

Manual de Usuario

Placa de Aprendizaje de Filtros Activos (LPF o HPF)

Índice

Manual de Usuario.....	1
Placa de Aprendizaje de Filtros Activos (LPF o HPF).....	1
1. Introducción.....	1
2. Descripción del Circuito.....	1
3. Modelamiento Matemático.....	3
3.1. Función de Transferencia para Filtro Activo Pasabajas en PCB.....	3
3.2. Función de Transferencia para Filtro Activo Pasaaltas en PCB.....	4
4. Especificaciones Técnicas.....	5
5. Funcionamiento y Configuración.....	6
5.1 Ajuste de Offset (Offset Null).....	6
5.2. Configuración Filtro Activo Pasabajas con Ganancia Adicional de 0 dB a la Salida.....	9
5.3. Configuración Filtro Activo Pasaaltas con Ganancia Adicional de 0 dB a la Salida.....	12
6. Precauciones.....	16
Créditos.....	16

1. Introducción

La placa de aprendizaje "Filtro Activo (Pasabajas o Pasaaltas)" es un circuito impreso (PCB) diseñado para el estudio y análisis práctico de filtros activos de primer orden. Combina elementos capacitivos y resistivos en configuraciones serie y paralelo, permitiendo la formación de diversos tipos de filtros que pueden ser seleccionados fácilmente por el usuario mediante puentes de conexión (jumpers).

2. Descripción del Circuito

En la *Imagen 1*, se observa la disposición de los componentes en la placa. En la parte inferior izquierda, la placa cuenta con una columna de resistencias (R1, R2 y R3, de forma ascendente) y una columna de capacitores (C1 y C2), cada una diferenciada por su símbolo esquemático correspondiente. En la parte superior derecha, se dispone otra sección con resistencias (R4 y R5) y capacitores (C3 y C4), configurados para complementar el circuito según la selección deseada.



Imagen 1: PCB de Filtro Activo

Los elementos están interconectados por medio de jumpers, que permiten habilitar o deshabilitar cada componente individualmente. Es importante notar que en la columna de resistencias solo hay dos jumpers disponibles (SC_R1 y SC_R3), lo que indica que R2 permanece siempre conectada como elemento de protección y estabilización del circuito.

La alimentación del circuito, indicada en la serigrafía como "Dual Supply to Op Amp", corresponde a una alimentación simétrica de +12V y -12V que se utiliza para polarizar adecuadamente el amplificador operacional (TL071), permitiendo su correcto funcionamiento y manejo de señales AC.

En la parte inferior derecha, se encuentra la sección de "Offset Null", formada por dos puentes y un potenciómetro (P1). Su función es ajustar y corregir posibles tensiones de offset no deseadas que podrían presentarse en el amplificador operacional, optimizando así la precisión del circuito. Los capacitores C5 y C6, por su parte, actúan como capacitores de desacople, filtrando interferencias o ruidos provenientes de la alimentación y asegurando una operación estable del amplificador.

La placa incluye, además, en la parte inferior izquierda, pines específicos para la conexión de señales de prueba. El pin VIN, identificado con la serigrafía de una señal AC, es el punto de conexión para el generador de señales externo que introduce la señal de entrada al circuito. A su vez, el pin VIN_CH se utiliza para conectar la punta de prueba del osciloscopio, permitiendo visualizar y analizar la señal de entrada. El pin VOUT_CH proporciona la señal de salida del filtro, la cual también puede ser medida mediante un osciloscopio u otro equipo de prueba. Finalmente, la sección GND_C indica pines de conexión a tierra para completar el circuito.

Este diseño facilita la experimentación y comprensión de los principios de filtrado activo, permitiendo a los estudiantes interactuar de forma práctica con componentes reales y configuraciones seleccionables.

3. Modelamiento Matemático

3.1. Función de Transferencia para Filtro Activo Pasabajas en PCB

Partiendo de la configuración observada en la *Figura 1*, se halla la función de transferencia para el filtro activo pasabajas.

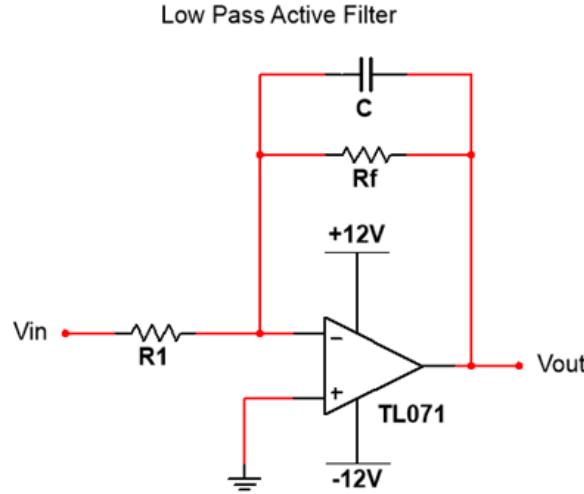


Figura 1: Filtro Activo Pasabajas

Por análisis nodal tenemos que:

$$\frac{Vi(t)}{R1} = -\frac{Vo(t)}{Rf} - \frac{Vo(t)}{X_C}$$

Aplicando Transformada de Laplace, pasamos al dominio de la frecuencia, teniendo:

$$\frac{Vi(s)}{R1} = -\frac{Vo(s)}{Rf} - sCV_o(s)$$

$$-\frac{Vi(s)}{R1} = Vo(s)\left(\frac{1}{Rf} + sC\right)$$

$$-\frac{Vi(s)}{R1} = Vo(s)\left(\frac{1 + sCRf}{Rf}\right)$$

$$\frac{Vo(s)}{Vi(s)} = -\frac{\frac{Rf}{R1}}{1 + sCRf}$$

$$H(s) = -\frac{Rf}{R1} \left(\frac{1}{1 + sCRf} \right)$$

$$H(s) = -\frac{Rf}{R1} \left(\frac{\frac{1}{RfC}}{s + \frac{1}{RfC}} \right)$$

Siendo $-\frac{Rf}{R1}$ la ganancia (A), y el signo menos, indicación de una señal de salida invertida respecto a la entrada, con una ganancia A adicional, todo esto debido al elemento activo (Amp Op) que se encuentra en configuración inversor.

Teniendo en cuenta la forma general de la función de transferencia de un filtro pasabajas $\left(\frac{\omega_o}{s + \omega_o}\right)$, se deduce para este caso que la frecuencia de corte (f_o) está dada por la expresión

$$f_o = \frac{1}{2\pi RfC}$$

3.2. Función de Transferencia para Filtro Activo Pasaaltas en PCB

Para la función de transferencia del filtro activo pasaaltas, se parte de la configuración observada en el circuito de la *Figura 2*.

