

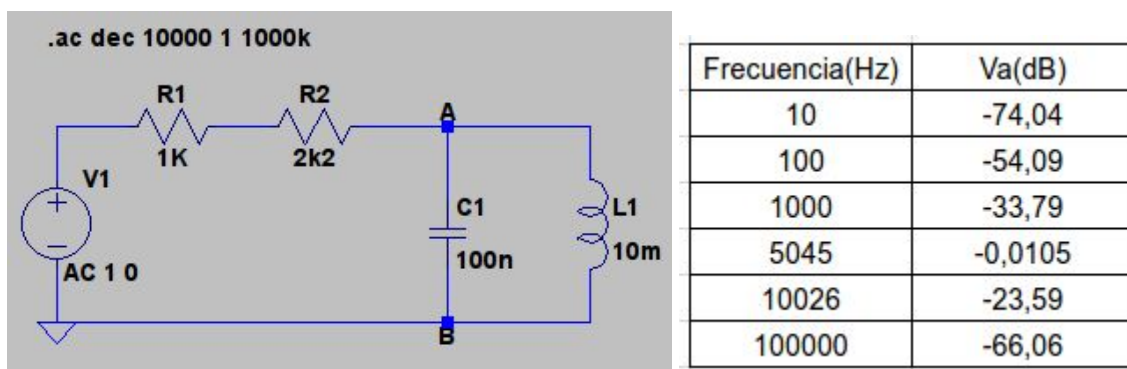
1) SIMULACIÓN PREVIA

Simulamos los siguientes circuitos:

Apartado A:

- **Perfil de simulación para análisis en corriente alterna:**

Se realiza la simulación con el comando `.ac dec 1 1000k`, y obtenemos estos resultados para frecuencias de hasta 1MHz.



- **Cálculos teóricos:**

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{Z_C || Z_L}{R_1 + R_2 + (Z_C || Z_L)} = \frac{(j\omega C + \frac{1}{j\omega L})^{-1}}{R_1 + R_2 + (j\omega C + \frac{1}{j\omega L})^{-1}}$$

Simplificando,

$$\frac{1}{1 + j(R_1 + R_2) \left(2\pi f C - \frac{1}{2\pi f L} \right)} = \frac{1}{1 + j3200 \left(2 \times 10^{-7} \pi f - \frac{1}{0,02 \pi f} \right)}$$

donde:

$$|A_V| = -20 \log_{10} \sqrt{1 + \left(3200 \left(2 \times 10^{-7} \pi f - \frac{1}{0,02 \pi f} \right) \right)^2} \text{ dB};$$

y

$$\varphi(A_V) = -\arctan \left(3200 \left(2 \times 10^{-7} \pi f - \frac{1}{0,02 \pi f} \right) \right) \text{ rad}$$

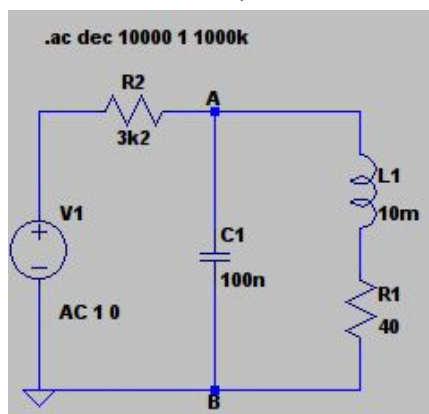
Para distintos valores de frecuencia, tenemos:

$$\begin{aligned} f = 10\text{Hz} &\Rightarrow |A_V| = -74,14\text{dB}; \varphi(A_V) = 1,57\text{rad} \\ f = 100\text{Hz} &\Rightarrow |A_V| = -54,13\text{dB}; \varphi(A_V) = 1,56\text{rad} \\ f = 1000\text{Hz} &\Rightarrow |A_V| = -33,79\text{dB}; \varphi(A_V) = 1,55\text{rad} \\ f = 5045\text{Hz} &\Rightarrow |A_V| = -0,010\text{dB}; \varphi(A_V) = -0,04\text{rad} \\ f = 10000\text{Hz} &\Rightarrow |A_V| = -23,55\text{dB}; \varphi(A_V) = -1,50\text{rad} \\ f = 100000\text{Hz} &\Rightarrow |A_V| = -46,04\text{dB}; \varphi(A_V) = 1,57\text{rad} \end{aligned}$$

