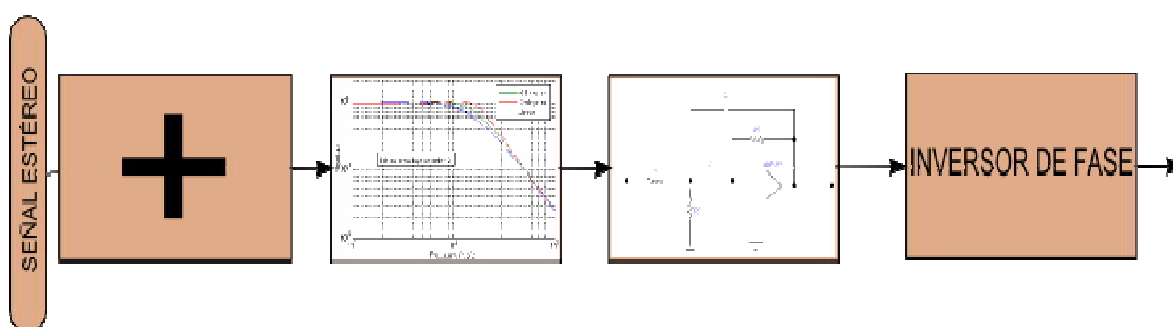


|                                                                                   |                                                                                  |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE |                                                              |
|                                                                                   | Fecha de creación<br>07/04/2005 18:38:00                                         | Autor: José Ángel Olmo Agudo<br>Tutor: Manuel Perales Esteve |

## 5. EL SUBWOOFER

El circuito que hemos empleado para la amplificación de sonido del subwoofer está compuesto de los siguientes bloques:



*Ilustración 5.1: Diagrama de bloques de la placa de Subwoofer*

Estos bloques son los siguientes

- Circuito de adaptación de entrada: Primero necesitamos generar la señal del subwoofer a partir de la señal estéreo. Para ello lo que normalmente se hace es sumar los dos canales estéreo para obtenerla. Además, en esta primera etapa incluimos también el control de volumen.
- Filtro paso de baja: Con el fin de eliminar todas las frecuencias por encima del rango del subwoofer, que suele ser hasta los 100 Hz.
- Ecualizador: Para amplificar las frecuencias más bajas, y hacer la banda de paso lo más plana posible.
- Inversor de fase: Este circuito lo incluimos como mera curiosidad. Como veremos más adelante, su principal finalidad es cambiar la fase del subwoofer, para así poder jugar con los efectos de audio y la posición física del altavoz. Aún así, no lo tuvimos en cuenta a la hora de realizar las diferentes pruebas al circuito.

Destacar que todos los amplificadores usados en esta placa, al igual que en el resto del proyecto, son el modelo TL072, y los motivos para su uso ya se han comentado sobradamente.

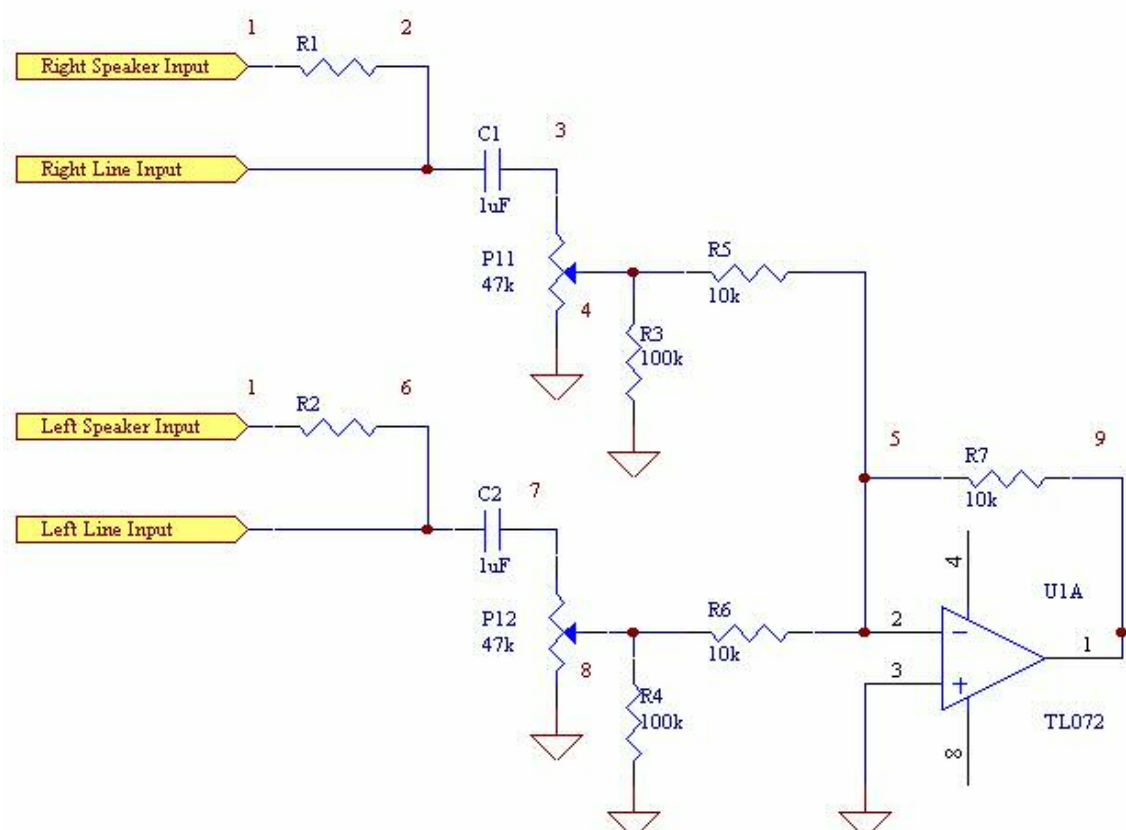
|                                                                                   |                                                                                  |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE |                                                              |
|                                                                                   | Fecha de creación<br>07/04/2005 18:38:00                                         | Autor: José Ángel Olmo Agudo<br>Tutor: Manuel Perales Esteve |

