

*Resultados de la simulación:

1) Amplificador no inversor:

Sobre el siguiente circuito (Circuito 0), se va a calcular la ganancia obtenida mediante simulación con la ganancia obtenida a partir de los cálculos teóricos. Como la amplitud y la frecuencia de la fuente sinusoidal V3 eran arbitrarias, se ha decidido fijar 2V de Amplitud y 5000 Hz de frecuencia.

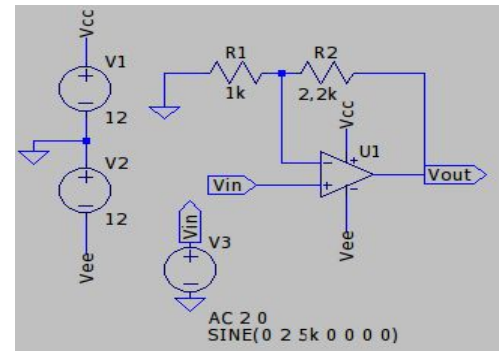
Cálculo teórico:

Para el **Circuito 0** tenemos, por el principio de cortocircuito virtual, que $V_+ = V_- = V_{in}$
Además, sabemos que $I_+ = I_- = 0A$
Si llamamos I a la corriente que circula por R_1 y R_2 (de R_1 hacia R_2), tenemos:

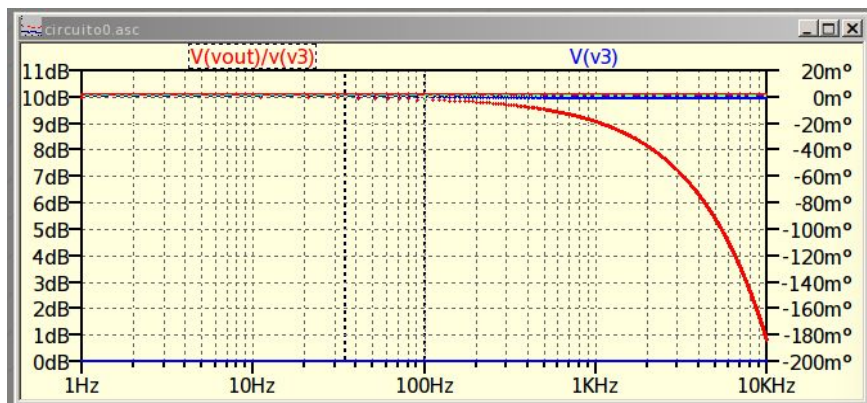
$$V_o = V_{in} - IR_2 = V_{in} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \Rightarrow$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Se puede ver que la ganancia A_v no depende de la frecuencia de la señal V_{in} , por lo cual su módulo tampoco. Además, el desfase entre V_{in} y V_{out} es 0.

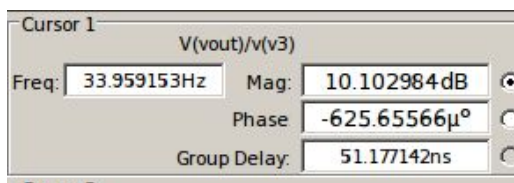


Circuito 0



La simulación realizada tiene como resultado el siguiente gráfico:

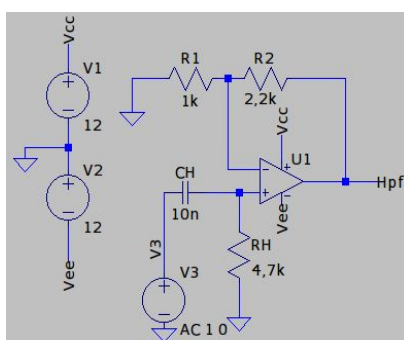
De acuerdo a la fórmula anteriormente expuesta, el valor de la ganancia se mantendría constante en 10.10 dB. Atendiendo a la simulación realizada, vemos que el valor que esperamos coincide con el



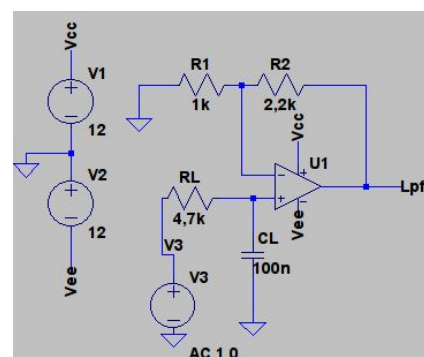
valor de V_{out} para todas las frecuencias, pues el gráfico trazado para V_{out} es una línea recta. Sin embargo, a partir de 100Hz aproximadamente, la fase comienza a decrecer, algo que no concuerda con lo esperado.

