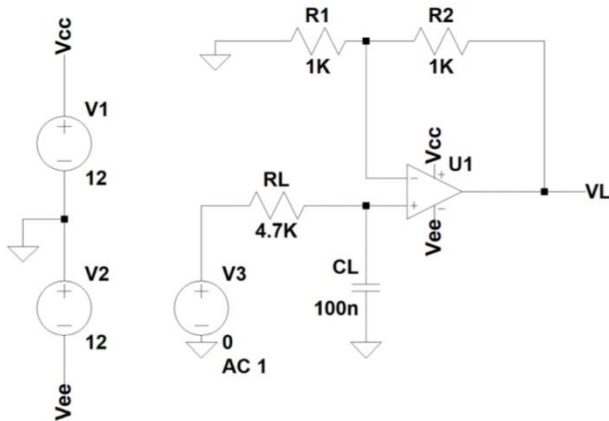
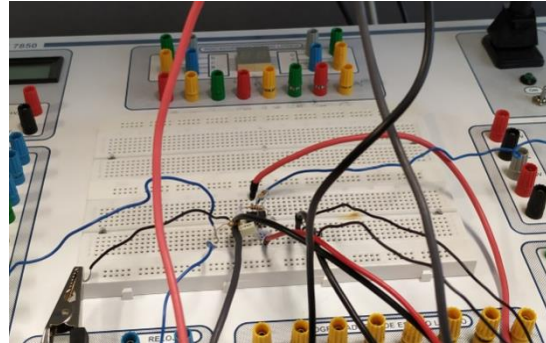


## Memoria. Sesión 7: Filtros activos.

Para empezar, construiremos en el panel de la entrenadora el circuito 2. El Amplificador Operacional se alimentará utilizando las fuentes S1 y S2, que conectaremos de forma que S1 suministre 12V y S2 suministre -12V. La señal de entrada V3 la proporcionará el generador de funciones, donde fijaremos una tensión sinusoidal de amplitud 1V.

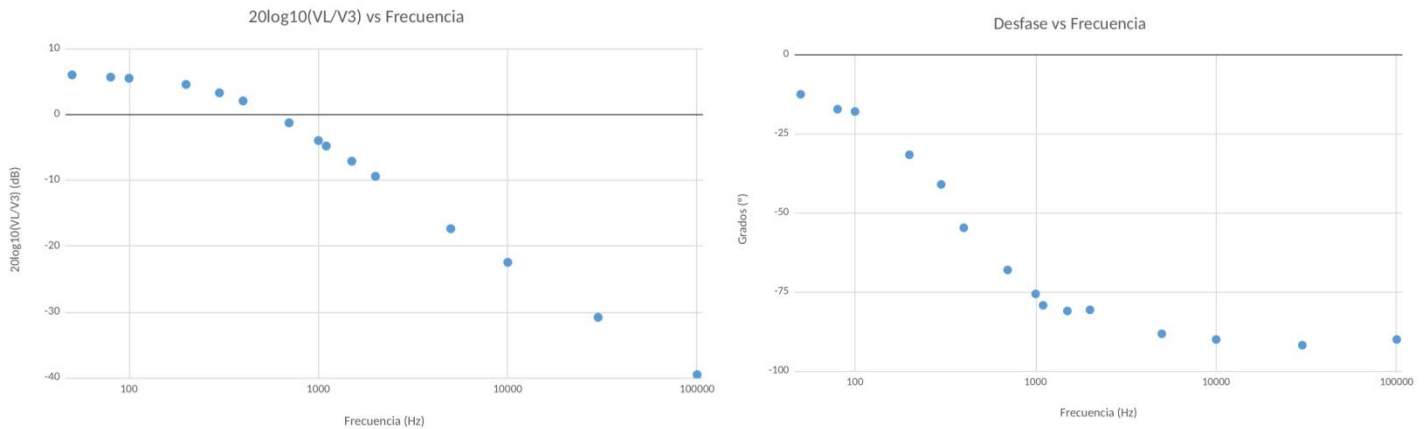


*Circuito 2*



Ahora iremos variando la frecuencia de la señal de entrada entre 80 Hz y 100 KHz. Para cada valor de la frecuencia, mediremos la amplitud de VL, la amplitud de V3 y el desfase entre VL y V3, y realizaremos una tabla con los datos obtenidos, para poder obtener la gráfica que represente el comportamiento del filtro.