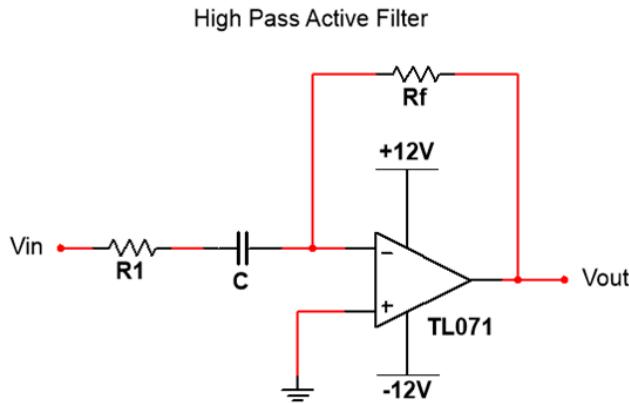


Figura 2: Filtro Activo Pasaaltas

Por análisis nodal se tiene que:

$$\frac{Vi(t)}{R1 + XC} = -\frac{Vo(t)}{Rf}$$

Aplicando Transformada de Laplace, se pasa al dominio de la frecuencia, teniendo:

$$\frac{Vi(s)}{R1 + \frac{1}{sC}} = -\frac{Vo(s)}{Rf}$$

$$\frac{Vo(s)}{Vi(s)} = -\frac{Rf}{R1 + \frac{1}{sC}}$$

$$H(s) = -\frac{\frac{Rfs}{R1}}{s + \frac{1}{RIC}}$$

$$H(s) = -\frac{Rf}{RI} \left(\frac{s}{s + \frac{1}{RIC}} \right)$$

De nuevo se obtiene que $-\frac{Rf}{RI}$ será la ganancia adicional en la señal de salida respecto a la señal de entrada del circuito.

Teniendo en cuenta la forma general de la función de transferencia de un filtro pasaaltas $\left(\frac{s}{s + \omega_o} \right)$, se deduce para este caso que la frecuencia de corte (f_o) está dada por la expresión

$$f_o = \frac{1}{2\pi RIC}$$

4. Especificaciones Técnicas

A continuación, se presentan las limitaciones físicas relevantes de algunos de los elementos que hacen parte de la placa de circuito:

Tabla 1: Parámetros de las resistencias en el circuito.

Elemento	Valor Nominal	Potencia Máx.	Voltaje Máx.	Tolerancia
R1	510Ω	150mW	150V	±1%
R2, R3, R4, R5	1kΩ	250mW	200V	±1%

Tabla 2: Parámetros de los capacitores en el circuito.

Elemento	Valor Nominal	Voltaje Máx.	Tolerancia
C1, C3	4.7nF	50V	±10%
C2, C4	10nF	50V	±10%
C5, C6	1uF	50V	±10%

Tabla 3: Parámetros del amplificador operacional.

Elemento	Rango V_I	V_S Máx = $(V_+) - (V_-)$	I_{in} Máx.
TL071	$(V_-) + 3V$ a $(V_+) + 1V$	36V	50mA

Nota: Entiéndase V_S como la tensión total de alimentación, V_+ y V_- como los voltajes en las terminales de alimentación positiva y negativa del amplificador respectivamente, V_I como el voltaje en los pines de entrada (sea inversora o no inversora) e I_{in} como la corriente en cualquiera de estas dos entradas.

5. Funcionamiento y Configuración

Teniendo en cuenta el esquemático de la PCB como se observa en la *Figura 3*. Se realiza el ajuste de un caso particular para cada uno de los dos filtros posibles en la PCB (LPF y HPF), a modo de ejemplo de configuración y funcionamiento.

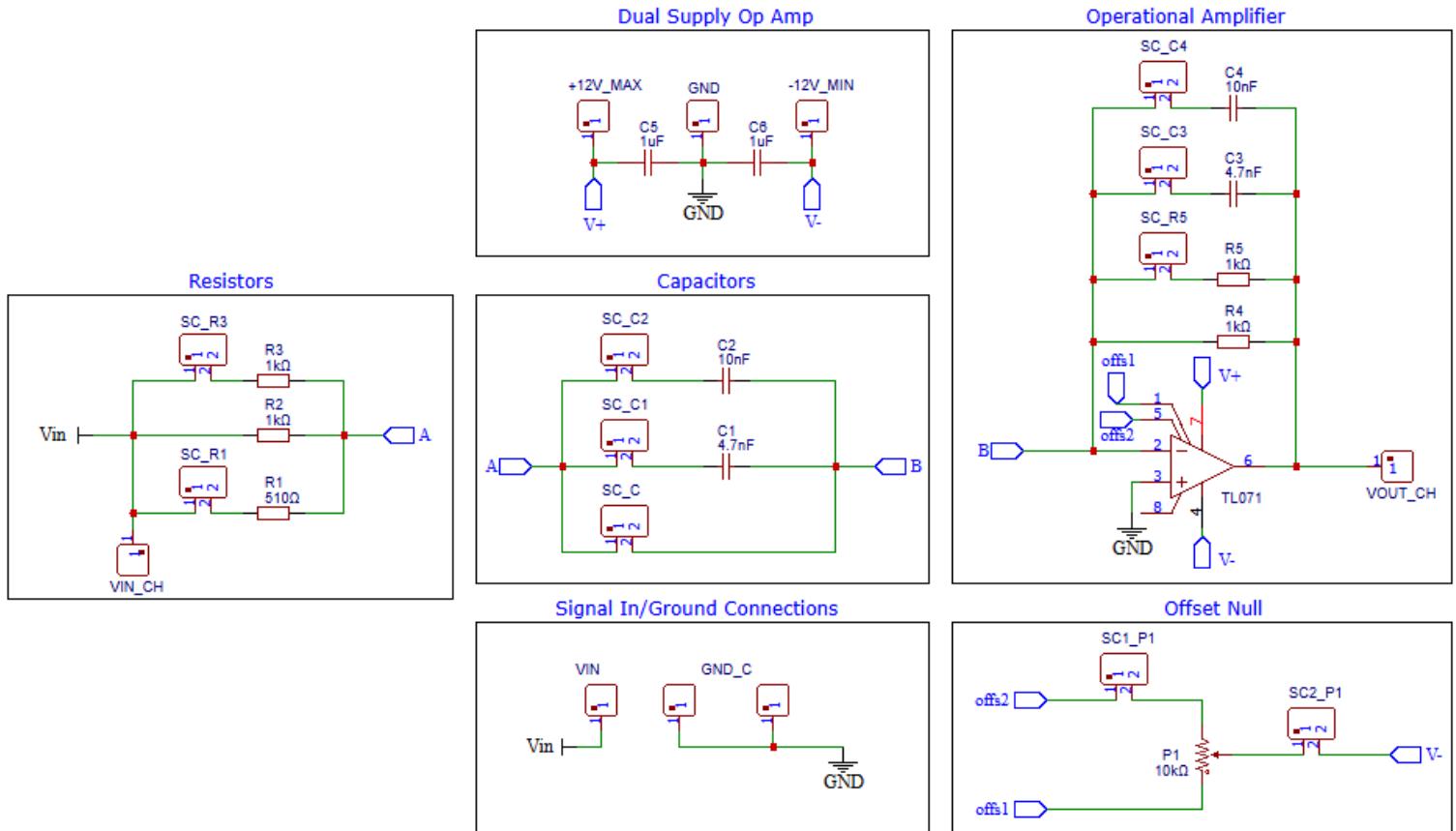


Figura 3: Esquemático de PCB "Active Filter (LPF or HPF)".

