



**Instituto Politécnico Nacional**

**Escuela Superior de Cómputo**



## **Práctica 9: FILTRO PASA ALTA**

**Profesor:** Ismael Cervantes de Anda

**Grupo:** 4CV2

**Equipo:**

- Ramírez Jiménez Itzel Guadalupe
- Colín Ramiro Joel
- Vázquez Giles Alejandro

## I. OBJETIVO

En esta práctica no.9, los objetivos que se esperan son: comprobar el funcionamiento del filtro pasa altas, así como determinar su frecuencia de corte.

## II. MATERIALES

**Amplificador Operacional:** TL071.

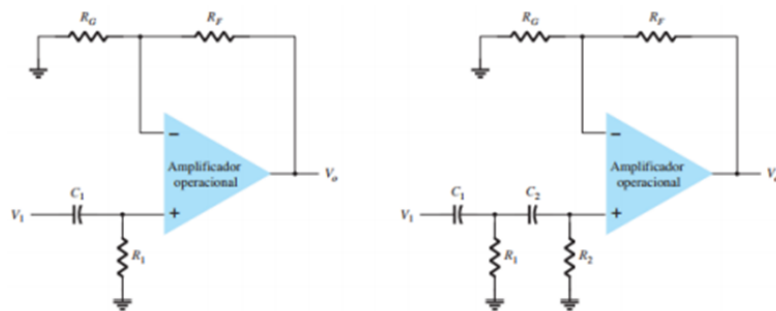
**Resistencias:**  $1\text{k}\Omega$ ,  $6.8\text{k}\Omega$ ,  $12\text{k}\Omega$ ,  $15\text{k}\Omega$ ,  $18\text{k}\Omega$ ,  $22\text{k}\Omega$  y  $39\text{k}\Omega$ .

**Capacitores:**  $0.001\mu\text{F}$  a  $50\text{V}$

## III. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

Un filtro pasa Altas es aquel filtro que proporciona o deja pasar señales por arriba de una frecuencia de corte  $f_c$  es un filtro pasa altas ideal.

Como se puede observar en la **fig 1**. La ganancia de voltaje por encima de la frecuencia de corte y esta última vienen dadas por las mismas expresiones con un filtro de segundo orden  $R_1=R_2$  y  $C_1=C_2$ .



**fig 1**

Si se estudia este circuito con componentes ideales para frecuencias muy bajas (continua por ejemplo), se tiene que el condensador eléctrico se comporta como una impedancia de valor muy alto, idealmente como una interrupción en el circuito, por lo que impedirá el paso de corriente a la resistencia y, por tanto, la diferencia de tensión en la resistencia será cero.

Para una frecuencia muy alta, idealmente infinita, el condensador se comportará como una impedancia de valor nulo, es decir, como un conductor ideal, por lo que la caída de tensión de la resistencia será la misma tensión de entrada, lo que significa que dejaría pasar toda la señal.

El producto de resistencia por condensador ( $R \times C$ ) es la constante de tiempo, cuyo recíproco es la frecuencia de corte, es decir, donde el módulo de la respuesta en frecuencia baja 3 dB respecto a la zona pasante:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Donde  $f_c$  es la frecuencia de corte en hertz(Hz),  $R$  es la resistencia de la carga en ohms( $\Omega$ ) y  $C$  es la capacidad en faradios(F).

El desfase depende de la frecuencia  $f$  de la señal y es:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{f_c}{f}$$

## Aplicaciones

Las aplicaciones más comunes para los filtros pasa-alta son eliminar o por lo menos reducir la información no deseada en el espectro de audio por debajo de 40Hz a 70Hz. Esto elimina la señal de sub-audio (para proteger altavoces contra daños y evitar pérdidas de potencia del amplificador), el estruendo de etapa (5Hz a 30Hz), y el ruido del viento o de la respiración (40Hz a 70Hz).

Otra de las aplicaciones que se encuentran con más frecuencia en el mundo real de este tipo de filtro sería la de hacer que las altas frecuencias de una señal de audio fuesen a un altavoz para sonidos agudos mientras que un filtro paso bajo, revisado en la práctica anterior hiciera lo propio con los graves.

## IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para esta novena y penúltima práctica, analizamos y comprendimos el funcionamiento de los filtros pasa altas, más en concreto, con los de 2do y 4to orden. En esta sección se encuentra el desarrollo que realizamos para su elaboración y su comprensión.