Frecuencia (Hz)	abs(VL) (V)	abs(V3)(V)	$A_v = 20\log(VL/V3)$	Desfase tiempo (s)	Desfase (°)
80	2	1.04	5.679933127	-0.0006	-17.28
100	1.96	1.04	5.504454641	-0.0005	-18
300	1.52	1.04	3.296204973	-0.00038	-41.04
700	0.9	1.04	-1.255816597	-0.00027	-68.04
1000	0.66	1.04	-3.949788075	-0.00021	-75.6
1100	0.6	1.04	-4.777641778	-0.0002	-79.2
1500	0.46	1.04	-7.085510152	-0.00015	-81
2000	0.36	1.06	-9.38006729	-0.000112	-80.64
5000	0.144	1.06	-17.33886746	-0.000049	-88.2
10000	0.08	1.06	-22.44431757	-0.000025	-90
30000	0.03	1.04	-30.79824169	-0.0000085	-91.8
100000	0.011	1.04	-39.51281308	-0.0000025	-90
400	1.32	1.04	2.070811838	-0.00038	-54.72
200	1.76	1.04	4.56958657	-0.00044	-31.68
50	2.08	1.04	6.020599913	-0.0007	-12.6



Como podemos observar en las gráficas, el filtro es un paso-bajo, ya que la ganancia es máxima para frecuencias bajas y va disminuyendo según aumenta la frecuencia. El desfase es máximo y negativo para frecuencias bajas, y va disminuyendo según aumenta la frecuencia para estabilizarse en torno a los  $-90^\circ$ . La línea general de la gráfica coincide con la realizada en la simulación del - circuito en el estudio previo, aunque los valores particulares, a pesar de acercarse, no coinciden exactamente con los que podemos ver en la gráfica de la simulación. Esto se debe principalmente a la diferencia entre el valor real y el nominal de las resistencias, ya que la simulación fue realizada con los valores nominales, que no coinciden con los reales. También existe una pequeña desviación debida al error humano en las medidas, en el desfase ya que la precisión con los cursores de medida no es absoluta, y en los valores del voltaje de entrada y salida ya que el menú measure puede oscilar entre varios valores sin llegar a fijarse en un resultado final exacto. Otro factor que puede afectar a la toma de resultados es el ruido añadido a la señal en la pantalla del osciloscopio, que aunque puede reducirse, muchas veces provoca que no se distinga con precisión el punto desde donde medir el desfase.

A altas frecuencias la onda se vuelve triangular debido a la propiedad que tiene el Amplificador Operacional del slew rate, que es cuánto puede cambiar la salida por unidad de tiempo, ya que si cambias el voltaje de la entrada le va a costar un poco de tiempo modificarse, no es instantáneo. A altas frecuencias lo que ocurre es que no le da tiempo al AO a cambiar suficientemente rápido para mantenerse, por lo que la onda resultante son dos rectas, formando una onda triangular.

**Ahora determinaremos la frecuencia de corte de forma experimental, buscando en la gráfica el valor de frecuencia para el cual, la ganancia se reduce a  $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$  de su valor máximo.**

En el estudio previo obtuvimos un valor para la frecuencia de corte de 338.62Hz.

En la gráfica podemos aproximar el valor máximo de la ganancia por el obtenido para 50Hz, es decir, 6.02dB. Por tanto, estamos buscando la frecuencia para la que la ganancia es  $\frac{6.02}{\sqrt{2}} = 4.26$  dB. Por lo tanto, podemos situar la frecuencia de corte obtenida experimentalmente alrededor de los 200Hz, y superior a estos, ya que para 200Hz la ganancia es 4.56dB, y la ganancia disminuye cuando aumenta la frecuencia.