5.1 Ajuste de Offset (Offset Null)

Para visualizar y ajustar (de ser necesario) el "Offset" que pueda llegar a tener el Amp Op en la PCB, se debe conectar a la entrada del circuito --pin VIN-- la referencia a 0V de la fuente DC usada, para luego, conectar al circuito la sección de "Offset Null" --cortocircuitar jumper SC1_P1 y jumper SC2_P1--. Para el osciloscopio, se engancha la punta de prueba a pin VOUT_CH de la placa, y finalmente se conecta la alimentación del Amp Op --conectar de la fuente DC, +12V, 0V y -12V a pines +12V_MAX, GND y -12V_MIN, respectivamente--. El esquema de conexiones es el que se puede observar en la *Figura 4*.

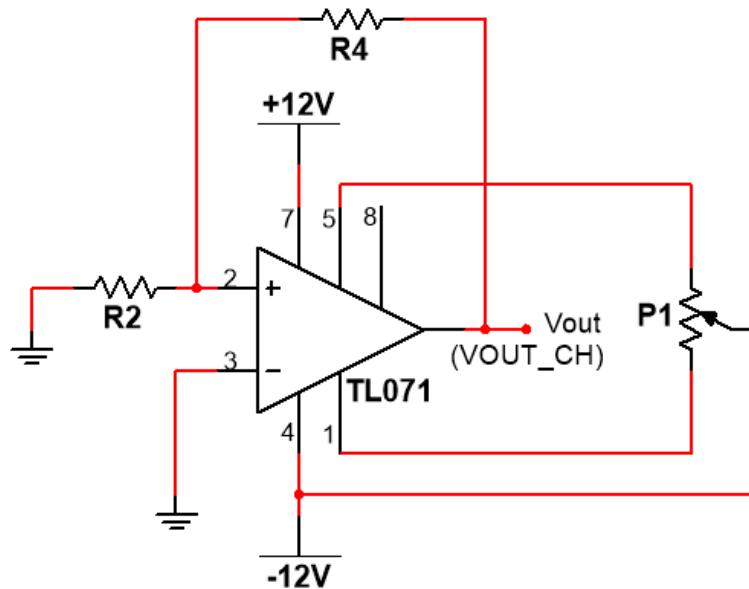


Figura 4: Esquema de Conexión para Offset Null.

Los cambios sobre la placa y las conexiones comentadas pueden observarse en la *Imagen 2*.

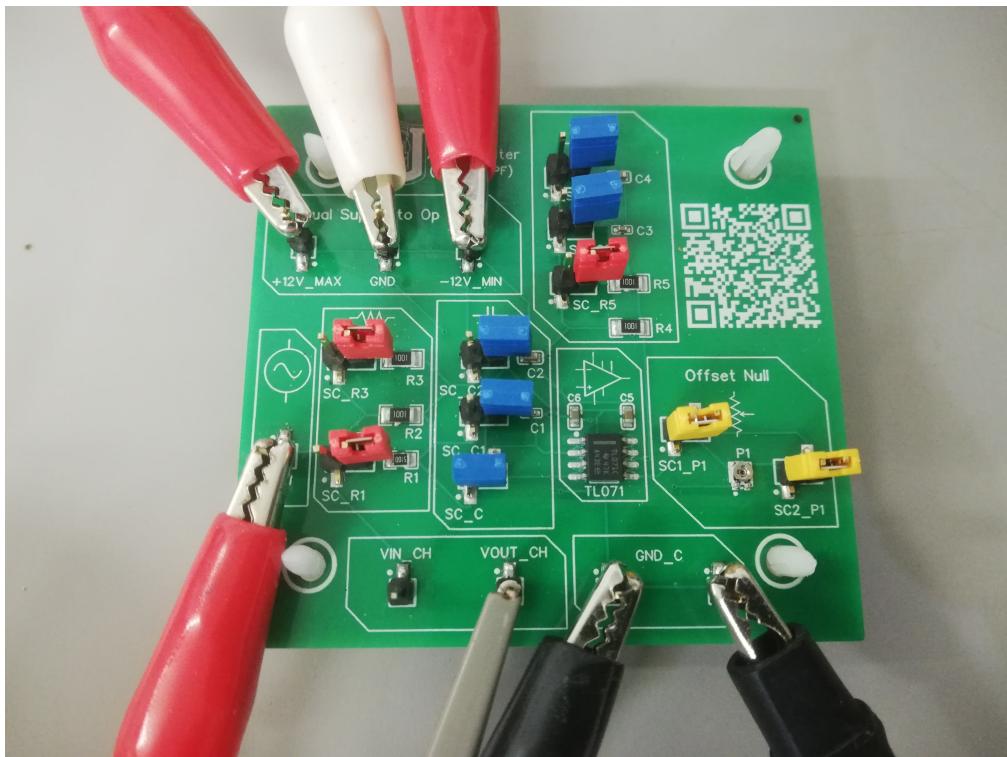


Imagen 2: Conexión de PCB para Ajuste de "Offset"

Quedando así la PCB habilitada para su respectivo ajuste de "Offset". En caso de no haber ningún "Offset", deberá observarse en la pantalla del osciloscopio una señal constante (DC) centrada verticalmente en 0V, como se observa en la *Imagen 3*.

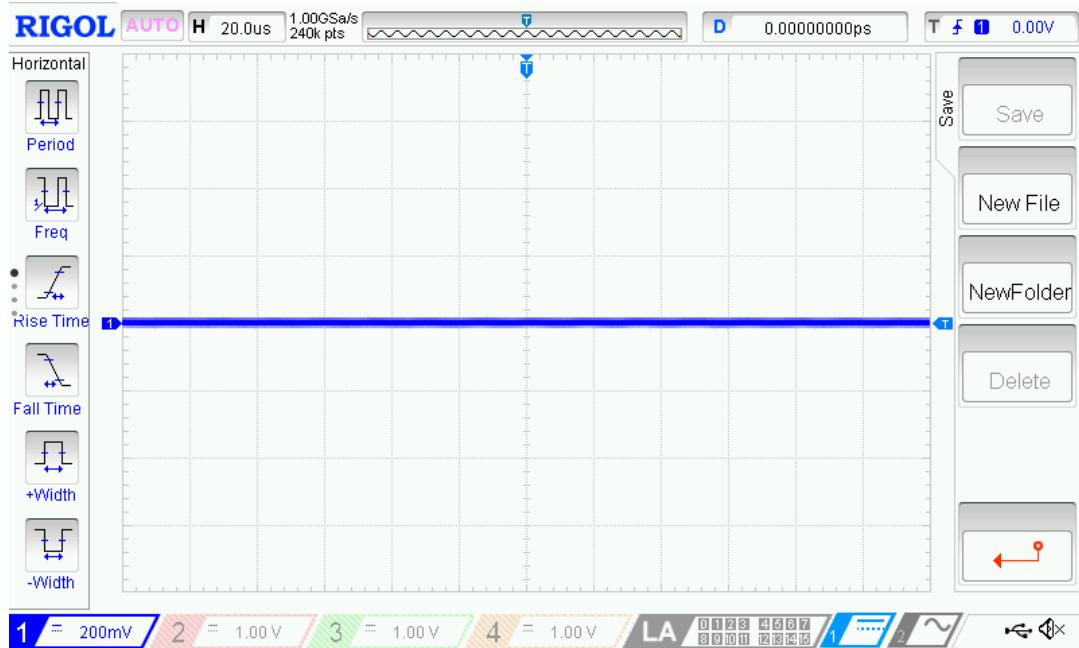


Imagen 3: Amp Op sin "Offset" por Corregir.