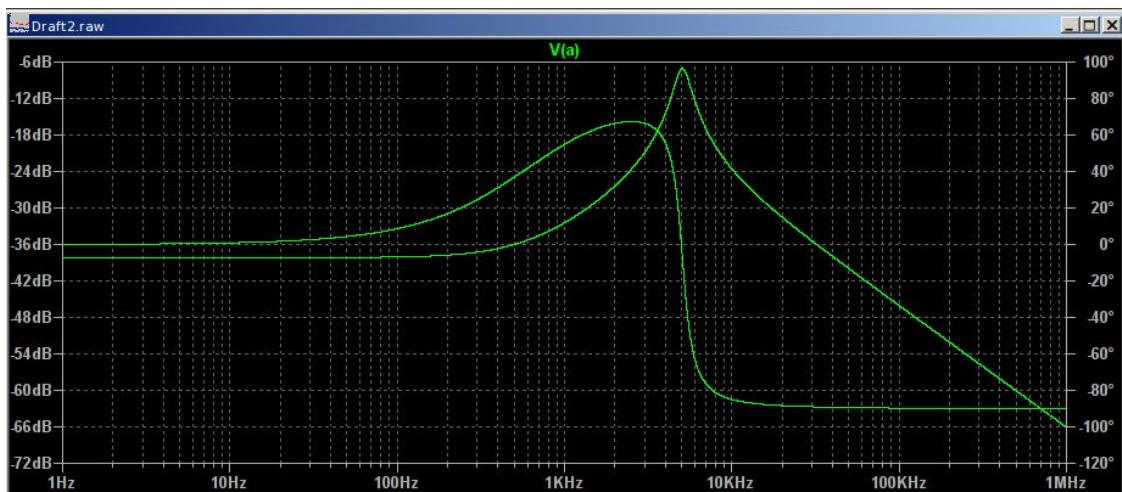
Apartado B:

- Perfil de simulación para análisis en corriente alterna:

Realizando la misma simulación, obtenemos estos resultados:



Frecuencia(Hz)	Va(dB)
10	-38,16
100	-38,06
1000	-32,48
5068	-7,09
10000	-23,61
100000	-66,06



Aunque visto a rasgos generales el resultado es el mismo que en el apartado A, hay una diferencia importante, sobre todo cuando las frecuencias son pequeñas. Para valores de f muy pequeños, la ganancia no decrece indefinidamente sino que se estabiliza en un valor entorno a -40dB . Esto ocurre porque sin $R1$, a bajas frecuencias, la rama de la bobina actúa como un cable y la del condensador como un circuito abierto: así, la ganancia es 0 ($-\infty\text{ dB}$). Añadiendo $R1$ en serie con la bobina conseguimos que, si f tiende a 0 , la impedancia en esa rama no sea 0 sino que tienda a 40 ohmios. La ganancia en este caso se estabiliza en -40dB porque el circuito actúa como un divisor de

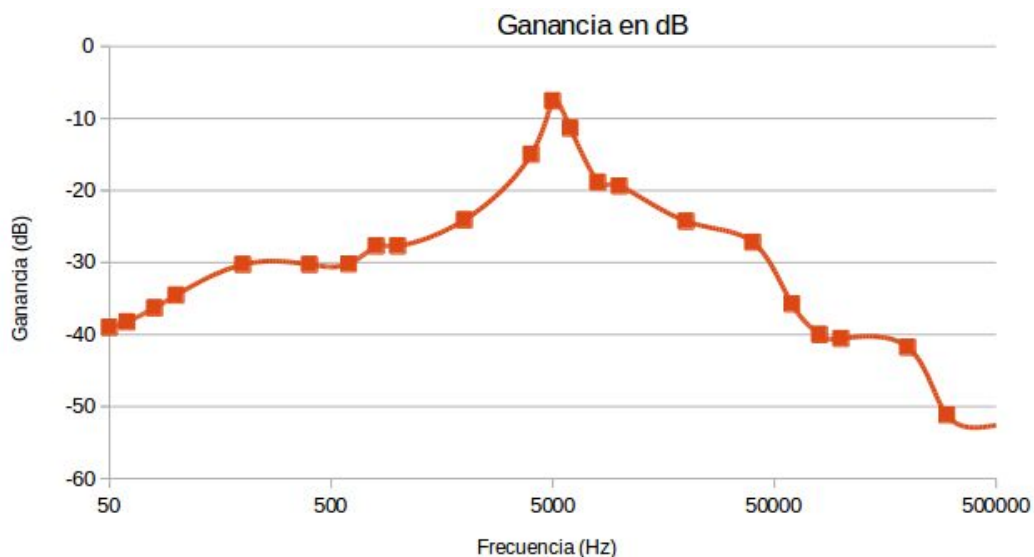
tensión (la impedancia capacitiva tiende a infinito (cortocircuito), por tanto su rama es despreciable), la ganancia es $40/3240$ y, en decibelios, $20 \cdot \log(40/3240) = -38,2\text{dB}$.

