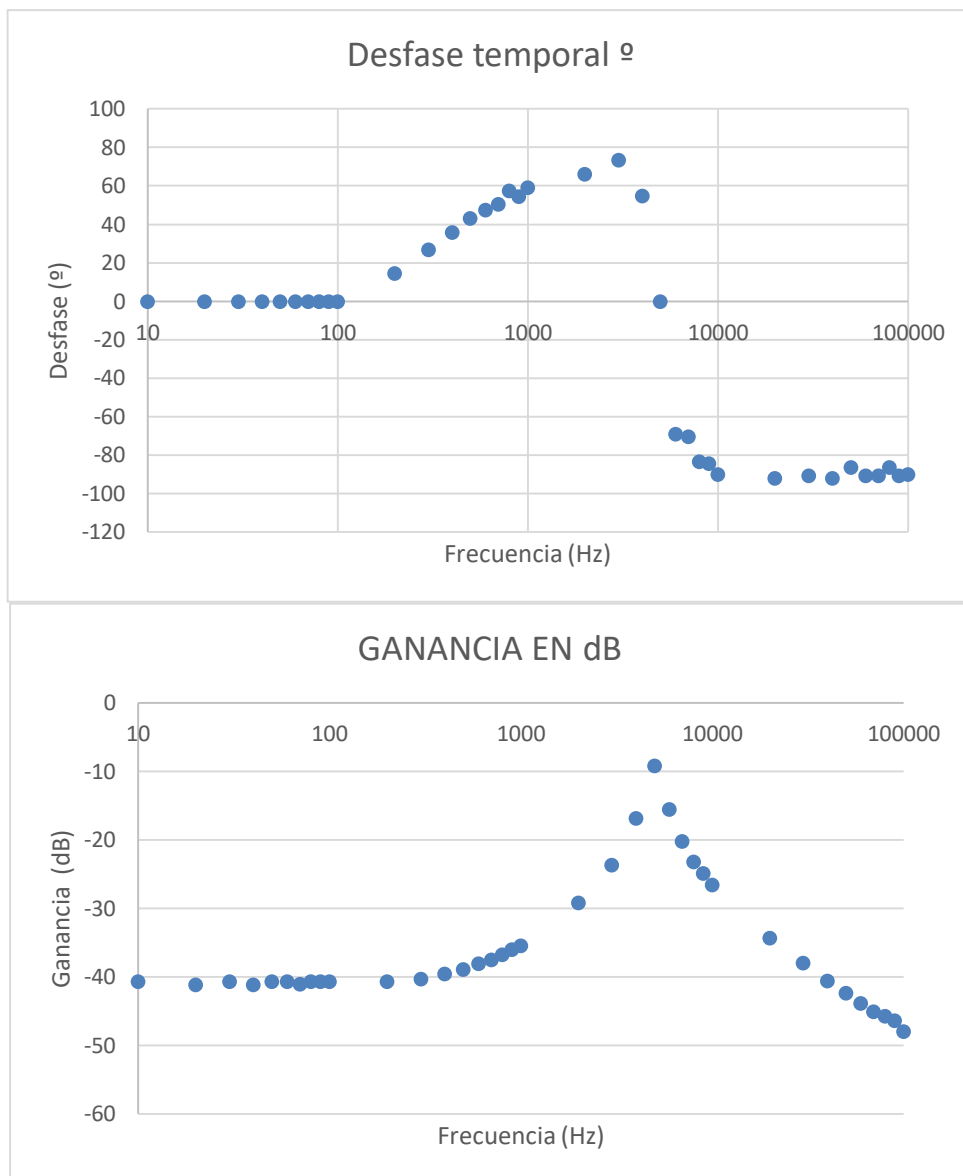

PRÁCTICA 5

CARACTERIZACIÓN DE UN FILTRO RC

6 DE NOVIEMBRE DE 2019
DOMINGO MENÉNDEZ Y PABLO SOETARD

Monte el circuito 1 con $RR1 = 4.7k\Omega$, $CC1 = 100nF$ y $LL1 = 10mH$. La señal de tensión sinusoidal V1 se obtiene del terminal Output del generador de funciones, fijando inicialmente una amplitud de 1V y variando su frecuencia. Con el cable BNC-banana conectaremos la señal a la entrenadora.

a) Represente los valores experimentales de la ganancia de tensión (en decibelios) y del desfase ϕ (en grados) en función de la frecuencia utilizando una escala logarítmica.