### Filtro Activo Pasa Altas de 2º orden

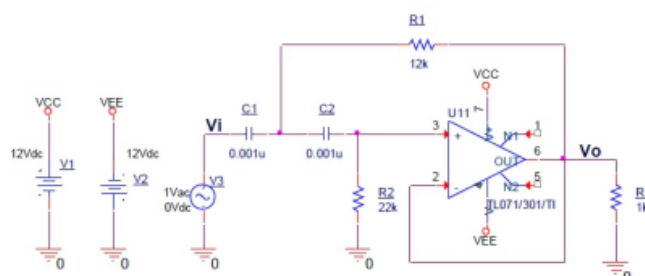
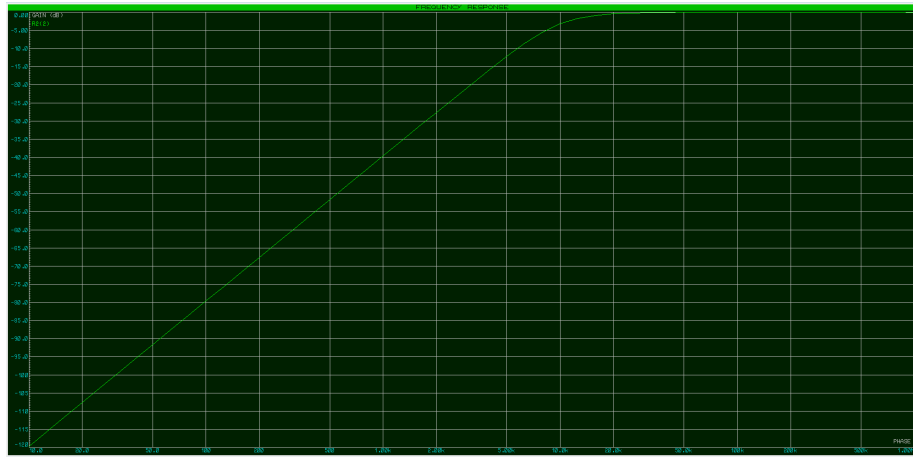


fig 2

Para este primer circuito el cual se encuentra señalado por la **fig 2**, obtuvimos el diagrama de Bode del voltaje de salida ( $V_o$ ), la cual se encuentra señalizada por la **gráfica 1**.



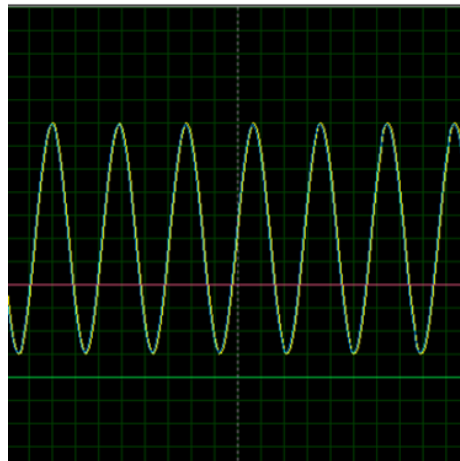
gráfica 1

$$f_c = 9.3 \text{ kHz}$$

$$m = \text{pendiente} = -40 \frac{\text{dB}}{\text{década}}$$

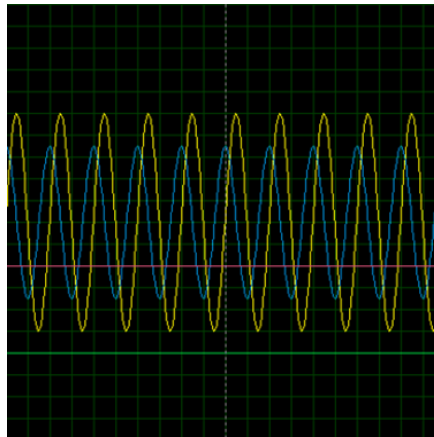
$$\text{orden} = n = 2^\circ$$

Posteriormente, cambiamos la fuente  $V_{AC}$  por una fuente de voltaje senoidal con una amplitud de  $1 V_p$  y una frecuencia de  $\frac{1}{10}$  de  $f_c$  y realizamos su respectiva simulación en el dominio del tiempo para así, analizar la señal de entrada  $V_i$  y la señal de salida  $V_o$ . La graficación de dichas señales se encuentra en la **gráfica 2**.



gráfica 2

Como penúltimo inciso en el primer filtro, cambiamos la frecuencia de la fuente de voltaje senoidal a  $f_c$  y realizamos la simulación en el dominio del tiempo para analizar la señal de entrada  $V_i$  y la señal de salida  $V_o$ . Las ilustraciones de las señales se encuentran en la **gráfica 3**.



gráfica 3

### Filtro Activo Pasa Altas de 4º orden

Para el segundo y último filtro de esta práctica, armamos el circuito que se encuentra detallado en la **fig 3**.

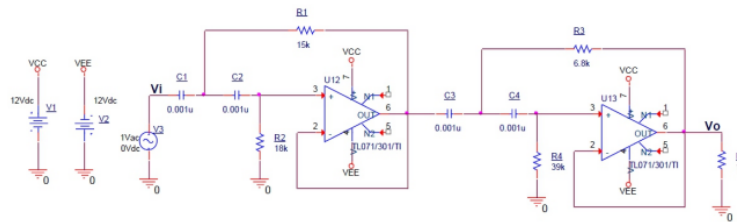


fig 2

Donde  $V_3$  es una fuente de voltaje AC con una amplitud pico de 1v.