Podemos calcular teóricamente el valor de la frecuencia de corte para el valor real de los componentes del circuito como  $f_c = \frac{1}{2\pi R_3 C} = \frac{1}{2\pi \times 4.6 \times 10^3 \Omega \times 10^{-7} F} = 345.989 Hz$

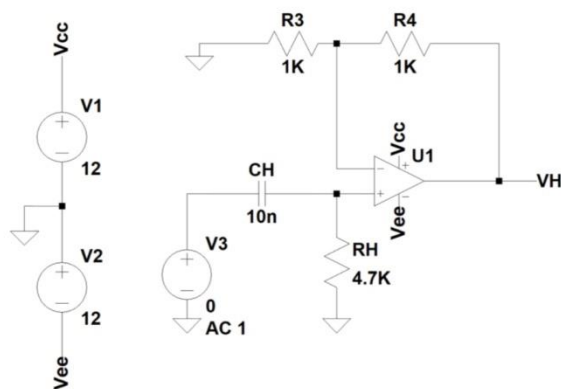
Se puede observar una diferencia entre el valor teórico y el experimental, debido a que, como hemos discutido antes, existen muchos factores que pueden alterar los resultados, como el valor real de los elementos frente a su valor nominal, el error humano en la toma de medidas, o el ruido de la señal a medir.

A continuación, conectaremos la salida del circuito 2 (VL) a un conector de audio hembra que a su vez conectaremos a unos auriculares. Utilizaremos el condensador restante (en este caso, el de 10nF) para filtrar la tensión de alimentación positiva del AO y reducir el ruido, y de esta forma obtendremos un tono más nítido en los auriculares. Una vez obtenido un tono limpio y claro a la salida, iremos incrementando la frecuencia de la señal de entrada hasta dejar de escuchar el tono asociado, obteniendo de esta forma el valor más alto audible. Después, iremos reduciendo la frecuencia de la señal de entrada hasta dejar de escuchar el tono asociado, obteniendo de esta forma el valor más bajo audible.

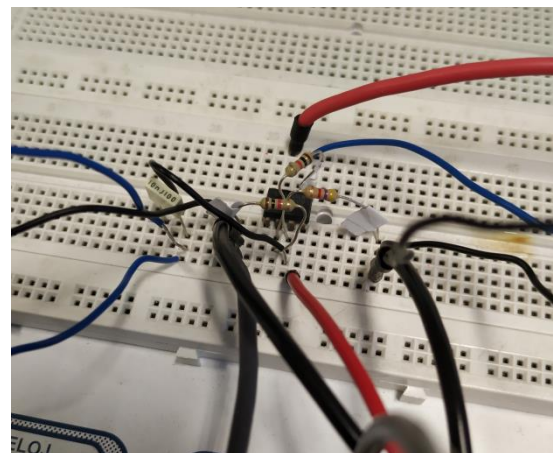
Como valor más alto audible, hemos obtenido 20KHz, ya que a esta frecuencia sí somos capaces de escuchar un tono, aunque muy débil y agudo, pero a 21KHz ya no escuchamos nada. En cuanto al valor más bajo audible, hemos obtenido 90Hz, ya que a esta frecuencia aún se escucha un tono débil y muy grave, pero a 80Hz ya no escuchamos nada.

Los valores obtenidos dependen en gran medida de la persona que escuche por los auriculares, ya que cada persona tiene una capacidad auditiva diferente y un distinto valor umbral para el que deja de oír un determinado sonido. Las medidas que se muestran como resultados finales han sido tomadas como la media entre el valor escuchado por cada integrante de la pareja, y según la persona que escuche, podrían variar. Al realizar el experimento, hemos podido comprobar también que la frecuencia para la que el tono obtenido es más nítido y perfectamente audible es la frecuencia de corte, alrededor de los 300Hz.

Ahora construiremos en el panel de la entrenadora el circuito 3. Nuevamente, el Amplificador Operacional se alimenta utilizando las fuentes S1 y S2 con tensiones de salida de 12 V y -12V como se hizo en el circuito 2. También en este caso, la señal V3 de entrada a los circuitos la proporciona el generador de funciones, con una tensión sinusoidal de amplitud 1V para la caracterización.