### 5.1 Circuito de adaptación de entrada

El circuito de entrada, como comentamos, consiste en un sumador para permitir una entrada estéreo al subwoofer. La señal de entrada puede proporcionarse tanto de un circuito de preamplificación de subwoofer como de una línea de salida de unos altavoces, que es nuestro caso (posteriormente añadimos la etapa de amplificación de woofer).

La señal pasa por un filtro paso alta de primer orden compuesto por C1, C2 y P1 que además elimina toda la señal de continua no deseada a la entrada. Un filtro paso baja que consiste en R3, R4, y C3 elimina las frecuencias sobre 10 kHz que traerían sólo inestabilidad y ruido. El amplificador invierte la señal.

El esquemático del circuito es el siguiente:



*Ilustración 5.2: Circuito de adaptación de entrada<sup>4</sup>*

<sup>4</sup> Diseño extraído de la web [http://members.hometown.aol.com/\\_ht\\_a/lmdmkm/index.htm](http://members.hometown.aol.com/_ht_a/lmdmkm/index.htm)

|                                                                                   |                                                                                  |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE |                                                              |
|                                                                                   | Fecha de creación<br>07/04/2005 18:38:00                                         | Autor: José Ángel Olmo Agudo<br>Tutor: Manuel Perales Esteve |

La frecuencia mínima de corte puede calcularse de la siguiente manera:

$$f_n = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot P1 \parallel R3 \parallel R5 \cdot C1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot P1 \parallel R4 \parallel R5 \cdot C2}$$

Para los valores empleados en la figura, obtenemos una  $f_{\min} = 22,7$  Hz., del orden de la frecuencia que necesitamos. La principal razón por la que hemos obtenido este valor es que los componentes están normalizados. Si queremos frecuencias más bajas, no tenemos nada más que emplear condensadores más grandes, como se extrae de la ecuación anterior (aunque no es aconsejable si se aplica este circuito con un subwoofer de poca calidad).

### 5.1.1 Control de volumen del subwoofer

Por otro lado, incluimos también en esta primera etapa el control de volumen. Para ello volvimos a usar el potenciómetro digital DS1802, conectando a los dos pines de entrada (H0 y H1), la entrada estéreo, tal y como hemos visto en la figura anterior, aunque esta vez de forma distinta a la placa de control. En este caso utilizamos otro modo disponible del potenciómetro digital, mediante el cual, conectando dos botones a la entrada, se puede controlar la resistencia variable sin necesidad de ningún dispositivo adicional. Si recordamos el patillaje del DS1802

| CONTACT INPUT | DESCRIPTION                  |
|---------------|------------------------------|
| UC0*          | Up contact potentiometer-0   |
| UC1*          | Up contact potentiometer-1   |
| DC0*          | Down contact potentiometer-0 |
| DC1*          | Down contact potentiometer-1 |
| VU**          | Volume-up                    |
| VD**          | Volume-down                  |
| B0**          | Balance Pot-0                |
| B1**          | Balance Pot-1                |

\* independent mode control

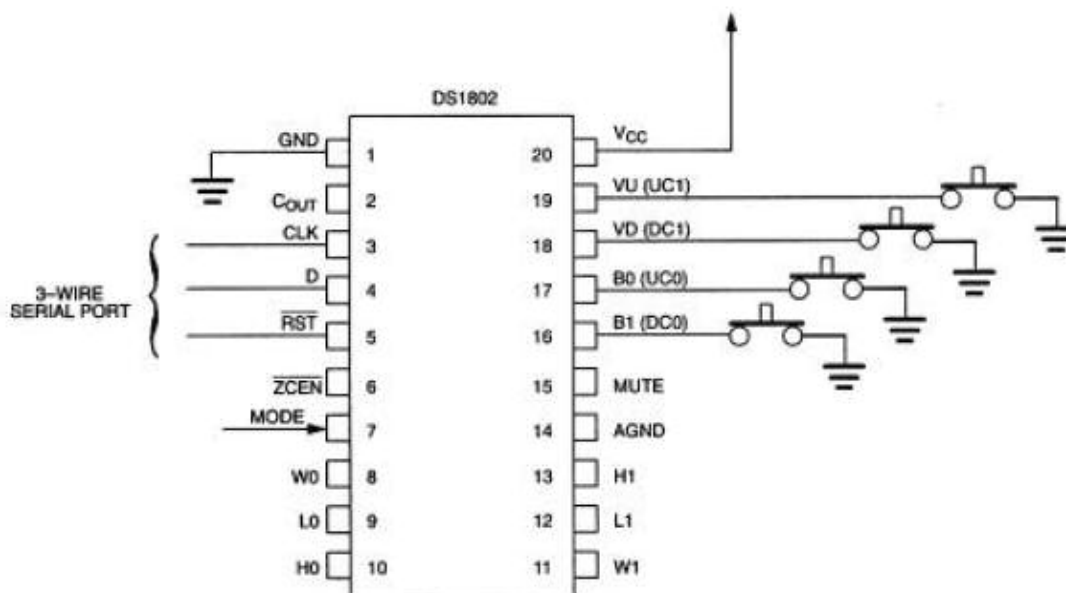
\*\* stereo mode control

*Ilustración 5.3: Funcionamiento de las entradas en función del modo empleado*

|                                                                                   |                                                                                  |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE |                                                              |
|                                                                                   | Fecha de creación<br>07/04/2005 18:38:00                                         | Autor: José Ángel Olmo Agudo<br>Tutor: Manuel Perales Esteve |