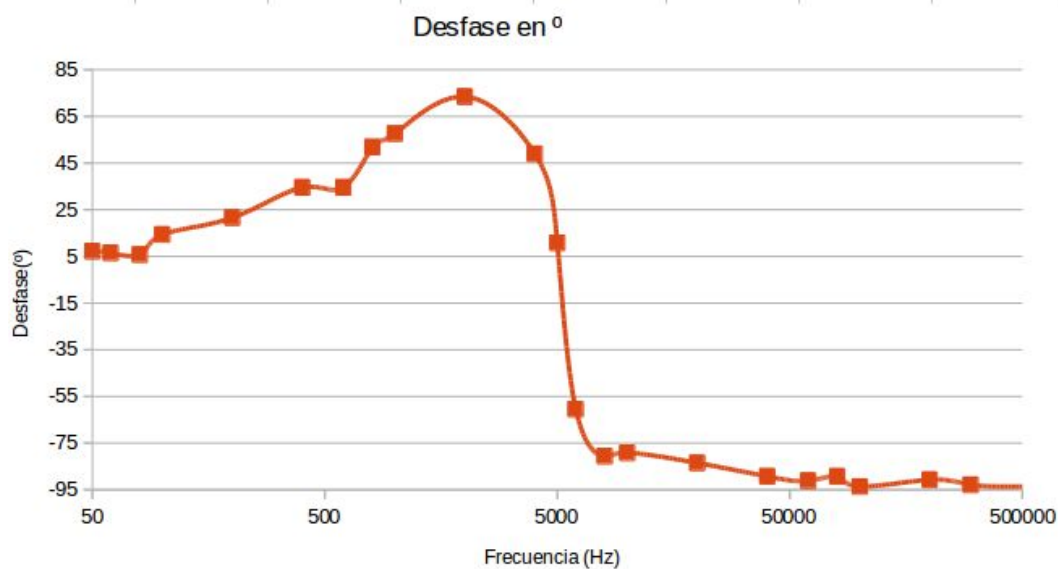
2) MONTAJE EXPERIMENTAL

Los datos obtenidos se reflejan en la siguiente tabla:

Frecuencia (Hz)	V1 (V)	Vab (V)	Δv (dB)	δt (μs)	Φ(°)
50	0,98	0,011	-39,00	400,00	7,20
60	0,98	0,012	-38,24	300,00	6,48
80	0,98	0,015	-36,30	200,00	5,76
100	0,98	0,018	-34,53	400,00	14,40
200	0,98	0,030	-30,28	300,00	21,60
400	0,98	0,030	-30,28	240,00	34,56
600	0,97	0,030	-30,19	160,00	34,56
800	0,97	0,040	-27,69	180,00	51,84
1000	0,97	0,040	-27,69	160,00	57,60
2000	0,96	0,060	-24,08	102,00	73,44
4000	0,94	0,168	-14,96	34,00	48,96
5000	0,98	0,410	-7,57	6,00	10,80
6000	0,93	0,252	-11,34	-28,00	-60,48
8000	0,93	0,106	-18,86	-28,00	-80,64
10000	0,93	0,100	-19,37	-22,00	-79,20
20000	0,98	0,060	-24,26	-11,60	-83,52
40000	0,96	0,042	-27,18	-6,20	-89,28
60000	0,98	0,016	-35,74	-4,22	-91,15
80000	1,00	0,010	-40,00	-3,10	-89,28
100000	0,96	0,009	-40,56	-2,60	-93,60
200000	0,98	0,008	-41,76	-1,26	-90,72
300000	0,94	0,003	-51,16	-0,86	-92,88
500000	0,98	0,002	-52,59	-0,52	-93,60

- 1) Si representamos los datos obtenidos en una gráfica, el resultado es el siguiente:





2)

- Nuestro circuito se comporta como un filtro paso banda cuya frecuencia natural, aquella a la que alcanza la máxima ganancia, es aproximadamente 5000Hz.
- La ganancia máxima alcanzada es la de -7.57dB (o 0.418 V)
- Las frecuencias de corte son aquellas a las que se alcanza la ganancia máxima partido de raíz de dos, en este caso, -10.579 dB. Según los datos recogidos, la frecuencia de corte superior está por encima de los 4000 Hz y la inferior es algo menor a 6000 Hz: por tanto, el ancho es algo inferior a los 2000 Hz.