Por el contrario, de existir un "Offset" por corregir, se observará una señal constante desplazada verticalmente hacia arriba o hacia abajo, en referencia a los 0V (*Imagen 4*). Para corregir este "Offset", con ayuda de un destornillador para calibración y sin realizar movimientos bruscos, basta con girar el potenciómetro P1 en sentido horario o antihorario (según corresponda), hasta centrar la señal DC en los cero Volts del osciloscopio.

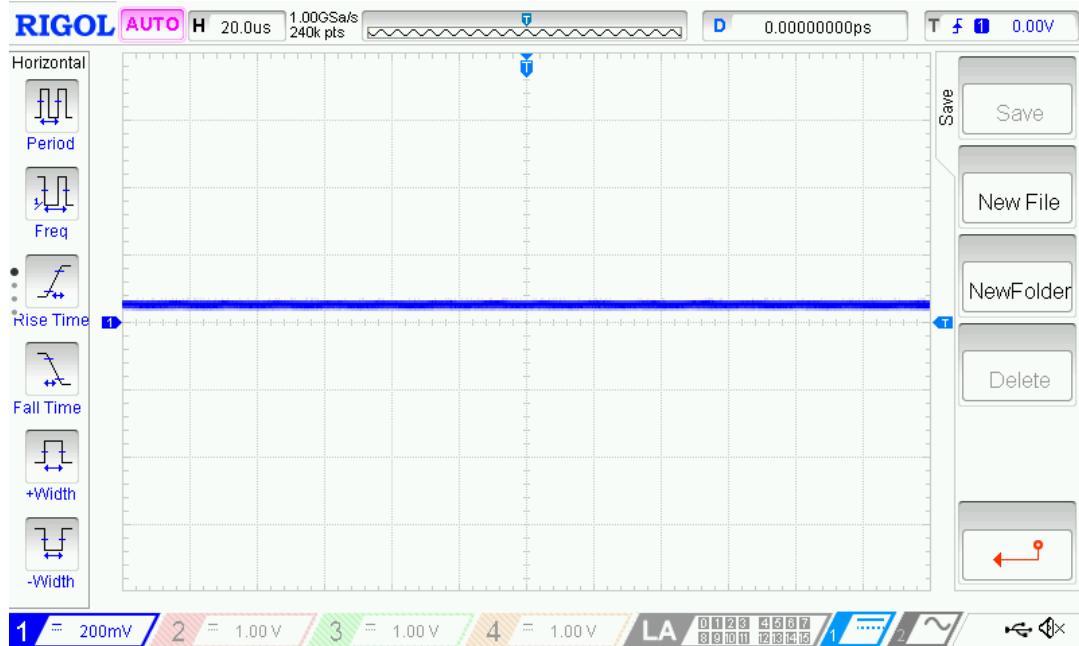


Imagen 4: Amp Op con "Offset" por Corregir.

Una vez haya terminado con el ajuste del "Offset", recuerde inhabilitar (desconectar) los jumpers de esta sección (amarillos), esto para un correcto funcionamiento de la placa en su uso posterior.

5.2. Configuración Filtro Activo Pasabajas con Ganancia Adicional de 0 dB a la Salida

Antes de energizar la placa, se ajusta el circuito para el caso particular del Filtro Activo Pasabajas, escogiendo una ganancia adicional de 0 dB. Debido a que en ambos filtros la ganancia se conseguía de la forma $\frac{R_f}{R_1}$, se usan en este caso los resistores que siempre están habilitados --R2 y R3--, de esta manera la ganancia (A) queda $\frac{1k\Omega}{1k\Omega} = 1$, esta ganancia en decibeles es $20\log(1) = 0$ es decir $A_{dB} = 0$. Se habilita el cortocircuito SC_C --cortocircuito jumper azul SC_C-- y el capacitor C4 --cortocircuito jumper azul SC_C4--, se conecta la alimentación simétrica del Amp Op +12V y -12V --conectar salidas +12V, -12V y referencia 0V de la fuente, a terminales +12V_MAX, -12V_MIN y GND de la PCB, respectivamente--, se ajusta el generador de señales a $3V_{RMS}$ y se conecta a la placa --conectar cable rojo del generador a terminal VIN y cable negro a terminal GND_C--, finalmente se conecta el osciloscopio a la PCB --conectar punta de prueba CH1 a terminal VIN_CH en la placa y punta de prueba CH2 a terminal VOUT_CH también en la placa-- para poder visualizar la señal de entrada y la señal de salida del circuito, quedando las conexiones como se puede observar en la *Imagen 5*.

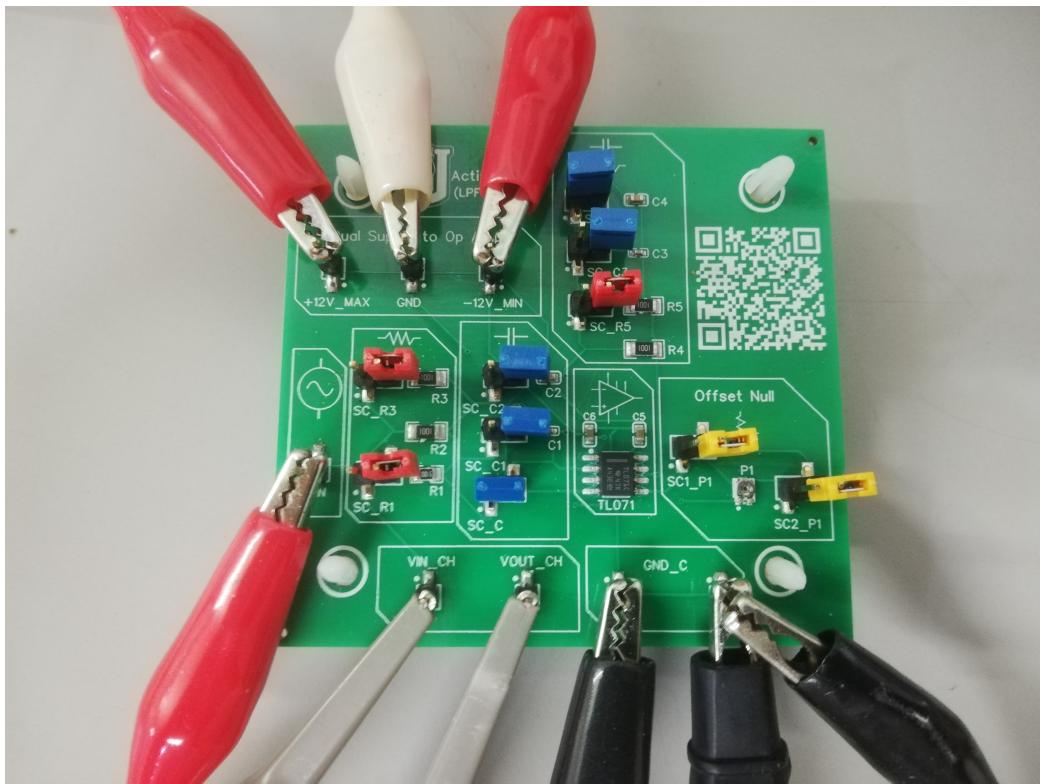


Imagen 5: Conexión PCB para Caso Particular Filtro Activo Pasabajas.