Vemos que el potenciómetro nos proporciona dos modos de controlar a través de botones las resistencias variables. El primero consiste en controlar de forma independiente los canales de audio, a través de un botón de subir y otro de bajar para cada canal. Como estamos usando el control de volumen para después sumar las señales y así obtener la señal del subwoofer, no tiene mucho sentido desequilibrar el volumen de un canal con respecto al otro, y por tanto, desestimamos este modo de funcionamiento.

Por otro lado, existe el llamado control estéreo, que consiste en controlar ambos canales de forma simultánea, mediante un botón de subir y otro de bajar. Además incluye otras dos entradas para controlar el balance de un canal con respecto al otro, tal y como indica la figura



***Ilustración 5.4: Botones de entrada al control estéreo***

La realidad fue, que tal y como hemos comentado, no nos interesa que los dos canales estéreo tengan volúmenes diferentes, así que no incluimos los botones de balance en el diseño de la placa.

Para seleccionar uno u otro modo de operación se hay que indicárselo al integrado mediante el pin MODE, poniéndolo a '1' lógico en caso de control independiente de los canales, y a '0' lógico en caso de control estéreo, como es el caso.

El dispositivo se alimenta a 5V, y el resto de pines del dispositivo se obviaron, puesto que no nos hacían ningún tipo de falta para esta funcionalidad.

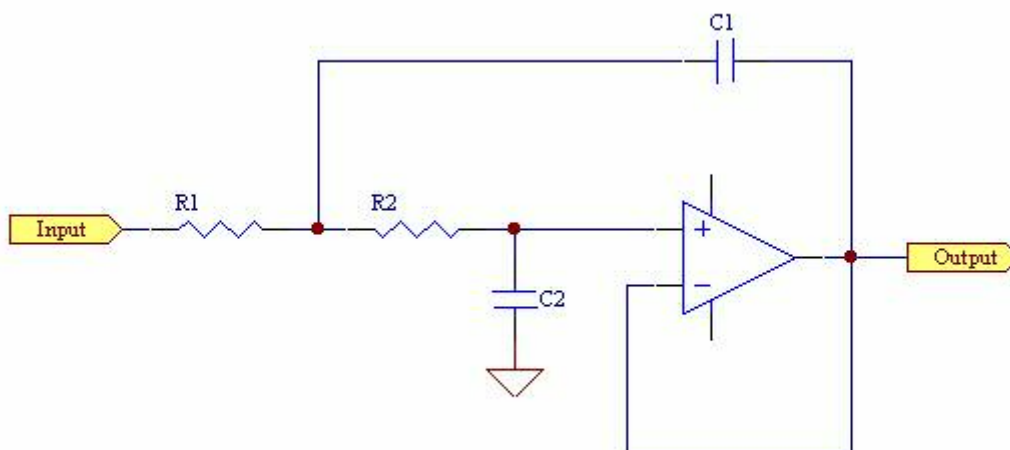
|                                                                                   |                                                                                  |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE |                                                              |
|                                                                                   | Fecha de creación<br>07/04/2005 18:38:00                                         | Autor: José Ángel Olmo Agudo<br>Tutor: Manuel Perales Esteve |

Un último detalle que me gustaría comentar es que, aunque no se ha hecho uso de ello, se diseñó la placa incluyendo una borna de 3 pines conectada a los pines de entrada del modo serie. Esto se hizo así por si, conforme se iba avanzando en el proyecto, se decidía cambiar el modo de controlar el subwoofer y hacerlo a través de un PIC u otro dispositivo. También se podría plantear como posible ampliación a este proyecto el controlarlo de otra manera.

## 5.2 El filtro paso de baja

A continuación del circuito de entrada empleamos un circuito paso de baja de segundo orden (conocido como Sallen Key Filter o filtro dominante de Sallen) para eliminar las frecuencias manejadas por los otros canales, y así quedarnos con las frecuencias más bajas, típicas de un subwoofer.

El esquemático es el siguiente:



*Ilustración 5.5: Filtro paso de baja de segundo orden<sup>5</sup>*

Y los valores de los componentes del circuito pueden obtenerse a partir de las siguientes fórmulas:

$$C1 = \frac{Q}{R \cdot f_c \cdot \pi}$$

$$C2 = \frac{1}{4 \cdot R \cdot f_c \cdot Q \cdot \pi}$$

<sup>5</sup> Diseño extraído de la web [http://members.hometown.aol.com/\\_ht\\_a/lmdmkm/index.htm](http://members.hometown.aol.com/_ht_a/lmdmkm/index.htm)

|                                                                                   |                                                                                  |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE |                                                              |
|                                                                                   | Fecha de creación<br>07/04/2005 18:38:00                                         | Autor: José Ángel Olmo Agudo<br>Tutor: Manuel Perales Esteve |

Donde ambas resistencias tiene el mismo valor. Para nuestro caso, pretendemos que la frecuencia de funcionamiento esté entre 30 y 160 Hz, siendo la frecuencia central de 80 Hz (y con  $Q = 0,707$ ). Con estos valores, y tomando  $R = 10k$ , nos queda:

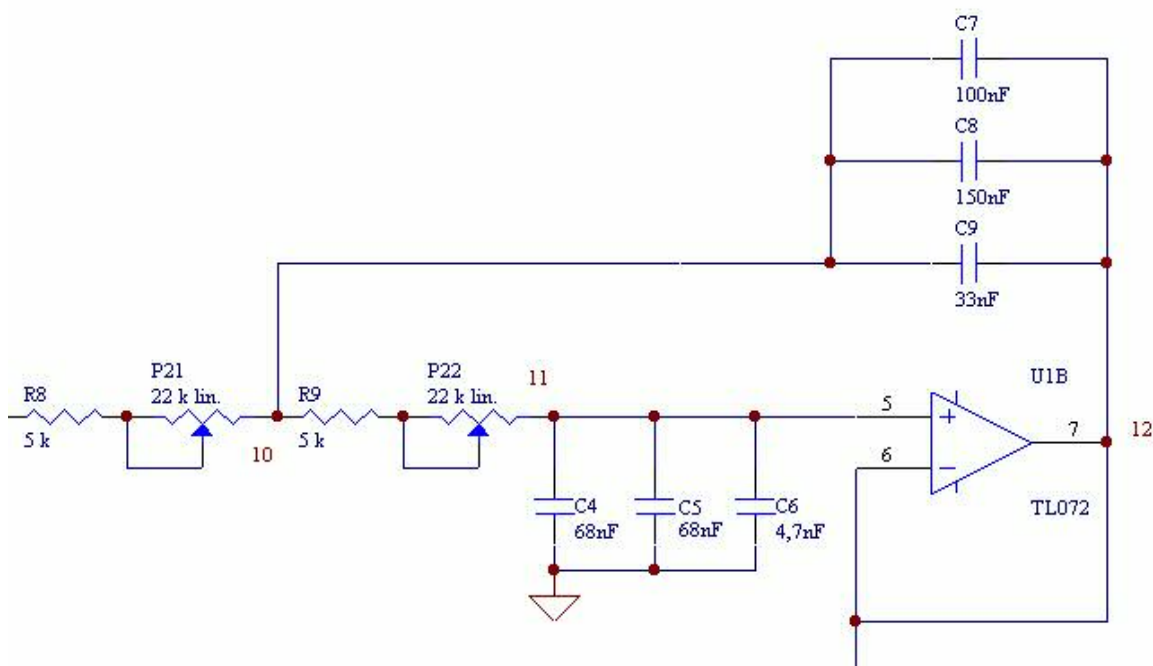
$$C1 = 282,5 \text{ nF} ; C2 = 140,1 \text{ nF}.$$

Para la obtención práctica de estos valores, usamos los siguientes paralelos:

$$C1 = 100 \text{ nF} // 150 \text{ nF} // 33 \text{ nF} = 282 \text{ nF}$$

$$C2 = 68 \text{ nF} // 68 \text{ nF} // 4,7 \text{ nF} = 140,7 \text{ nF}$$

A partir de una resistencia  $R$  variable, en teoría podemos conseguir una  $f_c$  variable, pero la simulación (y la realidad) revela que la variabilidad no es tanta. Aún así, nos es útil para añadir un pequeño ecualizador en nuestro circuito (para comprobar los efectos de distintos tipos de música), por lo que hemos añadido 2 potenciómetros de 22k en serie para poder tener un pequeño margen de maniobra, de la siguiente forma:

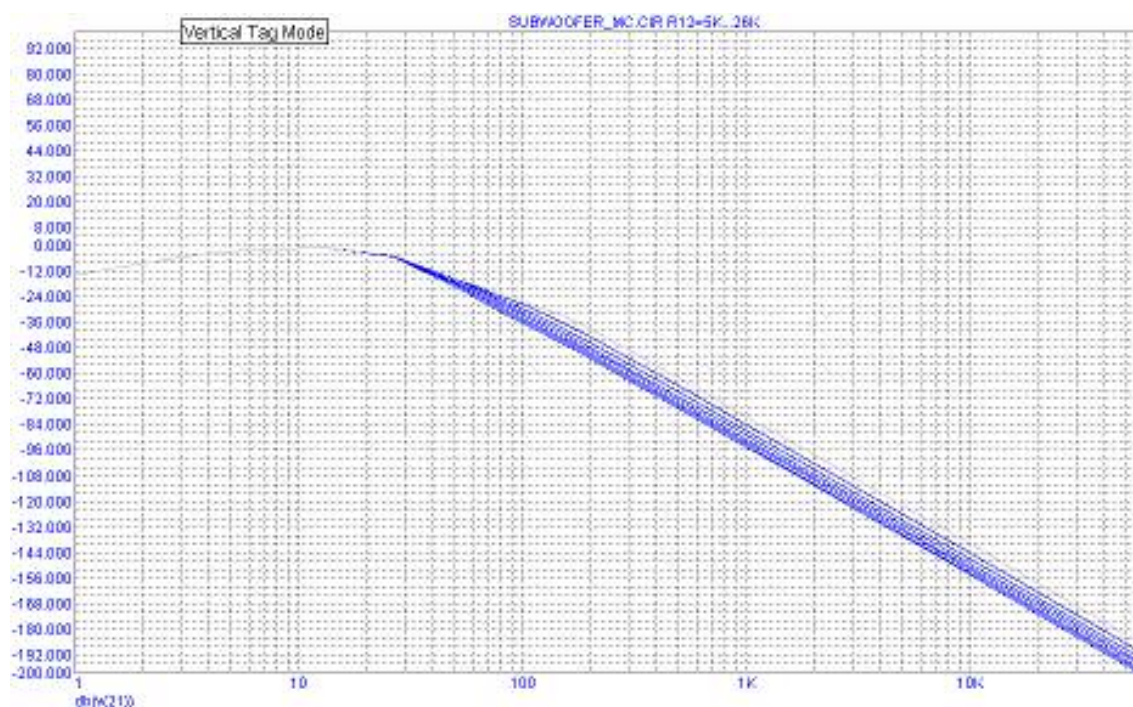


**Ilustración 5.6: Implementación práctica de los valores teóricos**

|                                                                                   |                                                                                  |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE |                                                              |
|                                                                                   | Fecha de creación<br>07/04/2005 18:38:00                                         | Autor: José Ángel Olmo Agudo<br>Tutor: Manuel Perales Esteve |