Al igual que el filtro anterior, se obtuvo el diagrama de Bode del voltaje de salida  $V_0$  mediante la simulación en AC, dicha graficación se encuentra expuesta en la **gráfica 4**.



gráfica 4

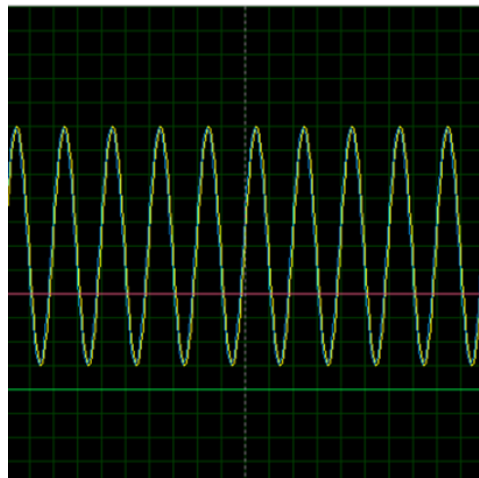
$$f_c = 10.3 \text{ kHz}$$

$$m = \text{pendiente} = -60 \frac{\text{dB}}{\text{década}}$$

$$\text{orden} = n = 4^{\circ}$$

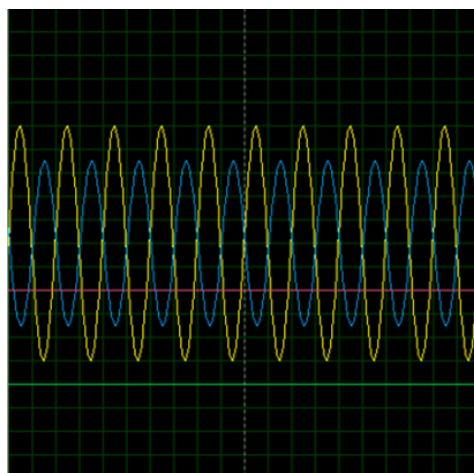
$$\text{orden} = n = 4^{\circ}$$

Posteriormente y al igual que el primer filtro,, cambiamos la fuente  $V_{AC}$  por una fuente de voltaje senoidal con una amplitud de  $1 V_p$  y una frecuencia de  $\frac{1}{10}$  de  $f_c$  y realizamos su respectiva simulación en el dominio del tiempo para así, analizar la señal de entrada  $V_i$  y la señal de salida  $V_o$ . La graficación de dichas señales se encuentra en la **gráfica 5**.



**gráfica 5**

Como último inciso en el segundo filtro, cambiamos la frecuencia de la fuente de voltaje senoidal a  $f_c$  y realizamos la simulación en el dominio del tiempo para analizar la señal de entrada  $V_i$  y la señal de salida  $V_o$ . Las ilustraciones de las señales se encuentran en la **gráfica 6**.

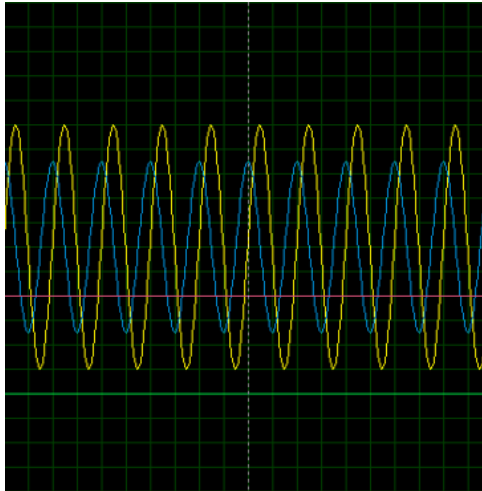


**gráfica 6**

## V. SIMULACIONES Y CÁLCULOS TEÓRICOS

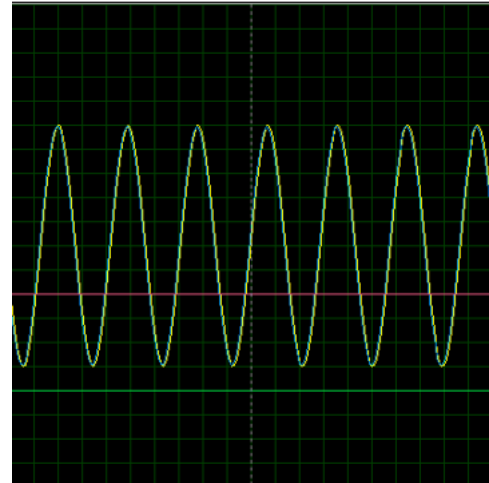
En esta sección se encuentran todas las capturas de las simulaciones realizadas en Proteus, de ambos circuitos, así como los cálculos teóricos necesarios respectivamente.