Para el análisis en frecuencia utilizando el osciloscopio, se calcula la frecuencia de corte para este filtro en particular, siendo esta $f_o = 15kHz$, se procede a hacer un barrido de frecuencia en el generador desde $f < f_o$ (*Imagen 5.1*), $f = f_o$ (*Imagen 5.2*), hasta $f > f_o$ (*Imagen 5.3*).

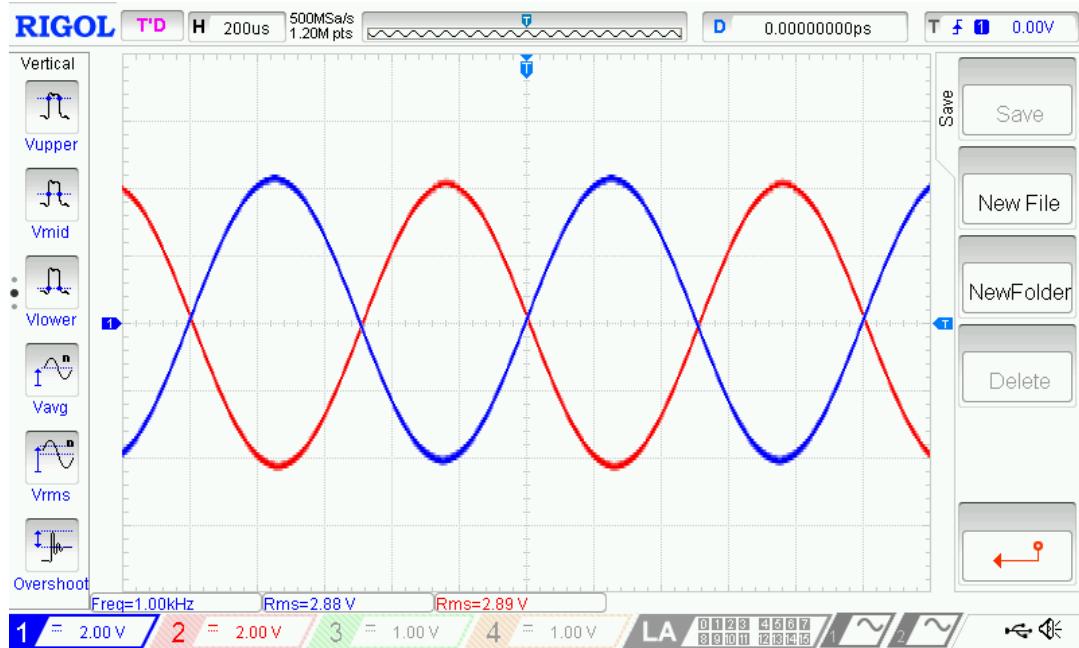


Imagen 5.1: Señal de Entrada (Azul) y Señal de Salida (Roja) en $f < f_o$, para LPF.

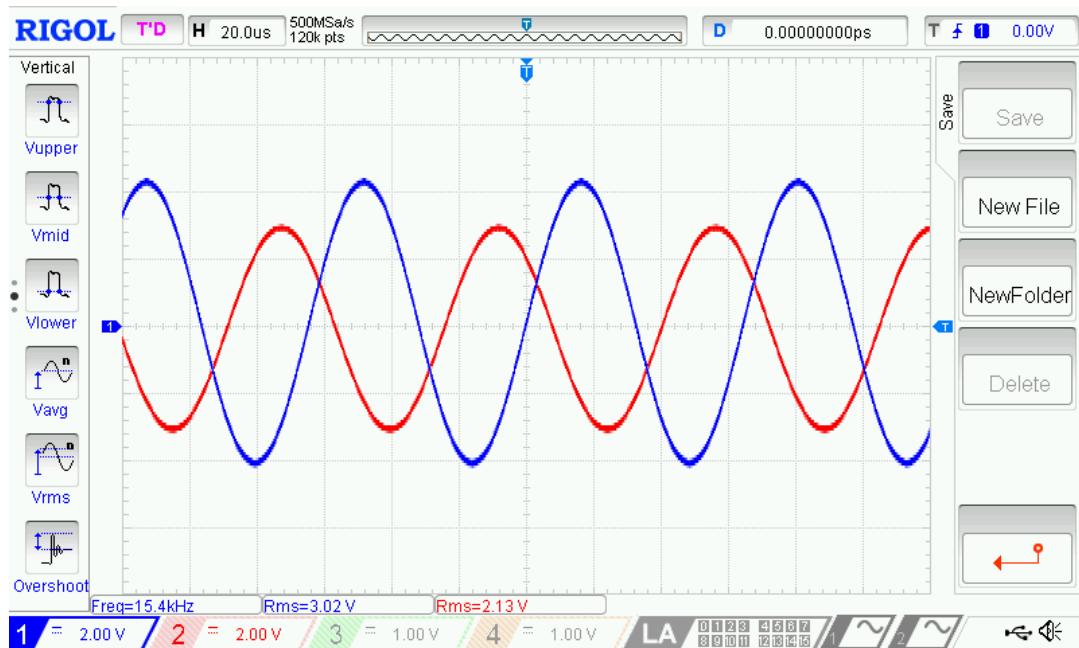


Imagen 5.2: Señal de Entrada (Azul) y Señal de Salida (Roja) en $f = f_o$, para LPF.

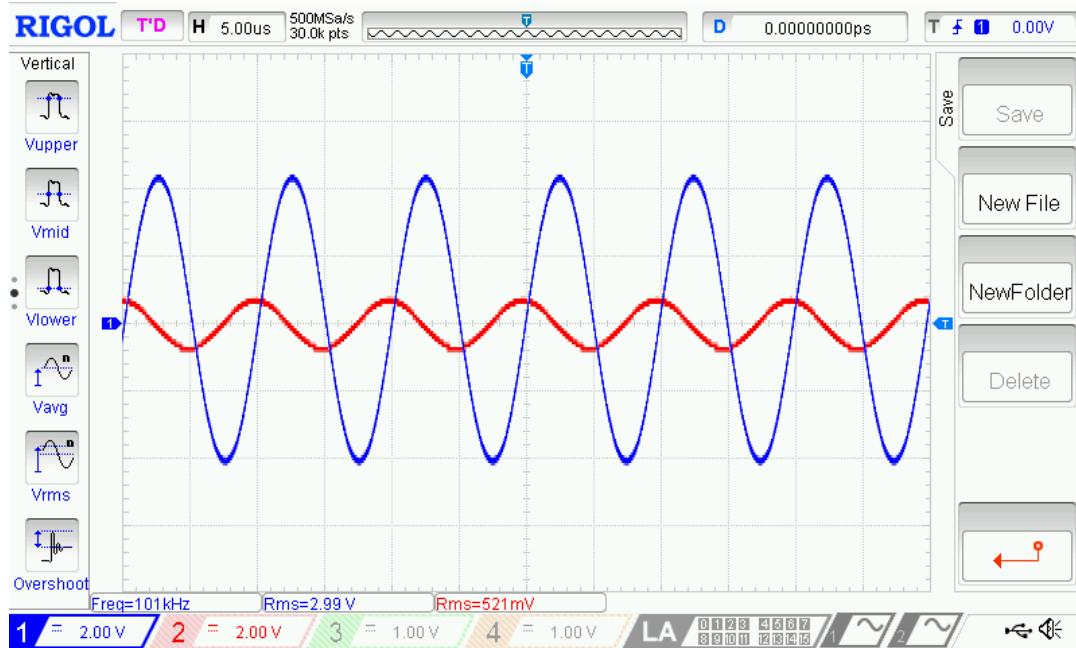


Imagen 5.3: Señal de Entrada (Azul) y Señal de Salida (Roja) en $f > f_o$, para LPF.