### 5.2.1 Simulación del filtro

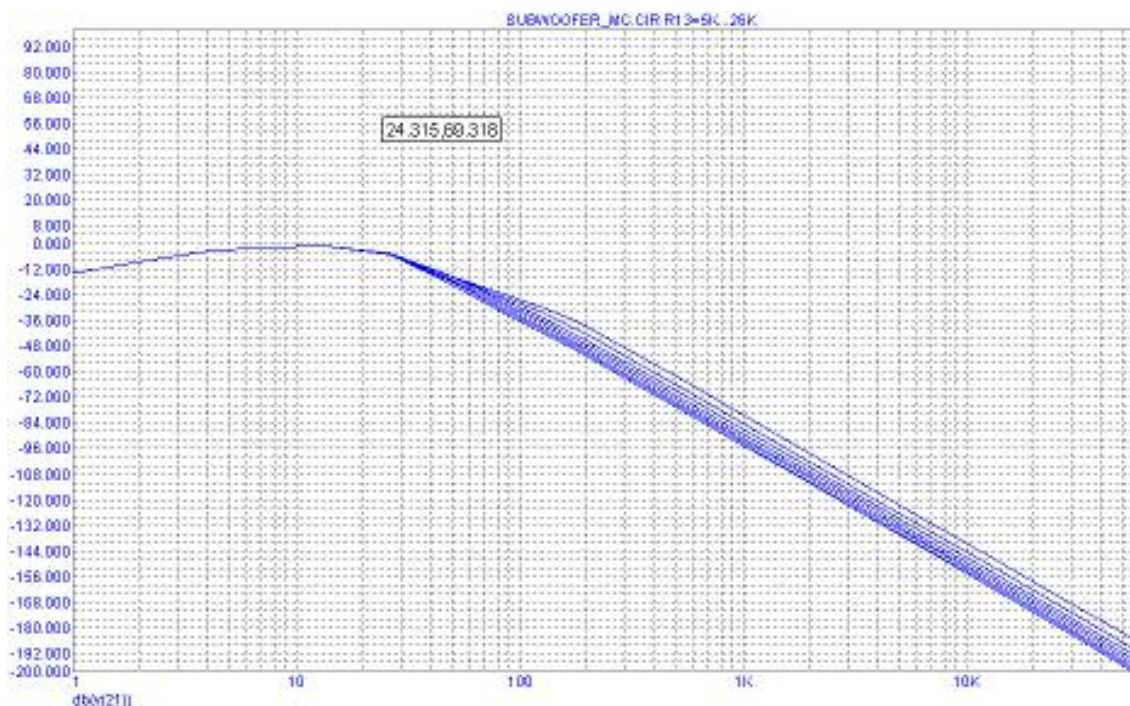
Llegados a este punto, se decidió comprobar que efecto tenían estos potenciómetros en la frecuencia de corte del circuito. Para ello usamos microcap, programa ampliamente conocido y usado. La simulación realizada, variando primero el primer potenciómetro queda de la siguiente forma:



*Ilustración 5.7: Función de transferencia del filtro variando el primer potenciómetro*

Y para el segundo potenciómetro:

|                                                                                   |                                                                                  |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE |                                                              |
|                                                                                   | Fecha de creación<br>07/04/2005 18:38:00                                         | Autor: José Ángel Olmo Agudo<br>Tutor: Manuel Perales Esteve |



**Ilustración 5.8: Función de transferencia del filtro variando el primer potenciómetro**

Como hemos dicho antes, el margen no es muy amplio, pero nos da cierta flexibilidad a la hora de ajustar el sonido del subwoofer. Combinando el efecto de ambos potenciómetros podemos obtener ciertas modificaciones en el sonido, porque aunque en principio parecen frecuencias muy atenuadas, con el efecto de la etapa de amplificación, conseguimos escuchar mayores frecuencias, con las que podemos jugar (no olvidemos que la mayoría de los equipos comerciales tienen su frecuencia de corte superior en un rango comprendido entre 120-200 Hz, la diferencia de sonidos entre unos y otros es importante).

Como no nos pareció demasiado exacto, decidimos realizar algunas pruebas experimentales, para comprobar el funcionamiento del circuito completo.