2) Filtros RC:

En este apartado, se trabajará sobre dos circuitos:



Circ.2.

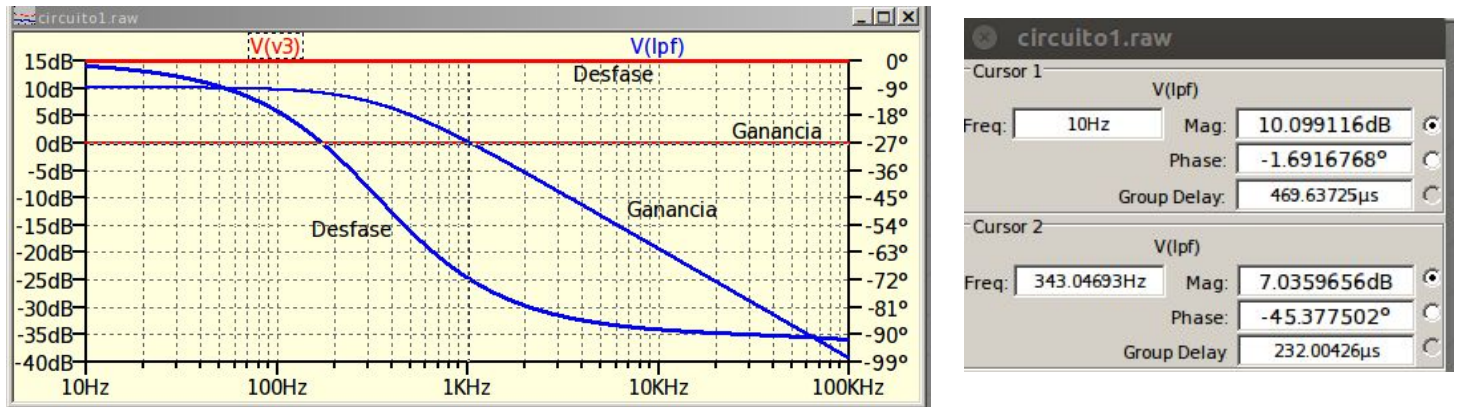


Circ. 1

* Circuito 1:

El resultado de realizar la representación gráfica de la ganancia de salida (que es V(Lpf) porque la amplitud de V3 es de 1 V) con respecto a V3 en LTSpice es el siguiente:

Gráfica 1:



Como se puede apreciar, la ganancia de V(Lpf) , decrece de aproximadamente 10 dB a un valor cercano a los -35dB conforme aumenta la frecuencia.

b) A juzgar por la línea de ganancia de V(lpf) con respecto a V3, como comienza en valores considerablemente altos y va decreciendo, podemos concluir que se trata de un **filtro pasa baja**.

Para calcular la frecuencia de corte, es necesario conocer la ganancia máxima. En este caso, la ganancia máxima presente en la gráfica será la correspondiente al extremo izquierdo de la gráfica, por ser un filtro pasa-baja. Colocando el cursor 1 sobre ese extremo obtenemos un valor de 10,01 dB. La frecuencia de corte será aquella que genera una ganancia igual a $\frac{|A_{vmax}|}{\sqrt{2}}$. Sabiendo que 10,01 dB es equivalente a una ganancia de 3.17 y dividiendo ese valor entre raíz de dos obtenemos que la ganancia en la frecuencia de corte es de 2.24, es decir, de 6.99 dB. Colocando el cursor 2 de la gráfica lo más cerca posible de este valor obtenemos un valor para la frecuencia de corte de 333,05 Hz.

El **Circuito 1** es exactamente igual que el primero, pero tenemos en este caso un valor para V_{in} que depende de R_L , V_3 y una impedancia capacitiva Z_C .