Teniendo una señal de salida igual a la de entrada en magnitud a frecuencias menores a f_o (Imagen 5.1), una señal de salida atenuada aproximadamente al 70.7% respecto a la de entrada en f_o (Imagen 5.2), y una señal de salida bastante atenuada respecto a la de entrada a frecuencias mayores a f_o (Imagen 5.3), se observa que el Filtro Activo Pasabajas de la PCB, se comporta tal y como la teoría lo indica, incluyendo la señal invertida debido a la configuración de inversor en la que está el Amp Op.

Utilizando MATLAB, se hace uso de asistencia computacional para confirmar este comportamiento en frecuencia, graficando para este circuito, su respectivo diagrama de Bode y diagrama de fase (Gráfica 1).

```

clc; clear; close all;

% Se define el argumento de la función de transferencia
s = tf('s');

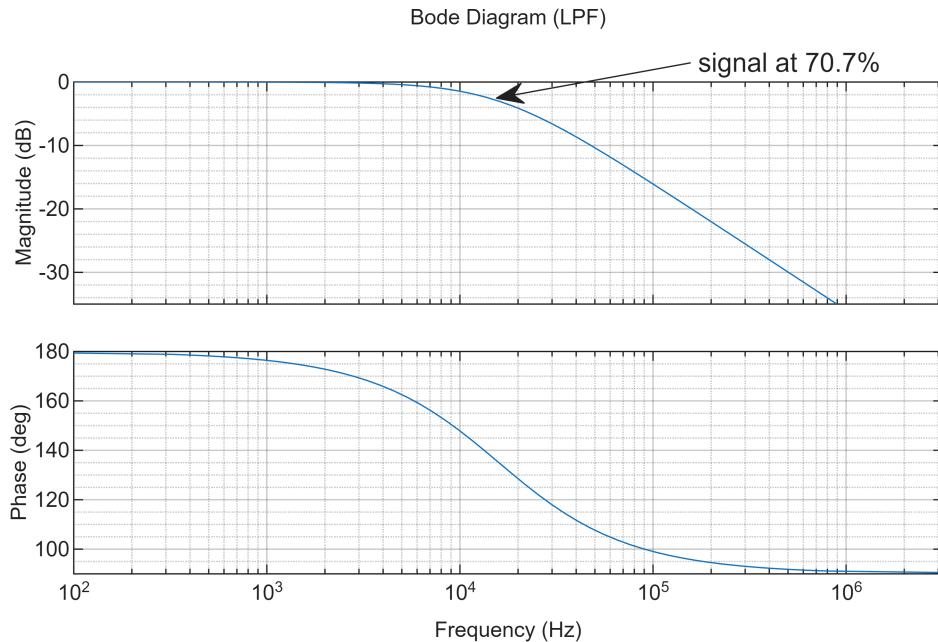
% Se definen las variables del circuito
Rf1 = 1E3;
R11 = 1E3;
C11 = 10E-9;
% Se define la frecuencia angular de corte
wo1 = 1/(Rf1*C11);

% Se define la función de transferencia obtenida
H = (-Rf1/R11)*(wo1/(s + wo1));

% Se pasa la etiqueta de los ejes x de "rad/s" a "Hz"
opts = bodeoptions;
opts.FreqUnits = 'Hz';
opts.XLabel.String = 'Frequency';

```

```
% Se grafican los diagramas de Bode y fase
bodeplot(H, opts)
title('Bode Diagram (LPF)')
annotation("textarrow", [0.6804 0.5071], [0.8836 0.8314], "String", " signal at
70.7%")
grid on
grid minor
```



Gráfica 1: Diagrama de Bode (arriba), y de fase (abajo) para caso particular Filtro Activo Pasabajas.

Comprobándose así el comportamiento en frecuencia del circuito de la PCB en configuración Filtro Activo Pasabajas.

Nota: Nótese como la fase en la práctica coincide correctamente con el diagrama teórico de fase. A medida que la señal de salida se atenúa por completo, esta se acerca a un desfase de 90° respecto a la señal de entrada, como se observa en la *Imagen 5.3*.

5.3. Configuración Filtro Activo Pasaaltas con Ganancia Adicional de 0 dB a la Salida

Nuevamente, antes de energizar la placa, se ajusta el circuito para el caso particular del Filtro Activo Pasaaltas, una vez más con una ganancia adicional de 0 dB. Se dejan únicamente los resistores R2 y R3 habilitados, generando esto que no haya ganancia adicional a la salida (como ya se ha visto antes) y solo se habilita el capacitor C2 --cortocircuito jumper azul SC_C2--. Se alimenta el Amp Op --conectar salidas +12V, 0V y -12V de la fuente, a terminales +12V_MAX, GND y -12V_MIN de la placa--, se ajusta el generador de señales a $3V_{RMS}$ y se conecta a la placa --conectar cable rojo del generador a terminal VIN y cable negro a terminal GND_C--, finalizando se conecta el osciloscopio a la PCB --conectar punta de prueba CH1 a terminal VIN_CH en la placa y punta de prueba CH2 a terminal VOUT_CH de la placa-- quedando las conexiones como se observa en la *Imagen 6*.

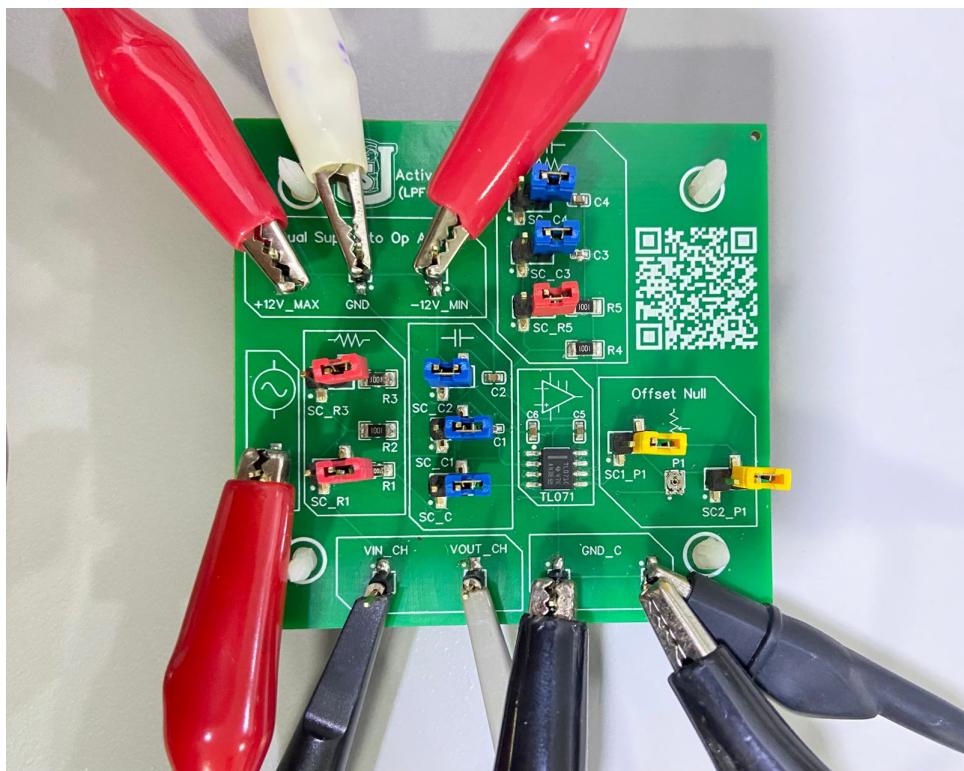


Imagen 6: Conexión PCB para Caso Particular Filtro Activo Pasaaltas.