### Filtro Activo Pasa Altas de 2º Orden



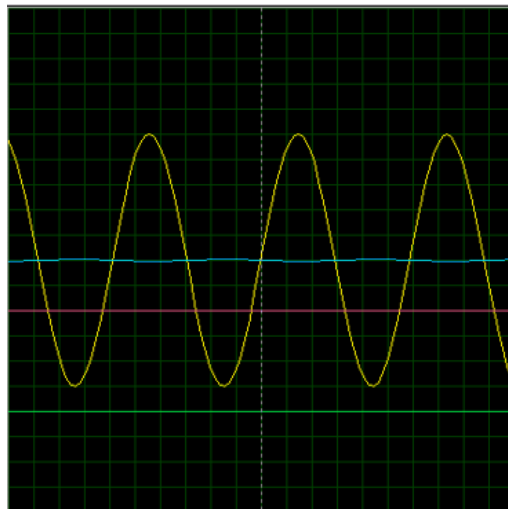
0.4 0.1 V/div canal 1  
0.5 0.1 V/div canal 2  
0.6 55u m/seg/div

$F_c$



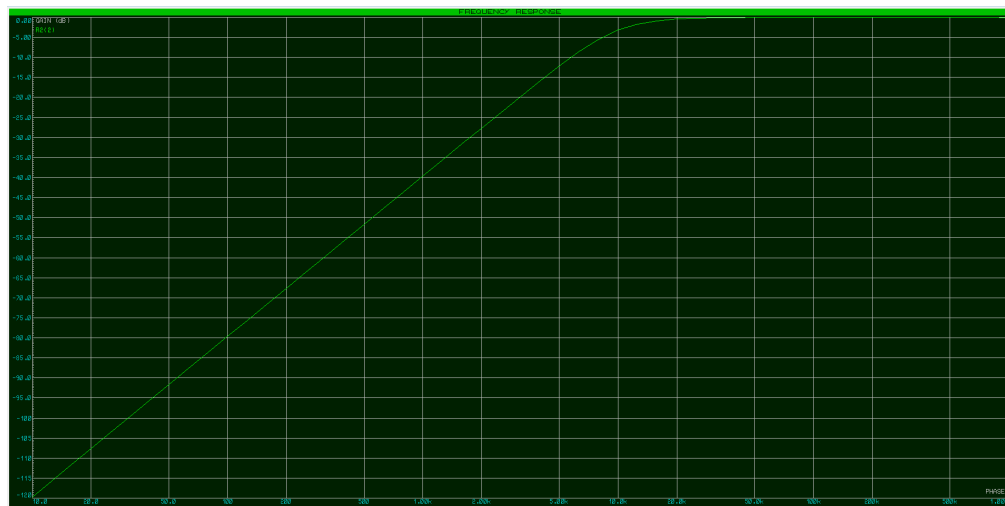
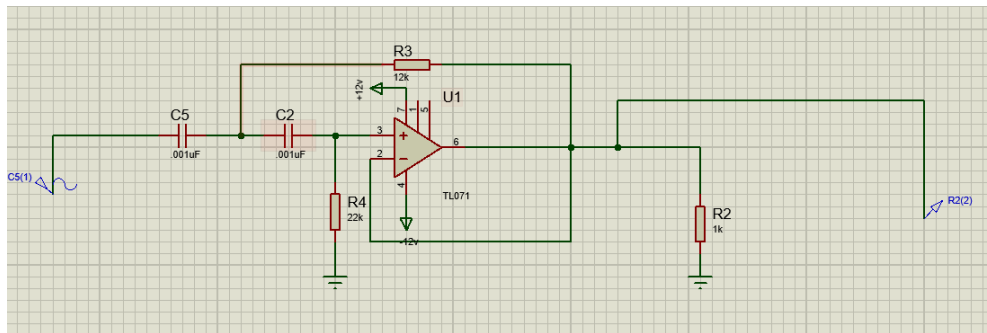
0.1 0.1 V/div canal 1  
0.2 0.1 V/div canal 2  
0.3 3.45u m/seg/div

$10 F_c$



0.7 0.1 V/div canal 1  
0.8 0.1 V/div canal 2  
0.9 0.2 m/seg/div

$1/10 F_c$



Circuito 1

Ángulo de desfazamiento cuando  $f = \frac{1}{10} f_c = 1.03 \text{ kHz}$

Desf entre la señal de entrada

↓

$t_1 = -730 \mu\text{s}$  ,  $t_2 = 240 \mu\text{s}$

$t_2 - t_1 = 970 \times 10^{-6} \text{ s}$

---

Desf entre ambas señales

$t_1 = -730 \mu\text{s}$  ,  $t_2 = -210 \mu\text{s}$

$t_2 - t_1 = (-210 \mu\text{s}) - (-730 \mu\text{s}) = 520 \times 10^{-6} \text{ s}$