En este caso , si llamamos I a la corriente que circula hacia Z_{CL} desde R_L tenemos que

$$V_{in} := V_+ = Z_{CL}I = Z_{CL} \frac{V_3}{R_L + Z_{CL}}$$

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{V_{out}}{V_3} \\ &= \frac{Z_{CL}}{R_L + Z_{CL}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \\ &= \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R_L + \frac{1}{j\omega C}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \\ &= \frac{1}{j\omega C R_L + 1} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \end{aligned}$$

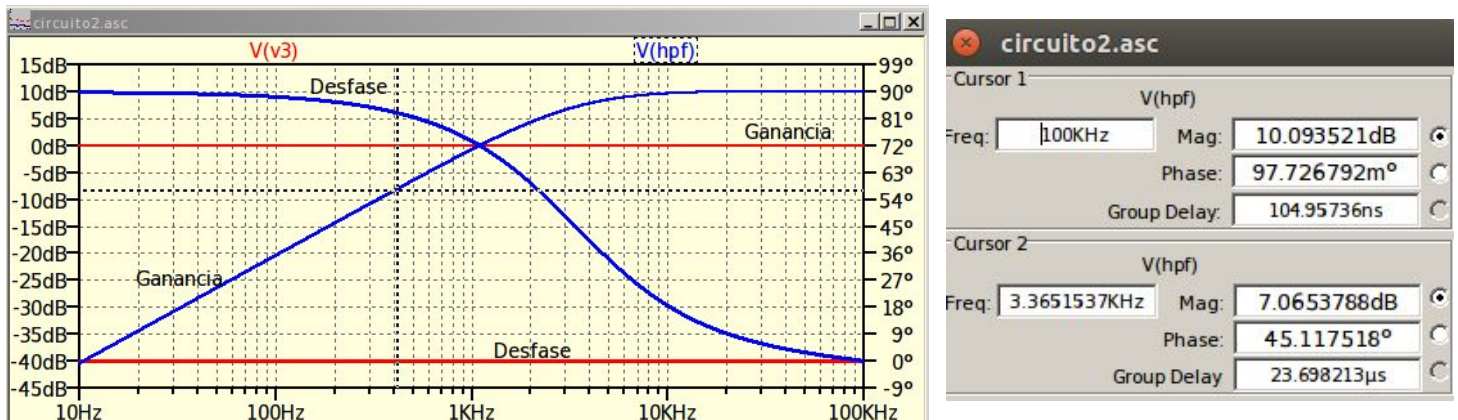
$$\begin{aligned} |A_V| &= \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega C R_L)^2}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \Rightarrow \\ |A_V|_{max} &= \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \Rightarrow \\ \frac{|A_V|_{max}}{\sqrt{2}} &= 2,26 \text{ para } f_{corte} = 339,49\text{Hz} \end{aligned}$$

Por tanto, el valor obtenido por la simulación se asemeja mucho al obtenido teóricamente.

Las diferencias pueden ser debidas a las distintas precisiones de los cálculos teóricos y de los cálculos que realiza el programa.

* Circuito 2:

a) Realizando el mismo proceso que en para el circuito anterior, tenemos que:



En este caso, se puede apreciar cómo la ganancia en Hpf crece en lugar de decrecer. Comienza en un valor muy pequeño, entorno a -40dB para luego crecer progresivamente hasta los 10dB aproximadamente, que es valor inicial del circuito 1.

b) Analizando el crecimiento de la ganancia en Hpf con respecto a la frecuencia, es posible afirmar que se trata de un **filtro pasa-alta**.

Para calcular la frecuencia natural, el proceso es el mismo que en el Circuito 1. En este caso el valor máximo de la ganancia se mide en el extremo derecho de la gráfica. El valor máximo(Cursor 1) es el mismo, 10,09 dB. Realizando un proceso análogo al apartado anterior, se obtiene que la frecuencia de corte genera una ganancia de 7.06 dB. Colocando el cursor 2 sobre esta posición obtenemos que la frecuencia de corte es 3,365 kHz.