Para el análisis en frecuencia utilizando el osciloscopio, se calcula la frecuencia de corte, siendo como en el caso anterior $f_o = 15\text{kHz}$, y se hace el barrido de frecuencia en el generador, desde $f < f_o$ (Imagen 6.1), $f = f_o$ (Imagen 6.2), hasta $f > f_o$ (Imagen 6.3).

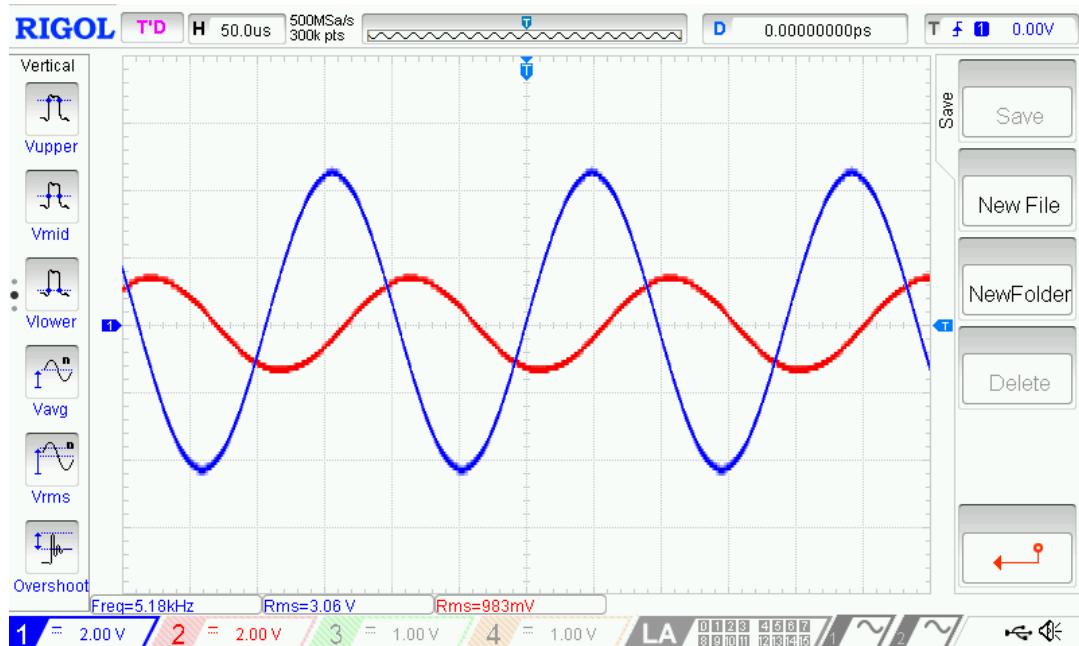


Imagen 6.1: Señal de Entrada (Azul) y Señal de Salida (Roja) en $f < f_o$, para HPF.

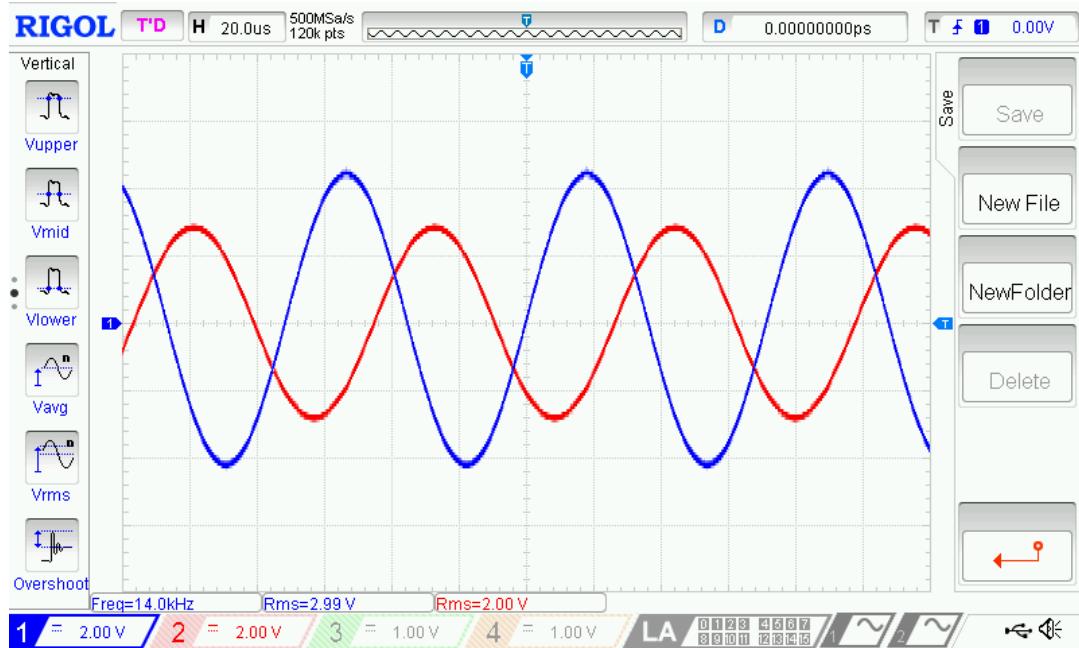


Imagen 6.2: Señal de Entrada (Azul) y Señal de Salida (Roja) en $f = f_o$, para HPF.

