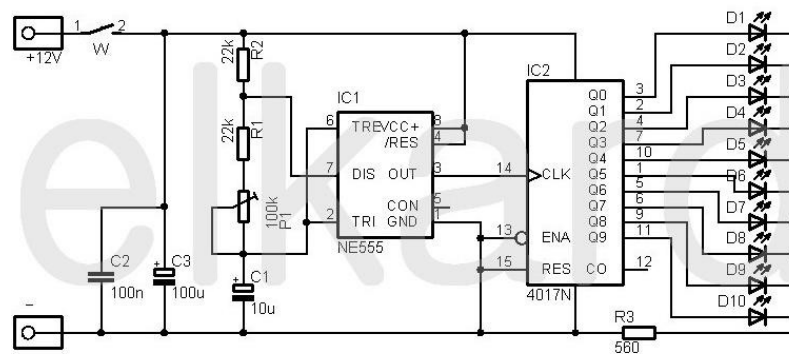


Integrados utilizados:

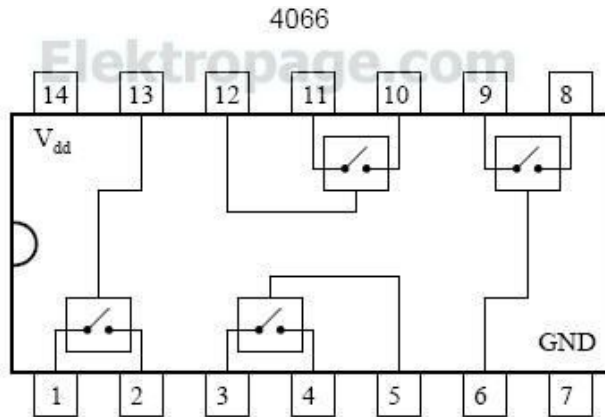
- **Vumetro:** configuración LM 3915



- **Configuración de NE555 y CD4017N:**



- **4066:**



CONCLUSIONES:

- Se logró diseñar un vúmetro que sea capaz de indicar los valores de nivel de voltaje de una banda de frecuencia determinada.
- El proyecto es capaz de filtrar 10 rangos de frecuencias distintas de una señal compuesta por gran cantidad de las mismas, como lo es el sonido.
- Se desarrolló conocimientos básicos obtenidos anteriormente que fueron utilizados en el diseño de los elementos a utilizar.
- Aunque en la mayoría de los casos se especifica la ganancia del filtro, a veces es necesario tener en cuenta la fase. En un filtro pasa bajos, a baja frecuencia, la fase es aproximadamente lineal con la frecuencia, lo cual implica un retardo de grupo constante y, por lo tanto, un retardo absoluto constante. A frecuencias más altas la fase tiende a crecer cada vez más lentamente, por lo que el retardo absoluto se va reduciendo.
- Los activos, una fuente de alimentación y los amplificadores necesarios, además de los componentes pasivos de rigor. Los filtros activos requieren un hardware de cómputo capaz de procesar datos a alta velocidad.

BIBLIOGRAFIA:

- Guía del curso de Electrónica Análoga II (Ing. Ronald P. Coaguila Gomez).
- introduce block diagram and operation theory
- <http://pa-elektronika.hu/hu/kesz-projektek/94-spektrum-analizator-ii.html>