Frecuencia (Hz)	Modulo de Vab (V)	Modulo de V2 (V)	ΔV (V)	Desfase temporal (ms)	Ganancia Lineal	Desfase grados (°)
10	0,0092	0,99	-40,63694735	0	0,009292929	0
20	0,0088	1	-41,11034656	0	0,0088	0
30	0,0092	1	-40,72424345	0	0,0092	0
40	0,0088	1	-41,11034656	0	0,0088	0
50	0,0092	1	-40,72424345	0	0,0092	0
60	0,0092	0,99	-40,63694735	0	0,009292929	0
70	0,0088	0,99	-41,02305045	0	0,008888889	0
80	0,0092	0,99	-40,63694735	0	0,009292929	0
90	0,0092	0,99	-40,63694735	0	0,009292929	0
100	0,0092	0,99	-40,63694735	0	0,009292929	0
200	0,0092	0,99	-40,63694735	0,2	0,009292929	14,4
300	0,0096	0,99	-40,26727923	0,25	0,00969697	27
400	0,0104	0,99	-39,57203711	0,25	0,010505051	36
500	0,0112	0,99	-38,92834344	0,24	0,011313131	43,2
600	0,0124	0,99	-38,04427019	0,22	0,012525253	47,52
700	0,0132	0,99	-37,50122527	0,2	0,013333333	50,4
800	0,0144	0,99	-36,74545405	0,2	0,014545455	57,6
900	0,0156	0,99	-36,05021192	0,168	0,015757576	54,432
1000	0,0168	0,99	-35,40651826	0,164	0,016969697	59,04
2000	0,034	0,98	-29,19494317	0,092	0,034693878	66,24
3000	0,064	0,98	-23,70092203	0,068	0,065306122	73,44
4000	0,14	0,98	-16,9019608	0,038	0,142857143	54,72
5000	0,34	0,98	-9,194943173	0	0,346938776	0
6000	0,164	0,98	-15,52764455	-0,032	0,167346939	-69,12
7000	0,096	0,98	-20,17909685	-0,028	0,097959184	-70,56
8000	0,068	0,98	-23,17434326	-0,029	0,069387755	-83,52
9000	0,056	0,98	-24,86076097	-0,026	0,057142857	-84,24
10000	0,046	0,98	-26,56936488	-0,025	0,046938776	-90
20000	0,0188	0,98	-34,34136453	-0,0128	0,019183673	-92,16
30000	0,0124	0,98	-37,95608781	-0,0084	0,012653061	-90,72
40000	0,0092	0,98	-40,54876497	-0,0064	0,009387755	-92,16
50000	0,0076	1	-42,38372815	-0,0048	0,0076	-86,4
60000	0,0064	1	-43,87640052	-0,0042	0,0064	-90,72
70000	0,0056	1	-45,03623946	-0,0036	0,0056	-90,72
80000	0,0052	1	-45,67993313	-0,003	0,0052	-86,4
90000	0,0048	1	-46,37517525	-0,0028	0,0048	-90,72
100000	0,004	1	-47,95880017	-0,0025	0,004	-90

Podemos observar que las gráficas se ajustan a las predicciones de la simulación, obtenemos un filtro paso-banda, ya que a medida que vamos aumentando la frecuencia, la ganancia va aumentando, hasta llegar a la frecuencia natural del filtro, a unos 5000 Hz, y después la ganancia empieza a disminuir. También podemos observar un plateau a unos -40.63 dB que se produce por el carácter no ideal del filtro (la bobina tiene resistencia).

Observamos un desfase que empieza en 0°, sube un poco a medida que nos vamos acercando a la frecuencia natural del filtro, y después baja hasta los -90°, situándose a unos 0° cuando alcanzamos la frecuencia de natural del filtro.

b) Determine la frecuencia natural del filtro (f_0), el valor de la ganancia máxima las frecuencias de corte inferior y superior y el ancho de banda para el circuito paso band

La frecuencia natural del filtro se obtiene $A_{max} = A_v(f_0)$, observando los valores, vemos que a unos 5000 Hz alcanzamos una ganancia máxima de -9,19 dB.