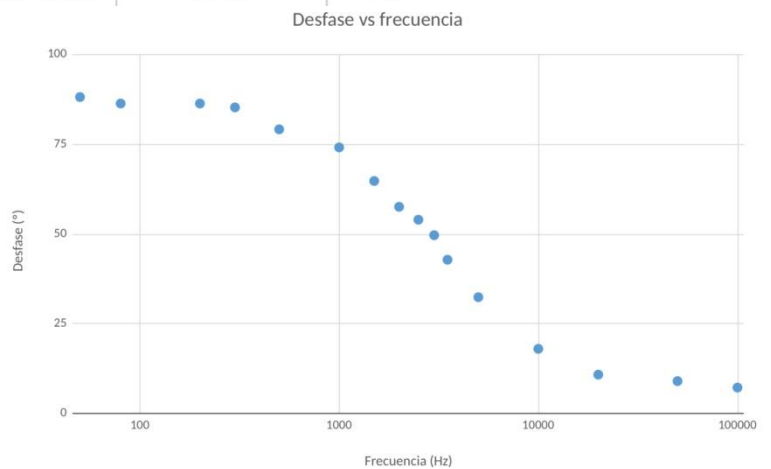
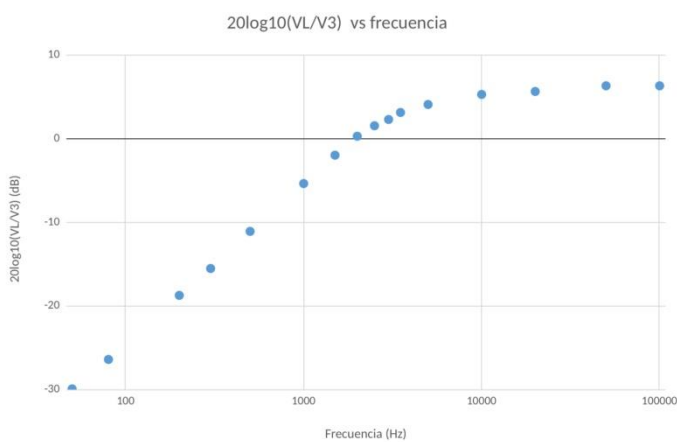
Circuito 3



Iremos variando la frecuencia de la señal de entrada entre 80 Hz y 100 KHz. Mediremos la amplitud de VH, la amplitud de V3 y el desfase entre VH y V3, y los representaremos en una gráfica para poder observar el comportamiento del filtro.

## Pareja 5: Ana Calzada García & Junco de las Heras Valenzuela

Frecuencia (Hz)	abs(VL) (V)	abs(V3)(V)	Av = 20log(VL/V3)	Desfase tiempo (s)	Desfase (°)
80	0.048	1	-26.37517525	0.003	86.4
200	0.116	1	-18.71084022	0.0012	86.4
500	0.28	1	-11.05683937	0.00044	79.2
1000	0.552	1.02	-5.333221881	0.000206	74.16
5000	1.64	1.02	4.124873526	0.000018	32.4
10000	1.92	1.04	5.325357788	0.000005	18
50000	2.08	1	6.361266699	0.0000005	9
100000	2.08	1	6.361266699	0.0000002	7.2
3000	1.36	1.04	2.330111381	0.000046	49.68
50	0.032	1	-29.89700043	0.0049	88.2
2000	1.08	1.04	0.3278083238	0.00008	57.6
1500	0.8	1	-1.93820026	0.00012	64.8
20000	2	1.04	5.679933127	0.0000015	10.8
3500	1.44	1	3.167249842	0.000034	42.84
2500	1.2	1	1.583624921	0.00006	54
300	0.168	1	-15.49381437	0.00079	85.32



Como podemos observar en las gráficas, el filtro es un paso-alto, ya que la ganancia es máxima para frecuencias altas y va aumentando según aumenta la frecuencia. El desfase es máximo y positivo (alrededor de  $90^\circ$ ) para frecuencias bajas, y va disminuyendo según aumenta la frecuencia para estabilizarse en torno a los  $0^\circ$ . La línea general de la gráfica coincide con la realizada en la simulación del circuito en el estudio previo, aunque los valores particulares, a pesar de acercarse, no coinciden exactamente con los que podemos ver en la gráfica de la simulación. Esto se debe, como ya hemos dicho antes, principalmente a la diferencia entre el valor real y el nominal de las resistencias, ya que la simulación fue realizada con los valores nominales, que no coinciden con los reales. También existe una pequeña desviación debida al error humano en las medidas, en el desfase ya que la precisión con los cursores de medida no es absoluta, y en los valores del voltaje de entrada y salida ya que el menú measure puede oscilar entre varios valores sin llegar a fijarse en un resultado final exacto. Otro factor que puede afectar a la toma de resultados es el ruido añadido a la señal en la pantalla del osciloscopio, que aunque puede reducirse, muchas veces provoca que no se distinga con precisión el punto desde donde medir el desfase.