En el **Circuito 2** tenemos otra variación del primero, en el que ahora tenemos, si llamamos I a la intensidad que va desde Z_{CH} hacia R_H :

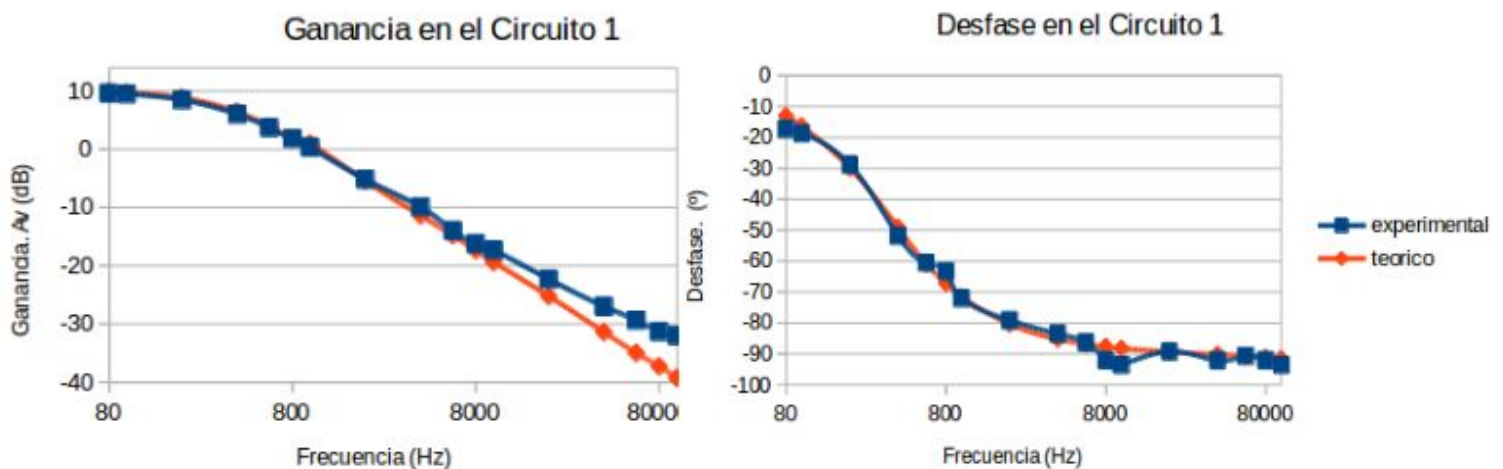
$$\begin{aligned}
 V_{in} &:= V_+ = R_H I = R_H \frac{V_3}{R_H + Z_{CH}} \\
 A_v &= \frac{V_{out}}{V_3} \\
 &= \frac{R_H}{R_H + Z_{CH}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \\
 &= \frac{R_H}{R_H + \frac{1}{j\omega C}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \\
 &= \frac{j\omega C R_H}{j\omega C R_H + 1} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \\
 |A_v| &= \frac{\omega C R_H}{\sqrt{1 + (\omega C R_H)^2}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \Rightarrow \\
 |A_v|_{max} &= \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \Rightarrow \\
 \frac{|A_v|_{max}}{\sqrt{2}} &= 2,26 \text{ para } f_{corte} = 3378,08\text{Hz}
 \end{aligned}$$

Como se puede comprobar, los resultados simulados y teóricos no difieren mucho tampoco en este caso.

***Medidas experimentales:**

a) Datos Circuito 1:

Frecuencia(Hz)	V _{ipf} (V)	V ₃ (V)	Av (dB)	Av (dB) (teóricos)	δt (°)	δt (°) (teóricos)
80	3,08	1,02	9,60	9,85	-17,28	-13,08
100	3,04	1,02	9,49	9,75	-18,72	-16,32
200	2,71	1,02	8,49	8,85	-28,80	-29,95
400	2,04	1,02	6,02	6,43	-51,84	-49,06
600	1,56	1,02	3,69	3,83	-60,48	-60,95
800	1,24	1,00	1,87	1,85	-63,36	-67,25
1000	1,02	0,98	0,35	0,95	-72,00	-71,59
2000	0,54	0,98	-5,18	-5,44	-79,20	-80,42
4000	0,30	0,94	-9,92	-11,37	-83,52	-85,23
6000	0,19	0,96	-13,98	-14,80	-86,40	-86,84
8000	0,15	0,96	-16,24	-17,38	-92,16	-87,73
10000	0,13	0,94	-17,32	-19,38	-93,60	-88,26
20000	0,07	0,94	-22,32	-25,25	-89,28	-89,38
40000	0,04	0,94	-27,00	-31,41	-92,16	-90,26
60000	0,03	0,94	-29,36	-35,00	-90,72	-90,8
80000	0,03	0,96	-31,35	-37,29	-92,16	-91,22
100000	0,02	0,96	-32,04	-39,30	-93,60	-91,64