Podemos obtener la frecuencia de corte del filtro calculando $\frac{A_{max}}{\sqrt{2}} = 0.245$, que cuyo módulo en escala logarítmica será de $20\log|0.245| = -12.2$ dB, vemos que en la tabla anterior, a 4000 Hz tenemos una ganancia de -16.9 dB, por lo que a unos 4500 Hz tendremos una ganancia de -12.2 dB, esta frecuencia se corresponde con la frecuencia de corte inferior. También vemos que a 6000 Hz tenemos una ganancia de -15.5 dB, por lo que a unos 5700 Hz tendremos una ganancia de -12.2 dB, que sería la frecuencia de corte superior. Esto concuerda con los cálculos teóricos, que predicen una frecuencia de corte inferior de 4400 Hz y superior de 5750 Hz.

En cuanto al ancho de banda del filtro, lo podemos obtener restando la frecuencia de corte inferior a la frecuencia de corte superior, lo que nos da un ancho de banda de 1350 Hz.

Compare los resultados obtenidos experimentalmente con los que se obtienen del análisis teórico y de la simulación con LTspice.

Frecuencia (Hz)	20*log Δv (dB)	Angulo de desfase (°)	20*log Δv (dB) Teórico	Angulo de desfase (°)	20*log Δv (dB) LTSPICE	Desfase (°) LTSPICE
10	-40,6369474	0,00000	-41,473262	0,878052487	-41,474360	0,87805
100	-40,6369474	0,00000	-41,365172	8,708236098	-41,365172	8,70824
1000	-35,4065183	59,04000	-35,734331	55,24310597	-35,7343	55,24311
10000	-26,5693649	-90	-26,899646	-86,18016824	-26,899500	-86,18017
100000	-47,9588002	-90	-49,383576	-89,80456254	-49,383576	-89,80456

Como podemos observar todo lo obtenido en las mediciones concuerda con lo calculado teóricamente

$$j\omega L + R_1 \text{ w} \rightarrow 0 = R_1$$

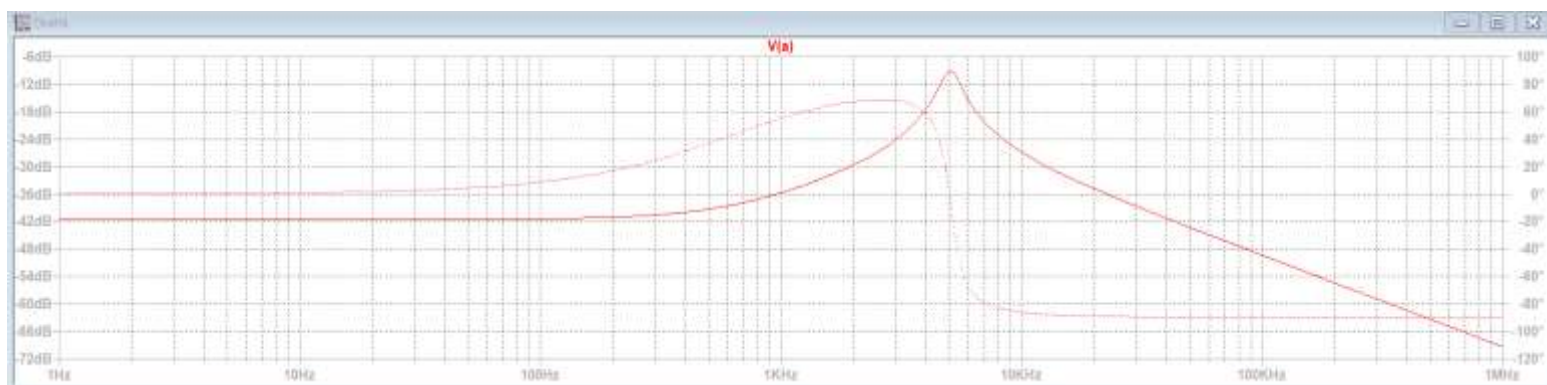
$$j\omega L + R_1 \text{ w} \rightarrow \infty = \infty$$

$$Z_i = \frac{j\omega L + 40}{-w^2 CL + j\omega C 40 + 1}$$

$$A = \frac{j\omega L + 40}{j\omega L + 40 + R_1(-w^2 CL + j\omega C 40 + 1)}$$

$$|A| = \frac{\sqrt{(wL)^2 + 40^2}}{\sqrt{(40 + R_1 - w^2 R_1 CL)^2 + (w * CL + 40 R_1 C)^2}}$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{wL}{40}\right) - \arctg\left(\frac{w(L + 40 R_1 C)}{40 + R_1 - w^2 R_1 CL}\right)$$