3)

En la ganancia, los valores recogidos concuerdan con los que esperábamos tras ver los resultados de la simulación y los teóricos:

Según los datos obtenidos, la ganancia máxima se alcanza en torno a los 5000Hz. Como es un valor tomado sobre nuestra gráfica y la escala del eje X es logarítmica, un pequeño incremento supone una variación considerable. Los valores esperados eran 5032Hz (cálculo teórico) y 5045Hz (simulación). Por tanto, el valor de la gráfica no se desvía en gran medida aún teniendo en cuenta la poca precisión de su medida.

*Para frecuencias altas, alcanza a los 500000Hz una ganancia de -52.59dB. La ganancia teórica a esta frecuencia es -60dB, y la simulada es algo mayor que -63dB (bastante parecidas).

*A bajas frecuencias, sin embargo, nuestras medidas difieren más de las teóricas y las simuladas (por ejemplo: a 50Hz nuestra ganancia es de unos -38dB, mientras que los valores teórico y simulado rondan los -60dB). Creemos que esto se debe al hecho de que a bajas frecuencias, a pesar de disminuir la impedancia de la bobina, ésta sigue teniendo asociada una resistencia interna que despreciamos en la primera simulación, y por esto la ganancia a bajas frecuencias se parece más a las medidas en la segunda parte de la prepráctica (con la resistencia de 40 ohmios, la ganancia era de unos -38dB).

*Las frecuencias de corte medidas están por encima de los 4000Hz y algo por debajo de los 6000, mientras que las frecuencias de corte teóricas son 4700Hz y 5300Hz: aunque no sea exactamente el mismo, se acerca bastante al valor ideal.

El desfase medido a bajas frecuencias no es tal y como esperábamos según la 1ª simulación, pero sí se ajusta a la 2ª, y esto es debido a que la bobina no es ideal y tiene una resistencia interna. Los cálculos teóricos indicaban que antes de la frecuencia natural el desfase debía ser de 90°. Sin embargo, obtuvimos los siguientes resultados:

*Para frecuencias menores que la frecuencia natural, el desfase según nuestras medidas asciende desde los 7° hasta alcanzar aproximadamente los 72° en torno a los 2000Hz: esto ocurre más o menos igual en la segunda simulación.

*Para frecuencias mayores que la frecuencia natural del filtro, el desfase va descendiendo hasta -90° aproximadamente. Algunos valores exceden este valor y eso no concuerda con lo previsto, pero seguramente se trata de errores de medida. Según la simulación el desfase sería -90° para frecuencias muy altas y, según los cálculos teóricos, -1.57 rad (89,95°). Por tanto, a grandes rasgos, el comportamiento del filtro montado y el filtro ideal es similar.

3. DESARROLLO EN SERIE DE FOURIER DE SEÑALES ALTERNAS

- 1) Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla. Tras comprobar que del orden 15 al 21 los resultados apenas varían, se decidió parar de tomar medidas.

Frecuencia (Hz)	Orden del armónico K	Vab,k (V)	$[4/(\pi k)] \cdot A_{v,max} $
5033,0	1	0,52	0,522
1677,7	3	0,248	0,174
1006,6	5	0,196	0,104
719,0	7	0,18	0,075
559,2	9	0,172	0,058
457,5	11	0,168	0,047
387,2	13	0,166	0,040
335,5	15	0,164	0,035
296,1	17	0,162	0,031
264,9	19	0,161	0,027
239,7	21	0,161	0,025

- 2) Como podemos apreciar, existe una gran diferencia entre los valores de la tercera columna y los de la cuarta. En el primer caso, la frecuencia es muy parecida, pero a medida que aumentamos el orden del armónico los valores medidos se alejan cada vez más de los teóricos.

Esto se debe a una acumulación de errores sistemáticos sumados al propio funcionamiento del filtro. En primer lugar, como se vio en la simulación, para frecuencias bajas la ganancia del filtro se mantiene estable a -38,2 dB (0,012 V aproximadamente), y por tanto no decrece continuamente. Lo mismo ocurre con nuestros datos medidos, sin embargo, estos convergen a un valor considerablemente mayor que el visto en la simulación. Esta variación se debe a que el valor real del voltaje se confunde con el ruido del sistema en frecuencias tan pequeñas, por ello, los últimos valores estarían midiendo la tensión generada por el ruido. Todas estas son las causas de que los valores medidos difieran de los esperados.