### 5.2.2 Test del circuito completo

Aunque no hemos concluido de explicar todo el circuito del subwoofer, parece oportuno comparar estos resultados teóricos con lo que en realidad ocurre en el circuito. Para ello, le hemos metido a la entrada una señal sinusoidal de amplitud constante (100mV), a la que le hemos ido variando la frecuencia entre 0 y 100Hz, que son las frecuencias donde funciona el circuito diseñado. Con todo esto, hemos variado el valor de uno de los potenciómetros (el P1) colocados en el filtro, dejando el otro constante (el P2) a un valor de 10 K $\Omega$ , y obteniendo los siguientes resultados:

|                                                                                   |                                                                                         |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|  | <b>ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE</b> |                                                              |
|                                                                                   | Fecha de creación<br>07/04/2005 18:38:00                                                | Autor: José Ángel Olmo Agudo<br>Tutor: Manuel Perales Esteve |

Para un valor de P1 de 5 K $\Omega$ :

| <b>FRECUENCIA</b> | <b>SALIDA (en V)</b> |
|-------------------|----------------------|
| 2 Hz              | 0 V                  |
| 5 Hz              | 0,1 V                |
| 10 Hz             | 0,18 V               |
| 20 Hz             | 0,21 V               |
| 40 Hz             | 0,14 V               |
| 50 Hz             | 0,1 V                |
| 60 Hz             | 0,85 V               |
| 80 Hz             | 0,6 V                |
| 100 Hz            | 0,4 V                |

Para un valor de P1 de 10 K $\Omega$ :

| <b>FRECUENCIA</b> | <b>SALIDA (en V)</b> |
|-------------------|----------------------|
| 2 Hz              | 0,05V                |
| 5 Hz              | 0,1 V                |
| 10 Hz             | 0,17V                |
| 20 Hz             | 0,2 V                |
| 40 Hz             | 0,15 V               |
| 50 Hz             | 0,09 V               |
| 100 Hz            | 0,04 V               |

Para un valor de P1 de 12,75 K $\Omega$ :

| <b>FRECUENCIA</b> | <b>SALIDA (en V)</b> |
|-------------------|----------------------|
| 2 Hz              | 0,04 V               |
| 5 Hz              | 0,1 V                |
| 10 Hz             | 0,18 V               |
| 20 Hz             | 0,21 V               |
| 40 Hz             | 0,11 V               |
| 50 Hz             | 0,06 V               |

Para un valor de P1 de 21 K $\Omega$ :

|                                                                                   |                                                                                         |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|  | <b>ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE</b> |                                                              |
|                                                                                   | Fecha de creación<br>07/04/2005 18:38:00                                                | Autor: José Ángel Olmo Agudo<br>Tutor: Manuel Perales Esteve |

| <b>FRECUENCIA</b> | <b>SALIDA (en V)</b> |
|-------------------|----------------------|
| 2 Hz              | 0,05 V               |
| 5 Hz              | 0,1 V                |
| 10 Hz             | 0,17 V               |
| 20 Hz             | 0,2 V                |
| 40 Hz             | 0,08 V               |
| 50 Hz             | 0,05 V               |

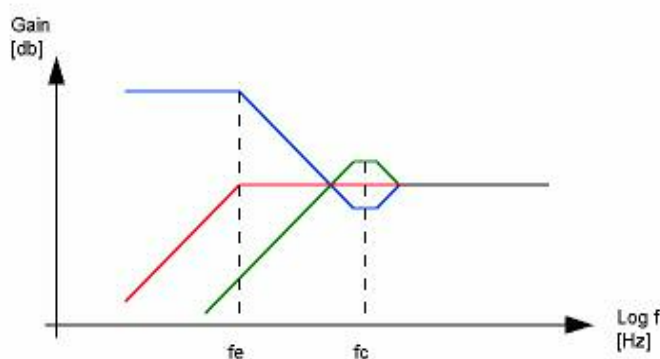
Podemos extraer algunas conclusiones de estos resultados, Por un lado vemos que, como ya dijimos antes, el efecto de los potenciómetros, aunque no es determinante, nos sirve para controlar de alguna manera el sonido del subwoofer. Aún así, comentar que cuanto más se aumenta el valor del potenciómetro 1 (lo mismo sucede con el segundo), se estrecha el ancho de banda del circuito, y se atenúa algo más la señal.

Por otro lado, como explicaremos a continuación, se nota el efecto del ecualizador colocado en el circuito, ya que las más bajas frecuencias no están tan atenuadas como indica la simulación realizada.

Por último, comentar que, cuando se realizaron las pruebas finales de sonido, se comprobó que sí se modificaba de forma considerable el sonido emitido por el subwoofer, añadiendo o quitando reverberación, de tal forma que se puede configurar de algún modo el sonido emitido por el mismo según la aplicación de éste.

### **5.3 El ecualizador**

La principal razón por la que usaremos un ecualizador en nuestro esquemático es que estamos trabajando con muy bajas frecuencias (por debajo de 50 Hz), las cuales necesitamos amplificar para tener una mayor calidad de sonido. Mediante este circuito, puesto a la salida del filtro, podemos conseguir una amplificación importante de las bajas frecuencia, de una forma sencilla. El efecto conseguido es algo parecido a lo que se muestra en la siguiente gráfica:

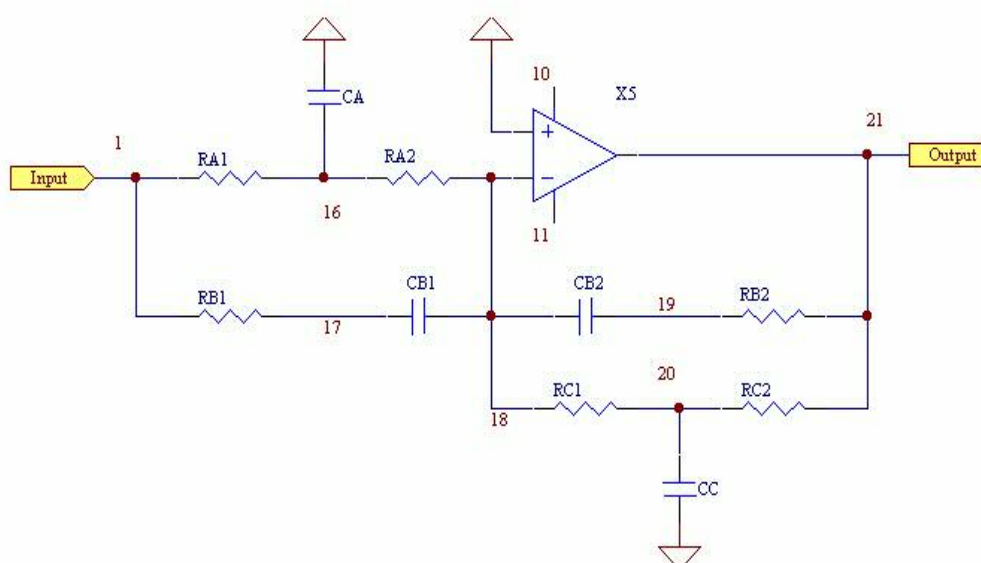


**Ilustración 5.9: Efecto del ecualizado en el filtro paso de baja**

|                                                                                   |                                                                                  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE |  |
| Fecha de creación<br>07/04/2005 18:38:00                                          | Autor: José Ángel Olmo Agudo<br>Tutor: Manuel Perales Esteve                     |  |

Vemos como no sólo aumentamos la ganancia de las bajas frecuencias, sino que también conseguimos atenuar más las frecuencias en torno a  $f_c$ , incluido el pico de ganancia que obteníamos con el filtro, con lo que conseguimos una respuesta más uniforme en torno a las frecuencias de paso.

El esquemático usado para nuestro circuito es el siguiente:



**Ilustración 5.11: Circuito ecualizador<sup>6</sup>**

Hemos usado este circuito, por las siguientes razones:

- Utiliza un solo amplificador operacional.
- Variando los componentes del circuito podemos asignar tanto  $f_c$  como  $f_c$ , es decir, podemos asignar el valor que queramos al factor de calidad Q de este circuito. Con este último punto hay que tener cierto cuidado, ya que, como dijimos antes, si bien la frecuencia de corte baja la podemos coger como queramos, tenemos que tener en cuenta que el subwoofer que usemos será con casi total seguridad de 6,5" o similar, con lo cual el sonido será de baja calidad, con mucha vibración (e incluso corremos el riesgo de romperlo), con lo que no se debería bajar por debajo de los 20 Hz.

El valor de los componentes que obtenemos para nuestro diseño es el siguiente:

<sup>6</sup> Diseño extraído de la web [http://members.hometown.aol.com/\\_ht\\_a/lmdmkm/index.htm](http://members.hometown.aol.com/_ht_a/lmdmkm/index.htm)

|                                                                                   |                                                                                  |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE |                                                              |
|                                                                                   | Fecha de creación<br>07/04/2005 18:38:00                                         | Autor: José Ángel Olmo Agudo<br>Tutor: Manuel Perales Esteve |

|     |      |     |             |
|-----|------|-----|-------------|
| RA1 | 10k  | RC1 | 48k7        |
| RA2 | 10k  | CA  | 1uF         |
| RB1 | 23k7 | CB1 | 56nF//5,6nF |
| RB2 | 23k7 | CB2 | 56nF//5,6nF |
| RC1 | 48k7 | CC  | 180nF       |

***Ilustración 5.12: Tabla de valores del circuito ecualizador***

Sustituyendo los valores en las ecuaciones de diseño, que son las siguientes:

$$R_B = 2 \cdot k \cdot R_A$$

$$R_C = \left( \frac{\omega_c}{\omega_e} \right)^2 \cdot R_A$$

$$C_A = \frac{2 \cdot Q_{tc} \cdot (1+k)}{R_A \cdot \omega_c}$$

$$C_B = \frac{1}{2 \cdot Q_{tc} \cdot R_A \cdot (1+k)}$$

$$C_C = \left( \frac{\omega_e}{\omega_c} \right)^2 \cdot C_A$$

$$k = \frac{\frac{\omega_e}{\omega_c} - \frac{Q_{tc}}{Q_e}}{\frac{Q_e}{Q_{tc}} - \frac{\omega_c}{\omega_e}}$$

Usando componentes normales, se obtiene para los valores aportados anteriormente, una frecuencia en torno a 32,4 Hz, hasta esta frecuencia tenemos una ganancia de 12 dB, a partir de aquí decae hasta los 8,9 dB con los que se mantiene

|                                                                                   |                                                                                  |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE |                                                              |
|                                                                                   | Fecha de creación<br>07/04/2005 18:38:00                                         | Autor: José Ángel Olmo Agudo<br>Tutor: Manuel Perales Esteve |

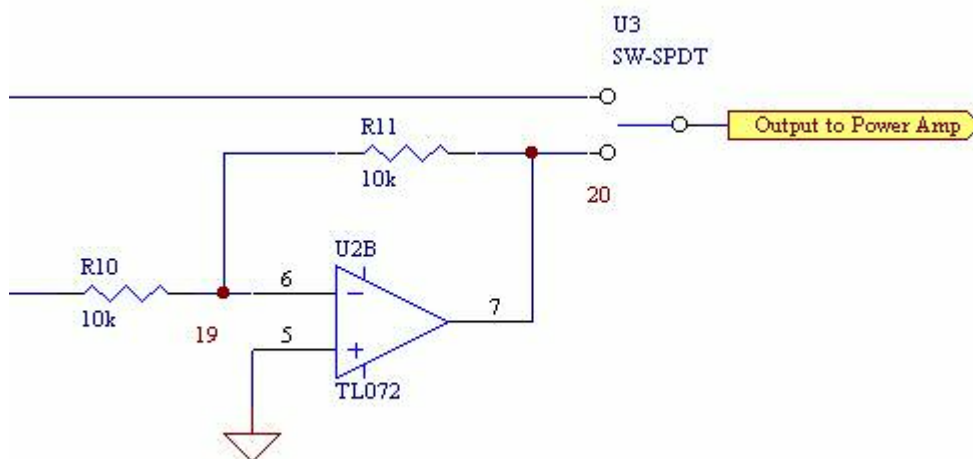
constante. Con esto parece que en principio se consiguen los 2 objetivos propuestos por el ecualizador.