En las imágenes superiores, se contrastan los resultados obtenidos durante el montaje con los teóricos: El desfase, exceptuando la pequeña desviación que sufre el valor experimental a los 8000Hz con respecto a la curva teórica (probablemente debido a un pequeño error de medida con los cursores), se comporta tal y como esperábamos. Con respecto a la simulación, aunque a primera vista las curvas no parezcan iguales (esto se debe a que la gráfica de la simulación comienza a los 10Hz, y ésta a los 80) ambas contienen la misma información: los valores experimentales no difieren de los teóricos ni de los simulados

En cuanto a la ganancia, en la gráfica superior se puede comprobar que los valores experimentales y los teóricos no difieren en absoluto hasta que llegamos a las frecuencias más altas donde, a partir de los 8000Hz, el valor experimental se desvía ligeramente hasta acabar 10dB por encima del teórico a los 80000Hz. Esta misma diferencia es la que encontramos entre la ganancia simulada y la experimental, y creemos que podría ser debido a errores en las medidas o a desviaciones debidas a trabajar con nuestro AO a altas frecuencias. Por lo demás, nuestros valores teóricos, simulados y experimentales coinciden.

Si aumentamos la frecuencia progresivamente, observamos que la señal llega a volverse triangular: esto es debido a que el amplificador deja de funcionar como esperamos a altas frecuencias.

Datos Circuito 2

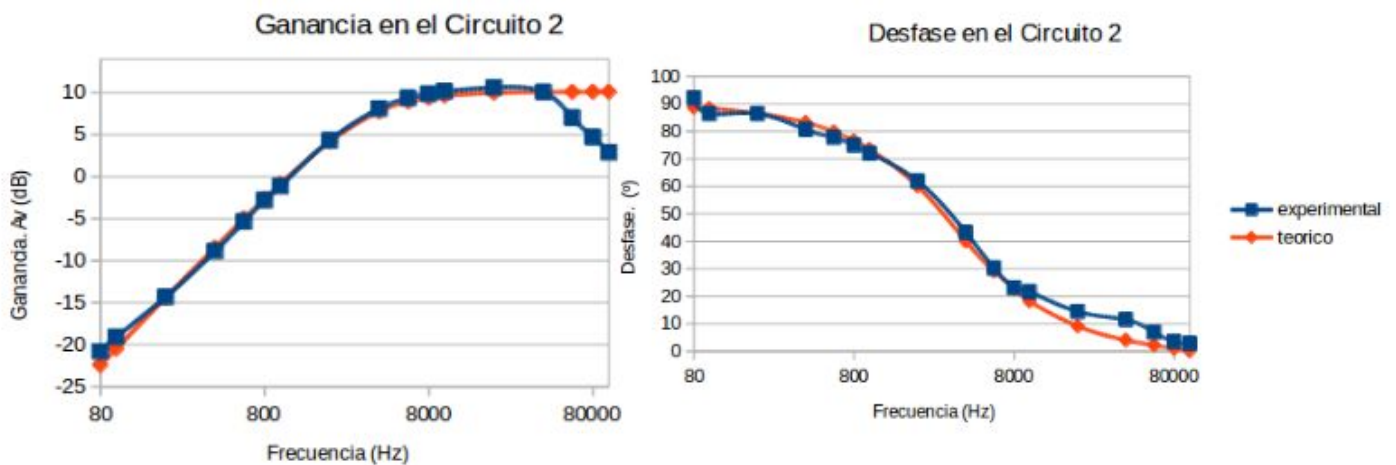
Frecuencia(Hz)	V _{hpf} (V)	V ₃ (V)	Av (dB)	Av (dB) (teóricos)	ϕ_t (°)	ϕ_t (°) (teóricos)
80	0,09	0,99	-20,83	-22,42	92,16	88,66
100	0,11	0,99	-19,08	-20,49	86,40	88,37
200	0,19	1,00	-14,33	-14,38	86,40	86,57
400	0,36	1,00	-8,87	-8,45	80,64	83,21
600	0,54	1,00	-5,35	-4,98	77,76	79,84
800	0,71	0,98	-2,80	-2,66	74,88	76,68
1000	0,86	0,98	-1,13	-0,85	72,00	73,52
2000	1,58	0,96	4,33	4,19	61,92	60,01
4000	2,44	0,96	8,10	7,78	43,20	39,99
6000	2,76	0,94	9,36	8,92	30,24	29,09
8000	2,92	0,94	9,85	9,38	23,04	22,78
10000	2,96	0,92	10,15	9,64	21,60	18,19
20000	3,12	0,92	10,61	9,98	14,40	9,12
40000	3,06	0,96	10,07	10,07	11,52	4,06
60000	2,24	1,00	7,00	10,08	6,91	2,16
80000	1,72	1,00	4,71	10,09	3,46	1,02
100000	1,34	0,96	2,90	10,09	2,88	0,10