A continuación, mediremos la amplitud de los armónicos de una señal cuadrada en V1 utilizando el filtro paso banda. Como no podemos incrementar la frecuencia central del filtro de forma continua con los componentes disponibles, mediremos la amplitud a la salida a medida que disminuimos la frecuencia de V1 progresivamente.

Utilizando el mismo montaje de la 1ª parte, seleccione una señal alterna de forma cuadrada para V1.

Fije la frecuencia de la onda cuadrada en el valor de la frecuencia central del filtro. Mida la amplitud de la onda V1 y la amplitud de la onda entre A y B

Fije la frecuencia de la onda cuadrada en el valor de la frecuencia central del filtro dividido por tres. En ese momento se observa un aumento de la amplitud de la onda de salida debido al filtrado selectivo del armónico de orden 3. Mida la amplitud de la onda V1 (V_{V1}) y la amplitud de la onda entre A y B

Fije la frecuencia de la onda cuadrada en el valor de la frecuencia central del filtro dividido por k. En ese momento se observa un aumento de la amplitud de la onda de salida debido al filtrado del armónico selectivo de orden k. Mida la amplitud de la onda V1 (V_{V1}) y la amplitud de la onda entre A y B

Repita las medidas hasta que la onda de salida se confunda con el ruido del sistema.

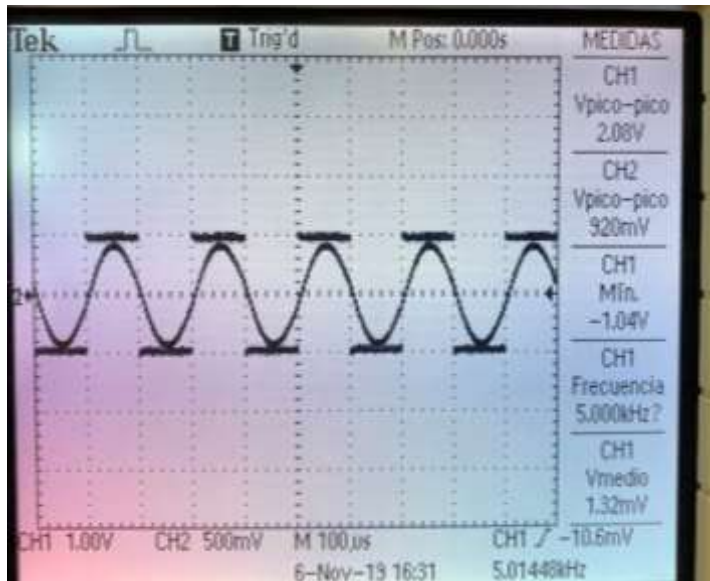
Con los datos medidos se debería poder rellenar una tabla como la siguiente:

Armónico 1	Vpp Teórico (V)	Vpp Experimental (V)	V de entrada (V)
1	0.88347233841	0,92	1
3	0.29449077947	0,4	0,92
5	0.176694467682	0,304	0,98
7	0.12621033405	0,272	0,96
9	0.09816359315	0,26	1