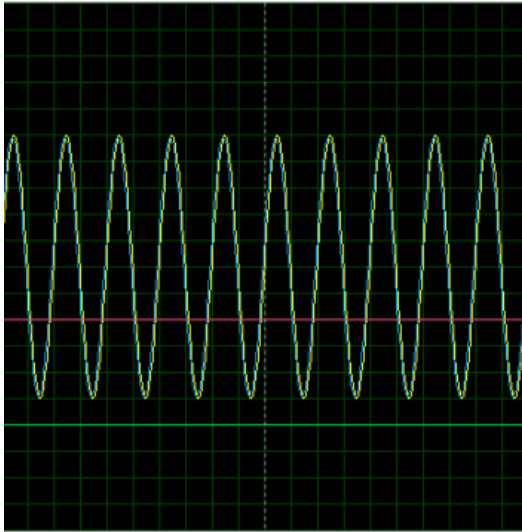
---

Ángulo de Desfazamiento

$$\phi = \frac{(520 \times 10^{-6})(360)}{970 \times 10^{-6}} = 192.98^\circ$$

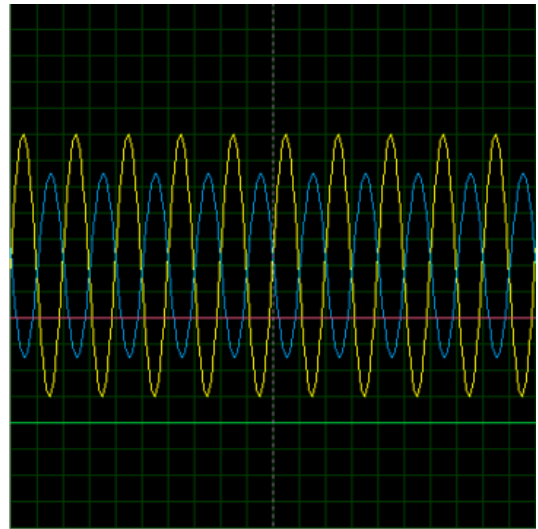


## Filtro Activo Pasa Altas de 4° Orden



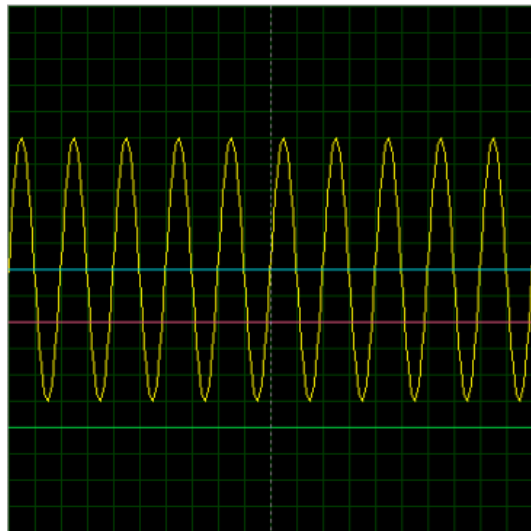
0.10 0.1 V/div canal 1  
0.11 0.1 V/div canal 2  
0.12 5u m/seg/div

10  $F_c$



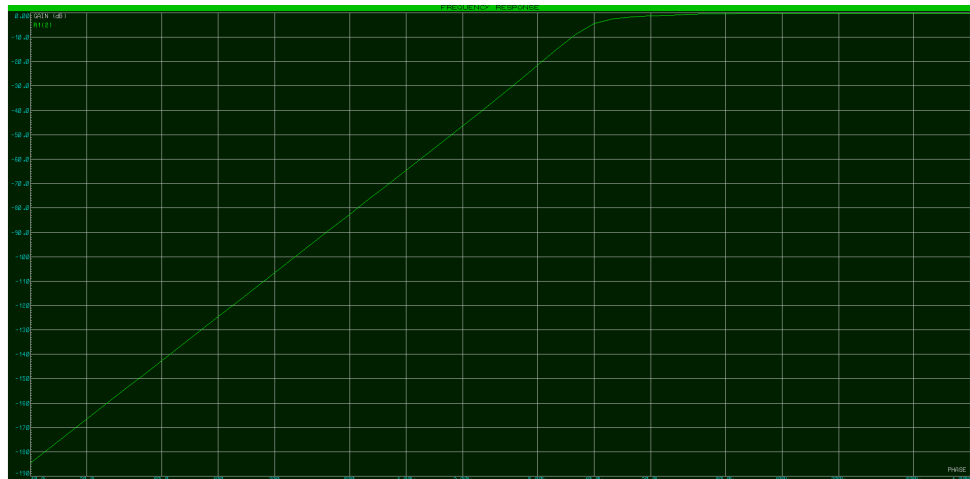
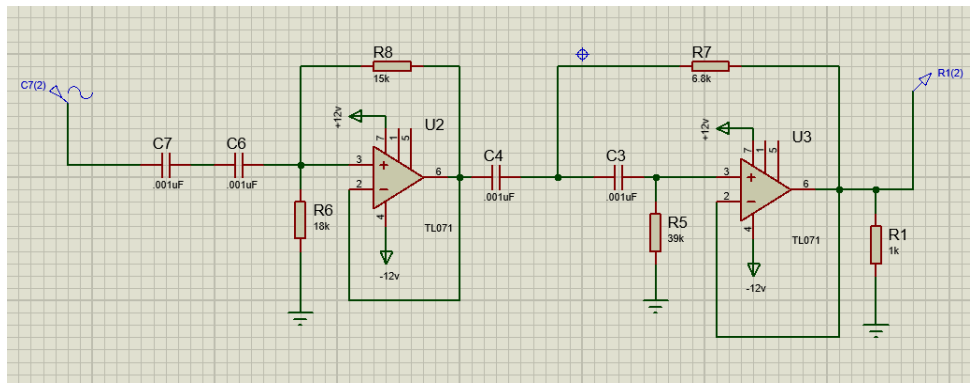
0.13 0.1 V/div canal 1  
0.14 0.1 V/div canal 2  
0.15 50u m/seg/div