### 5.4 El inversor de fase

La última etapa de esta placa es un circuito inversor de fase. Su misión es provocar un retraso en la señal importante, con el fin de obtener un encaje entre los diferentes canales en cuanto a la fase. Para conseguir esto, lo que se suele hacer es, además de jugar con esta fase, hacerlo con la posición física de los altavoces, de tal forma que de forma conjunta se consiga el sonido deseado por el usuario.

Lo ideal sería haber diseñado un filtro pasa-todo variable que nos hubiera permitido variar la fase a nuestro antojo, y no este simple inversor de fase, que sólo nos otorga dos configuraciones posibles. Esto sin embargo complicaba mucho el circuito, con lo que no invertimos mucho esfuerzo en la realización del circuito.

El esquemático es el siguiente:



*Ilustración 5.13: Circuito inversor de fase<sup>7</sup>*

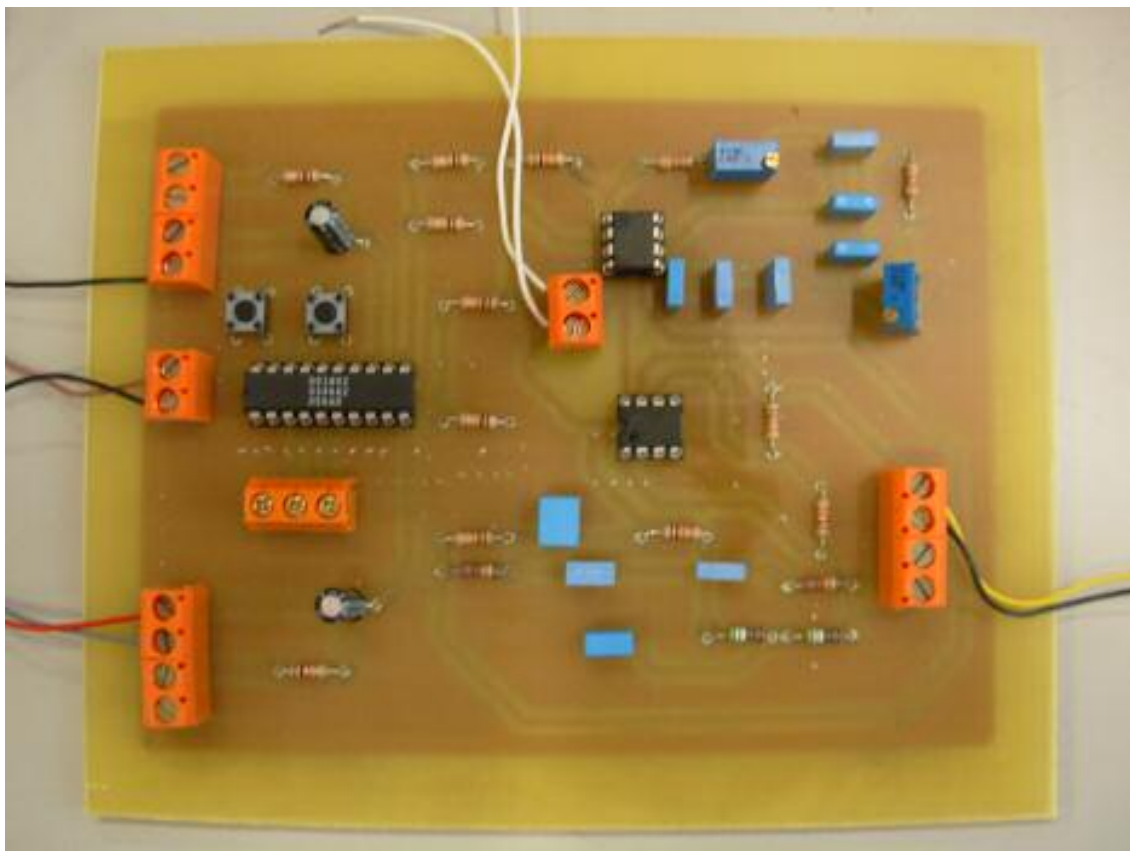
<sup>7</sup> Diseño extraído de la web [http://members.hometown.aol.com/\\_ht\\_a/lmdmkm/index.htm](http://members.hometown.aol.com/_ht_a/lmdmkm/index.htm)

|                                                                                   |                                                                                  |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|  | ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE AUDIO 5.1 CONTROLADO DIGITALMENTE |                                                              |
|                                                                                   | Fecha de creación<br>07/04/2005 18:38:00                                         | Autor: José Ángel Olmo Agudo<br>Tutor: Manuel Perales Esteve |

### 5.5 Fotografía del circuito

A continuación vamos a incluir una fotografía del acabado final del circuito. Aquí no incluiremos esquemático porque consideramos que el circuito está suficiente bien explicado y que la inclusión del diseño en PCAD no aportaría nada más. Aún así, el plano con el diseño del mismo está disponible en el anexo 1 de este proyecto.

Sin más, la fotografía del generador de subwoofer



*Ilustración 5.14: Fotografía de la placa de pruebas*