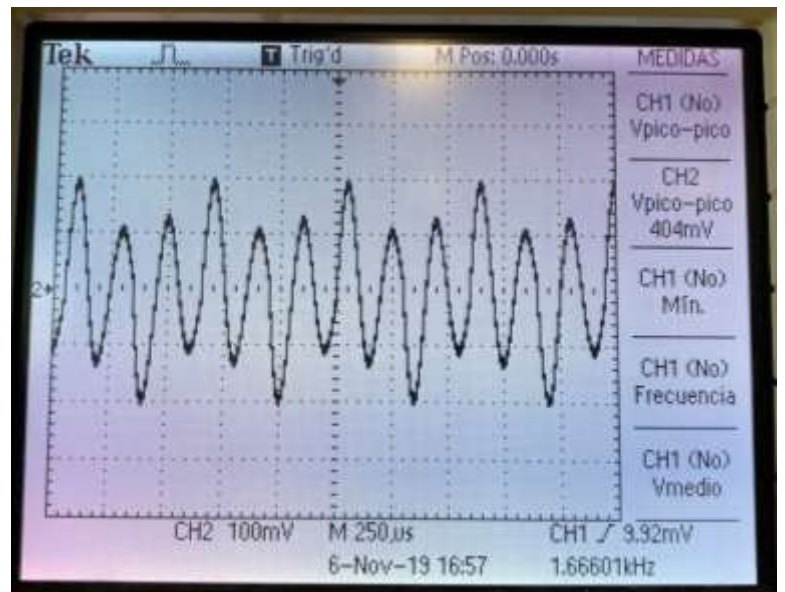
Las amplitudes experimentales para cada armónico serán proporcionales a $4/\pi K$ y a la ganancia máxima del filtro $V_{pp, Experimental}$, medida durante la caracterización del filtro. La última columna de la tabla permite comparar la amplitud experimental con el valor teórico esperado.

Discuta las desviaciones entre los valores experimentales y los valores teóricos esperados producidos por la no idealidad del filtro paso banda