$F_c$



0.16 0.1 V/div canal 1  
0.17 0.1 V/div canal 2  
0.18 0.5 m/seg/div

1/10  $F_c$



Circuito 2

Ángulo de Desfazamiento cuando  $f = f_0$   $f_c = 1.03$  kHz

Desfazamiento entre la señal de entrada

$t_1 = -1.70 \mu s$  ,  $t_2 = 0 s$

$t_2 - t_1 = 1.70 ms$

---

Desfazamiento entre ambas señales

$t_1 = -1.70 ms$  ,  $t_2 = 0 s$

$t_2 - t_1 = 1.70 \times 10^{-3} s$

---

Ángulo de desfazamiento

$\theta = \frac{(1.70 \times 10^{-3}) (360)}{1.70 ms} = 360^\circ$

## VI. CUESTIONARIO

1. ¿Qué le pasa a la fase de la señal de salida con relación a la señal de entrada?

En la frecuencia de corte se desfasa  $90^\circ$ ; hacia la derecha si es filtro pasa bajas y hacia la izquierda si es filtro pasa altas.

## 2. ¿Qué representa una década en la frecuencia?

Se refiere a una banda de frecuencia que se sitúa entre una primera frecuencia y otra que es diez veces mayor a ésta, tal como de 1000 a 10000 Hz.

## 3. ¿Qué es el orden del filtro?

Se trata de la atenuación en la salida del filtro a partir de la frecuencia de corte. Se mide en dB/octava. Un filtro de primer orden será de 6 dB/octava, uno de segundo orden: 12 dB/octava, uno de tercer orden: 18 dB/octava y así sucesivamente (saltos de 6 dB).

## 4. ¿Qué pendiente debe de tener un filtro pasa altas de 4° orden?

La pendiente debe de ser de 24 dB/oct.

## 5. ¿Cómo se arma un filtro activo pasa altas de 7° orden?

Los requerimientos para el diseño de un filtro pasa alta de 7mo orden son los siguientes:

Orden = 7

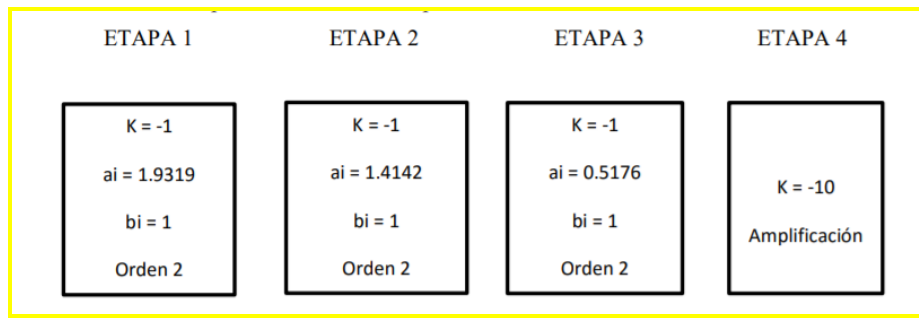
Frecuencia de corte =  $1000\text{Hz}$

KdB = 20 dB.

Al tener un orden siete y ser mayor a dos, se ubica en cascada tres etapas de orden dos, para lograr el orden requerido, por lo tanto, al tener en cascada cada etapa se multiplican las ganancias. Además se incorpora una cuarta etapa, la cual será de ganancia.