Las últimas mediciones, cuando la frecuencia era muy elevada, notamos que se volvía muy irregular, con muchos altibajos, por lo que tuvimos que poner el nivel de promedio muy elevado. Esto es gracias al slew rate. Como la ganancia es pequeña no se llegaba a notar muy triangular, simplemente deformada de una sinusoidal.

**Al igual que antes, trataremos de determinar la frecuencia de corte de forma experimental, buscando en la gráfica el valor de frecuencia para el cual la ganancia se reduce a  $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$  de su valor máximo.**

En el estudio previo obtuvimos un valor para la frecuencia de corte de 3386.27Hz.

En la gráfica podemos aproximar el valor máximo de la ganancia por el obtenido para 100KHz, es decir, 6.36dB. Por tanto, estamos buscando la frecuencia para la que la ganancia es  $\frac{6.36}{\sqrt{2}} = 4.49$  dB. Por lo tanto, podemos situar la frecuencia de corte obtenida experimentalmente alrededor de los 5000Hz, y superior a estos, ya que para 5000Hz la ganancia es 4.12dB, y la ganancia aumenta cuando aumenta la frecuencia.

Podemos calcular teóricamente el valor de la frecuencia de corte para el valor real de los

componentes del circuito como  $f_c = \frac{1}{2\pi R_3 C} = \frac{1}{2\pi \times 4.6 \times 10^3 \text{ ohmios} \times 10^{-8} \text{ F}} = 3459.89 \text{ Hz}$

Se puede observar una diferencia entre el valor teórico y el experimental, debido a que, como hemos discutido antes, existen muchos factores que pueden alterar los resultados, como el valor real de los elementos frente a su valor nominal, el error humano en la toma de medidas, o el ruido de la señal a medir.

La diferencia de esta frecuencia de corte respecto a la anterior, que como podemos ver es muy grande, se debe a que en este circuito hemos usado el condensador de 10nF y en el anterior hemos usado el de 100nF.

### **Ahora, conectaremos de nuevo los auriculares al circuito para poder determinar las frecuencias máxima y mínima audibles del mismo modo que se hizo en el con el circuito 2:**

Como valor más alto audible, hemos obtenido 17KHz, ya que a esta frecuencia sí somos capaces de escuchar un tono, aunque muy débil y agudo, pero a 17.3KHz ya no escuchamos nada. En cuanto al valor más bajo audible, hemos obtenido 15Hz, ya que a esta frecuencia aún se escucha un tono débil y muy grave, pero a 10Hz ya no escuchamos el tono que estamos buscando, aunque se sigue escuchando un ruido de fondo.

Los valores obtenidos dependen en gran medida de la persona que escuche por los auriculares, ya que cada persona tiene una capacidad auditiva diferente y un distinto valor umbral para el que deja de oír un determinado sonido. Las medidas que se muestran como resultados finales han sido tomadas como la media entre el valor escuchado por cada integrante de la pareja, y según la persona que escuche, podrían variar. Al realizar el experimento, hemos podido comprobar también que la frecuencia para la que el tono obtenido es más nítido y perfectamente audible es la frecuencia de corte, alrededor de los 3KHz.

Al comparar los resultados con los obtenidos para el circuito anterior, vemos que para este circuito el valor más bajo audible es menor que para el primer circuito, mientras que el valor más alto audible es mayor para el primer circuito. Esto se debe al tipo de filtro de cada circuito. Al ser el primero un paso-bajo, deja pasar sólo las frecuencias bajas, por lo que para estas la diferencia entre un tono y el siguiente será mayor, y por lo tanto dejaremos de oír antes, que para frecuencias grandes, donde el filtro casi no deja pasar voltaje a la salida. Lo mismo ocurre con el segundo circuito para las frecuencias altas. Por ser el segundo filtro un paso-alto, solo deja pasar frecuencias altas, por lo que la diferencia entre un tono y el siguiente será mayor, y por lo tanto dejaremos de oír antes, que para frecuencias bajas, donde el filtro casi no deja pasar voltaje a la salida.

En ambos casos podemos observar que el tono se oye con mayor claridad en las frecuencias alrededor de la frecuencia de corte.