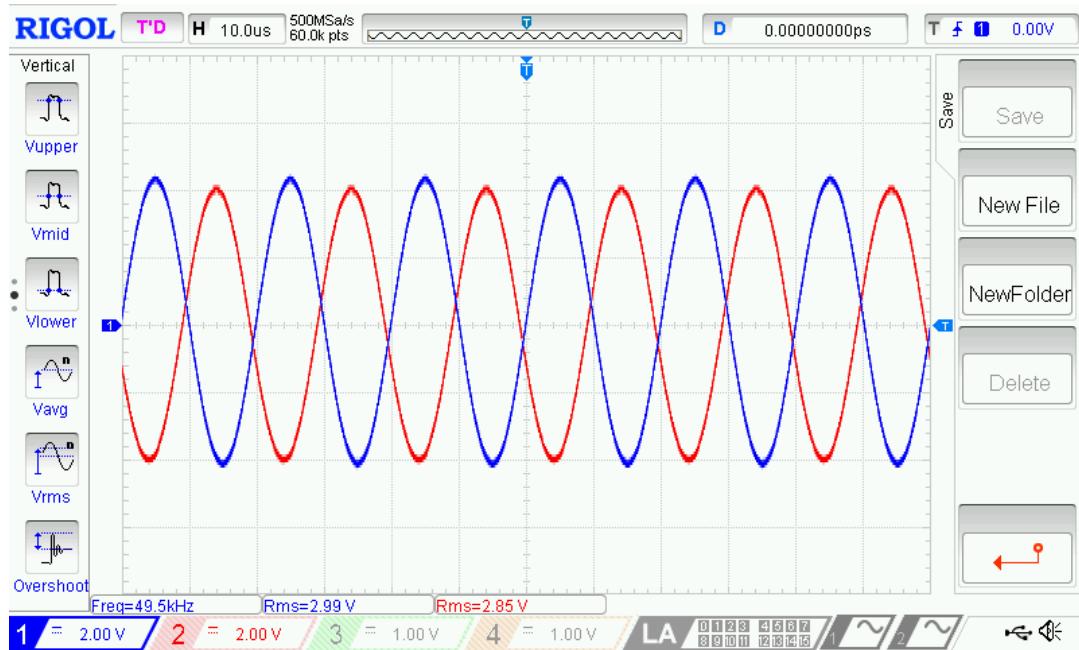


Imagen 6.3: Señal de Entrada (Azul) y Señal de Salida (Roja) en $f > f_o$, para LPF.

Obteniendo que la señal de salida está bastante atenuada en $f < f_o$ (Imagen 6.1), una señal de salida aproximadamente al 70.7% respecto a la de entrada en $f = f_o$ (Imagen 6.2), y una señal de salida igual a la de entrada en $f > f_o$ (Imagen 6.3), observando que el Filtro Activo Pasaaltas se comporta como se espera por la teoría.

Una vez más, utilizando MATLAB se busca confirmar lo observado en la práctica (Gráfica 2).

```
% Se definen las variables del circuito
Rf2 = 1E3;
```

```

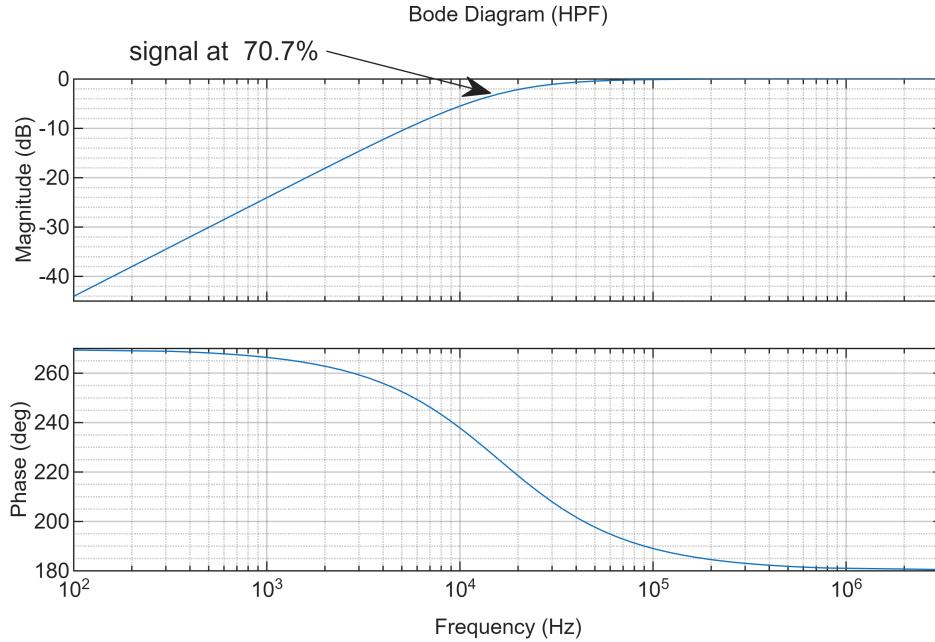
R12 = 1E3;
C12 = 10E-9;
C22 = 4.7E-9;
% Se define la frecuencia angular de corte
wo2 = 1/(R12*C12);

% Se define la función de transferencia obtenida
G = (-Rf2/R12)*(s/(s + wo2));

% Se pasa la etiqueta de los ejes x de "rad/s" a "Hz"
opts = bodeoptions;
opts.FreqUnits = 'Hz';
opts.XLabel.String = 'Frequency';

% Se grafican los diagramas de Bode y fase
bodeplot(G, opts)
title('Bode Diagram (HPF)')
annotation("textarrow", [0.3554 0.5018], [0.8964 0.8343], "String", "signal at
70.7%")
grid on
grid minor

```



Gráfica 2: Diagrama de Bode (arriba), y de fase (abajo) para caso particular Filtro Activo Pasaaltas.

Finalmente, observando el diagrama de Bode y el diagrama de fase, se comprueba el comportamiento en frecuencia del circuito de la PCB en configuración Filtro Activo Pasaaltas.

Nota: Nuevamente, se hace interesante observar que la fase en la práctica coincide con el diagrama teórico de fase. La señal de salida atenuada a bajas frecuencias, inicia con un desfase de 90° (o 270° en el diagrama de fase) respecto a la señal de entrada, y se aproxima al desfase de 180° a medida que se acerca en magnitud a la señal de entrada (*Imagen 6.3*).

6. Precauciones

Para un correcto funcionamiento de la placa de circuito y con el fin de evitar daños a esta, lea y entienda cuidadosamente las siguientes consideraciones:

- No energizar la placa antes de configurarla.
- Al usar una fuente DC para la fase de alimentación, el pin GND de la placa no va conectado a la salida GND de la fuente (si la tiene), pin GND va conectado a la referencia de 0V que se genera en el cortocircuito intermedio de la unión en serie de las dos salidas de voltaje que se usan de la fuente.
- Recuerde antes de realizar cualquier cambio a la PCB, desconectar toda fuente de voltaje conectada a esta, sea AC (generador de señal) o DC (fuente de laboratorio).
- Debido a que el Amp Op TL071 requiere de una alimentación simétrica para un correcto manejo de señales, cerciórese de obtener +12V y -12V (recomendado) de la fuente de laboratorio que esté usando.
- Evite en la fase de alimentación (Dual Supply to Op Amp) aplicar una alimentación simétrica superior a $\pm 15V$ en los terminales correspondientes, voltajes superiores en magnitud a $\pm 18V$ en simultáneo, podrían causar daño permanente en el Amp Op.
- No habilitar (cortocircuitar con jumpers) el "Offset Null" durante el uso normal de la PCB, de lo contrario, no se asegura un correcto funcionamiento de la placa de circuito.
- A frecuencias superiores a 1MHz, el circuito podría no comportarse de la forma en que se espera, esto debido al comportamiento de algunos de los resistores y capacitores reales a estas frecuencias.

Para más información, puede consultar el repositorio en GitHub ligado al código QR en la serigrafía de la PCB.

Créditos

Este proyecto fue diseñado y desarrollado por:

- Klissman Julian Quintero Calderón

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Electrónica

- Ana María Puentes Candela

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Electrónica

- Brayan Esteban Pinzon Lozano

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Electrónica

Asesor académico:

Ing. Fernand Díaz Franco