Con la imagen inferior podemos comparar los valores teóricos con los experimentales, y nos encontramos con una sucesión parecida a la del circuito 1:

Las curvas teórica y experimental del desfase apenas se separan en un par de valores, y en estos valores la diferencia es mínima, debido probablemente a errores en las medidas tomadas con los cursores del osciloscopio. A su vez, la curva experimental y la de la simulación se parecen mucho: el desfase es aproximadamente 90 grados hasta los 100Hz, y decae a partir de ahí hasta llegar a los 0 grados a las frecuencias más altas.

En cuanto a la ganancia, ocurre lo contrario que en el circuito 1: la curva teórica y la experimental son prácticamente iguales hasta llegar a los 60kHz, donde ambas curvas se separan para quedar la curva experimental por debajo de la teórica. Para las demás frecuencias, los valores teórico y experimental no difieren. Al ser la curva de ganancia simulada igual a la teórica, la única diferencia entre la curva simulada y la experimental la encontramos a partir de los 60kHz, donde la ganancia experimental baja. Lo justificamos igual que en el circuito 1.

En este circuito, a partir de los 40kHz ya teníamos una señal triangular (a altas frecuencias, el funcionamiento del AO no es el esperado)



b)

Circuito 1			Circuito 2		
Frecuencias de Corte	Experimental (Hz)	Teorico (Hz)	Frecuencias de Corte	Experimental (Hz)	Teorico (Hz)
	351	339,49		3373	3378
		333,05			3365

Circuito 1:

Nuestra ganancia experimental máxima es de 9.85dB, por lo que la ganancia que buscamos para encontrar la frecuencia de corte de $(9.85/\sqrt{2})$ dB = 6.97dB. Obtenemos que nuestra frecuencia de corte es de 351Hz, valor que difiere poco del esperado: teóricamente obtuvimos el valor de 339.49Hz y simulando, 333.05Hz. En este caso, la diferencia es despreciable, pues cambiando en el osciloscopio la frecuencia en valores bajos, la salida de V_o apenas cambiaba (y por tanto, tampoco la ganancia).

Circuito 2:

Repitiendo el proceso (buscar la frecuencia a la que la ganancia = $ganancia_{m\acute{a}x}/\sqrt{2}$), obtenemos para el circuito 2 que la frecuencia de corte es 3373Hz. En este caso, el valor difiere menos que en el circuito 1 con lo esperado: el valor teórico era 3378Hz y el simulado 3365Hz, y nuestro valor experimental se encuentra a medio camino, cercano a ambos.

c) Para este apartado tuvimos que seguir el consejo del enunciado y usamos el condensador sobrante para filtrar el ruido. Aun así, tuvimos dudas a la hora de escoger las frecuencias donde el pitido desaparecía (no sabíamos si tenía que desaparecer completamente o sólo hacerse despreciable, y cada miembro de la pareja dejaba de escuchar a una frecuencia diferente). Al final decidimos tomar las frecuencias a las que, a pesar de escuchar el pitido, éste se hacía casi inaudible.

Circuito 1:

Por debajo, el sonido era apenas perceptible a partir de 303Hz y por encima, 14.83kHz.

Circuito 2:

A partir de 18.71kHz el pitido prácticamente desaparecía, y lo mismo ocurría por debajo de los 361Hz, ambos valores un poco por encima de los del circuito 1.

Circuito 1		Circuito 2	
F.min (Hz)	F.max (Hz)	F.min (Hz)	F.max (Hz)
303,7	$14,83 \cdot 10^3$	361,2	$18,71 \cdot 10^3$