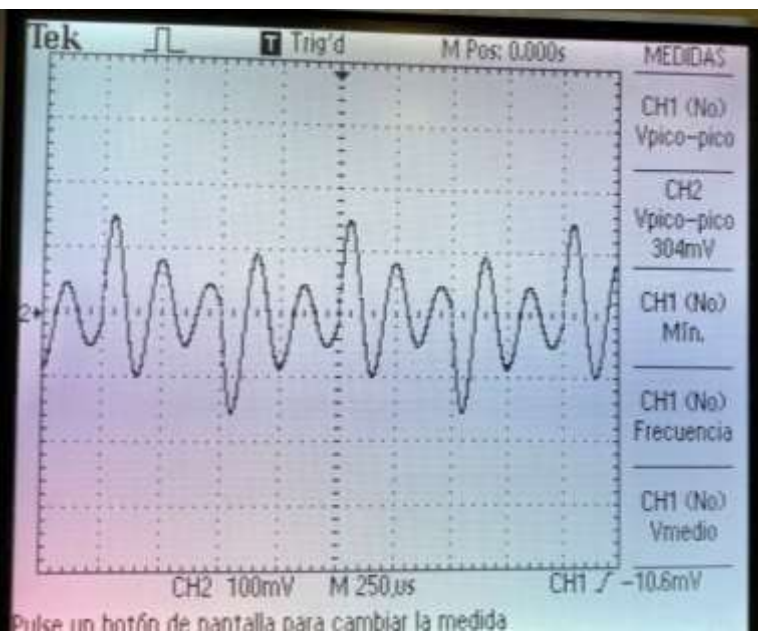
Armónico 1



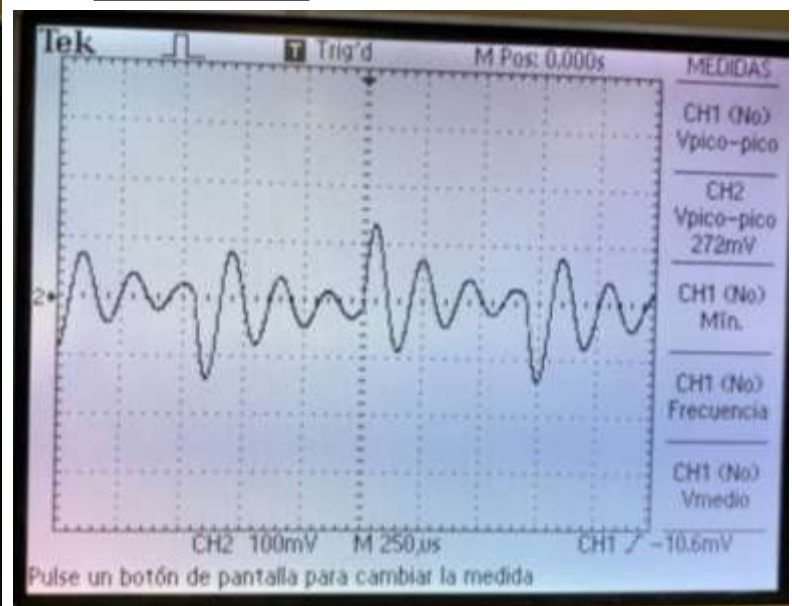
Armónico 3



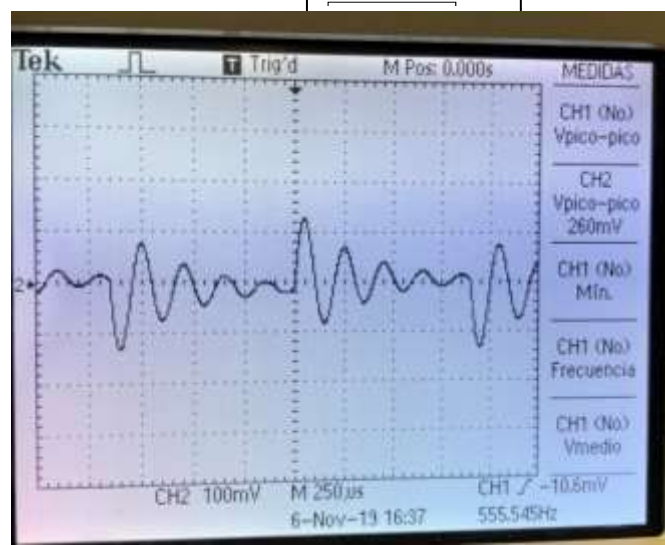
Armónico 5



Armónico 7



Armónico 9



Las desviaciones de los datos teóricos con respecto a los experimentales se deben principalmente a la no idealidad del filtro.

Como hemos observado anteriormente, al tener un plateau en la gráfica de la ganancia, debido a la resistencia de la bobina, esto hace que la ganancia a frecuencias bajas no empiece en $-\infty$ dB si no en -40.63 dB, lo que produce que frecuencias más bajas que nuestra frecuencia de corte inferior se introduzcan en la señal de salida del filtro, aunque estén amortiguadas.

Esto se puede observar muy bien en la onda del tercer armónico, donde se puede intuir perfectamente a la onda del primer armónico superpuesta sobre el tercer. Así, las amplitudes de ambas se suman (pese a que el primer armónico esté algo amortiguado debido a la ganancia), y se puede observar que cada 3 ciclos del tercer armónico la amplitud varía debido a la influencia del primer armónico.

DISCUSIÓN

Como podemos observar en la tabla de valores experimentales, la ganancia máxima no es de 0 dB, sino -9.19 dB, esto se debe a la no idealidad del filtro, ya que la bobina tiene $40\ \Omega$ de resistencia, por lo que a la frecuencia natural del filtro $20\log|A_v| = -9.19$ dB. Podemos comprobar también que las frecuencias de corte se encuentran 3 dB más abajo que la frecuencia natural, como teóricamente se calculó anteriormente, a -12.2 dB.

Como ya vimos en clase, las ondas cuadradas están formadas por la superposición de los infinitos armónicos de una onda sinusoidal. Por lo que, al aplicarles nuestro filtro paso banda, lo que hacemos es que solo uno de los armónicos pase a la vez.

Para poder hacer que cada vez pase uno de los armónicos, habría que rediseñar cada vez el circuito para que la frecuencia natural del filtro correspondiese con la frecuencia del armónico a medir. En vez de esto, lo que hacemos es disminuir la frecuencia de la onda cuadrada en un factor de $1/(k+1)$, siendo k un número natural, y así conseguimos desplazar la frecuencia del armónico deseado hasta nuestra frecuencia natural del filtro.

Como se puede ver en las imágenes, el 7º y 9º armónico son prácticamente iguales, esto se debe a que la frecuencia del 7º armónico es de 714,28 Hz y la del 9º de 555,55 Hz, vemos que la diferencia entre ambos es de 158,73 Hz. Esta diferencia no es lo suficientemente grande como para que el circuito filtre solo una de ellas, ya que $5000\text{ Hz} - 158.73\text{ Hz} > 4500\text{ Hz}$ y $5000\text{ Hz} + 158.73\text{ Hz} < 5750\text{ Hz}$, por lo que aparecen sumados los armónicos. Para poder medir los armónicos posteriores al 7º se necesitaría un filtro con un ancho de banda menor.