Los valores de  $a_i$  y  $b_i$  se obtienen a partir de la tabla filtros Butterworth.

A continuación se representan las cuatro etapas a diseñar:



### ETAPA 1

Se debe cumplir que ambos condensadores sean del mismo valor capacitivo.

$$c1 \text{ y } c2 = 100n$$

Para obtener R1, se calcula de la siguiente manera:  $R1 = 1 / \pi * fc * C * ai$   
 (6.2.2)  $K = -1$   $a_i = 1.9319$   $b_i = 1$

Orden 2  $K = -1$   $a_i = 1.4142$   $b_i = 1$  Orden 2  $K = -1$   $a_i = 0.5176$   $b_i = 1$

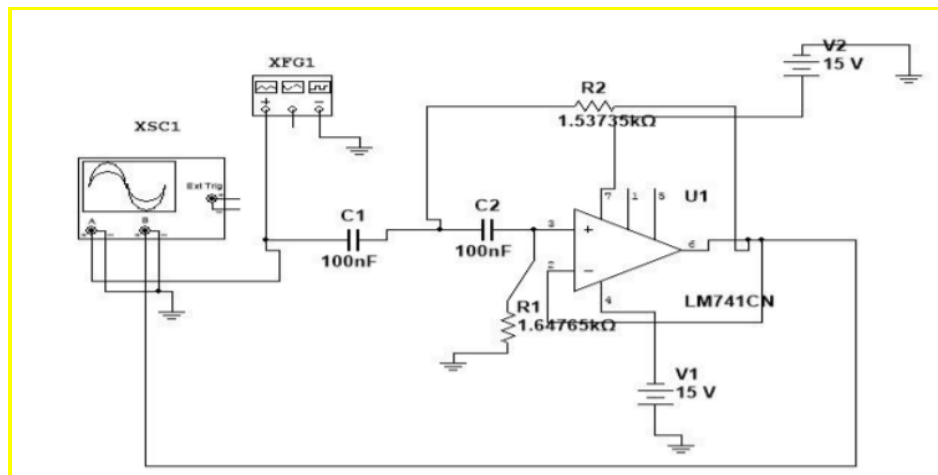
Orden 2  $K = -10$  Amplificación Universidad del Bío-Bío.  
 Reemplazando:  $R1 = 1.64765k\Omega$  (6.2.3)

Para obtener R2, se calcula de la siguiente manera:  $R2 = ai / 4 * \pi * fc * C * bi$  (6.2.4)

Reemplazando:  $R2 = 1.53735k\Omega$  (6.2.5)

Con los valores calculados, se obtiene el siguiente circuito:

Circuito de la primera etapa del filtro pasa alto.



### ETAPA 2

Se debe cumplir que ambos condensadores sean del mismo valor capacitivo.  $C_3$  y  $C_4 = 100n$

Para obtener  $R_3$ , se calcula de la siguiente manera:

$$R_3 = 1 / \pi * f_c * C * a_i \quad (6.2.6)$$

Reemplazando:

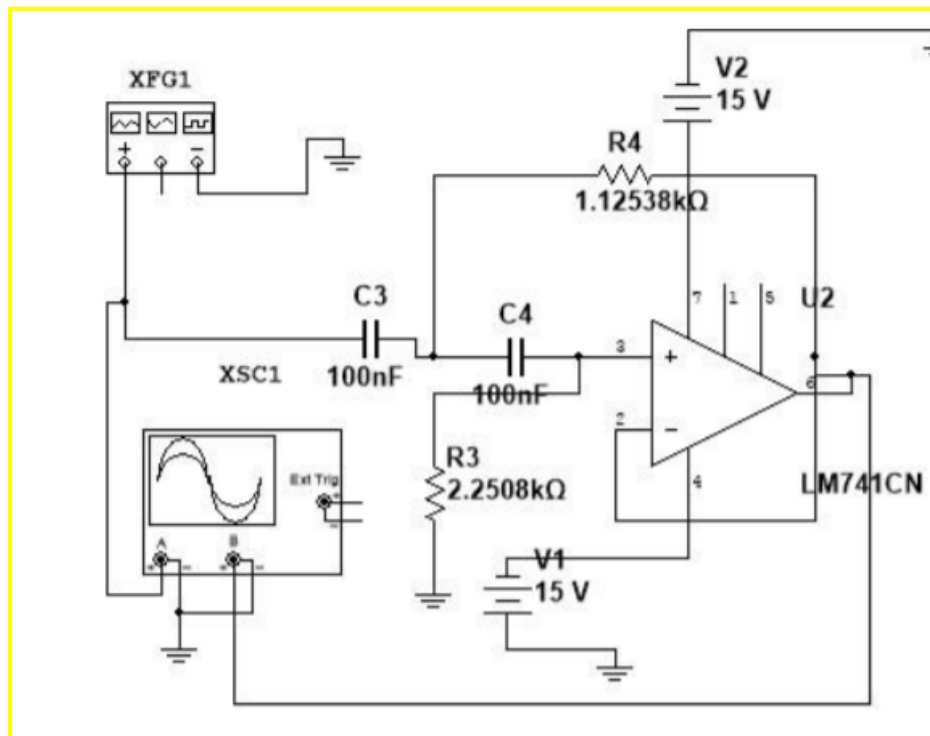
$$R_3 = 2.2508k\Omega \quad (6.2.7)$$

Para obtener  $R_4$ , se calcula de la siguiente manera:

$$R_4 = a_i / 4 * \pi * f_c * C * b_i \quad (6.2.8)$$

Reemplazando:  $R_4 = 1.12538k\Omega \quad (6.2.9)$

Con los valores calculados, se obtiene el siguiente circuito:



### ETAPA 3

Se debe cumplir que ambos condensadores sean del mismo valor capacitivo.  $C_5$  y  $C_6 = 100n$

Para obtener  $R_5$ , se calcula de la siguiente manera:

$$R_5 = 1 / \pi * f_c * C * a_i \quad (6.2.10)$$

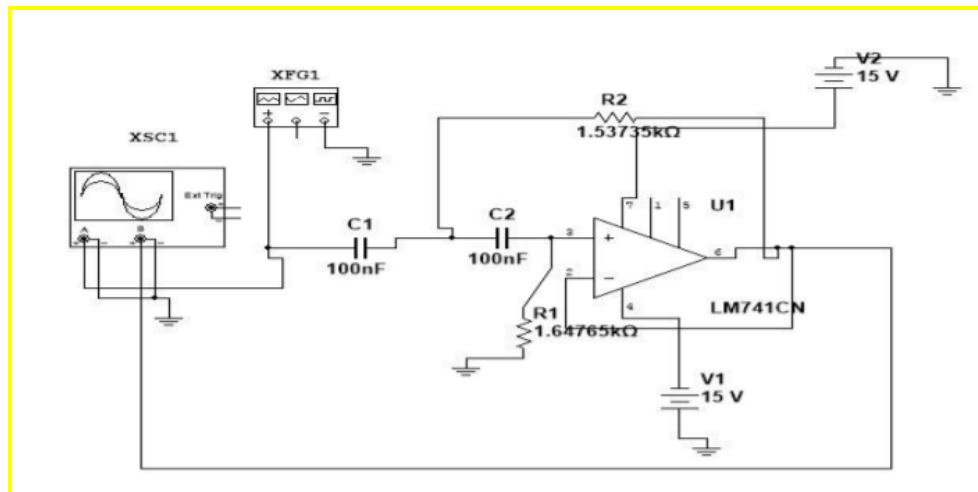
Reemplazando:  $R_5 = 6.14972k\Omega \quad (6.2.11)$

Para obtener R6, se calcula de la siguiente manera:

$$R6 = a_i / 4 * \pi * f_c * C * b_i \quad (6.2.12)$$

$$\text{Reemplazando: } R6 = 411.8929\Omega \quad (6.2.13)$$

Con los valores calculados, se obtiene el siguiente circuito:



#### ETAPA 4

En esta etapa se obtiene la ganancia del filtro.

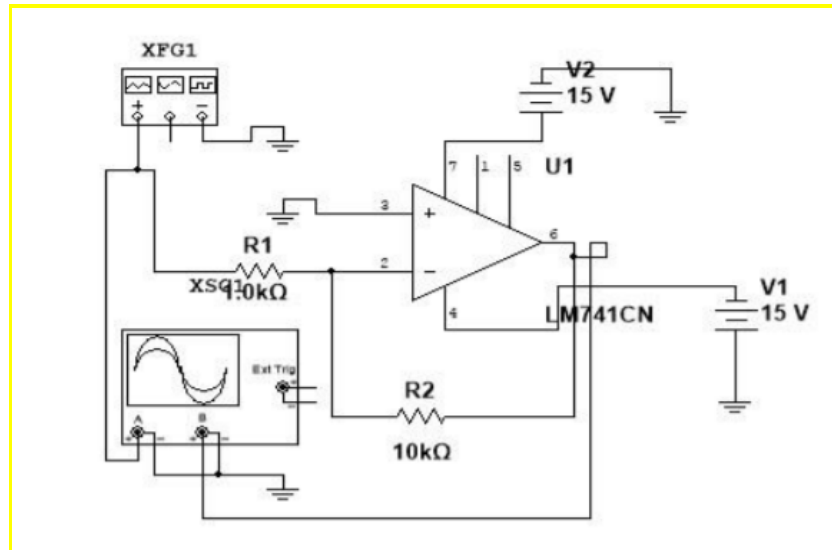
La ganancia se rige bajo la siguiente ecuación:

$$K = - R8 / R9 \quad (6.2.14)$$

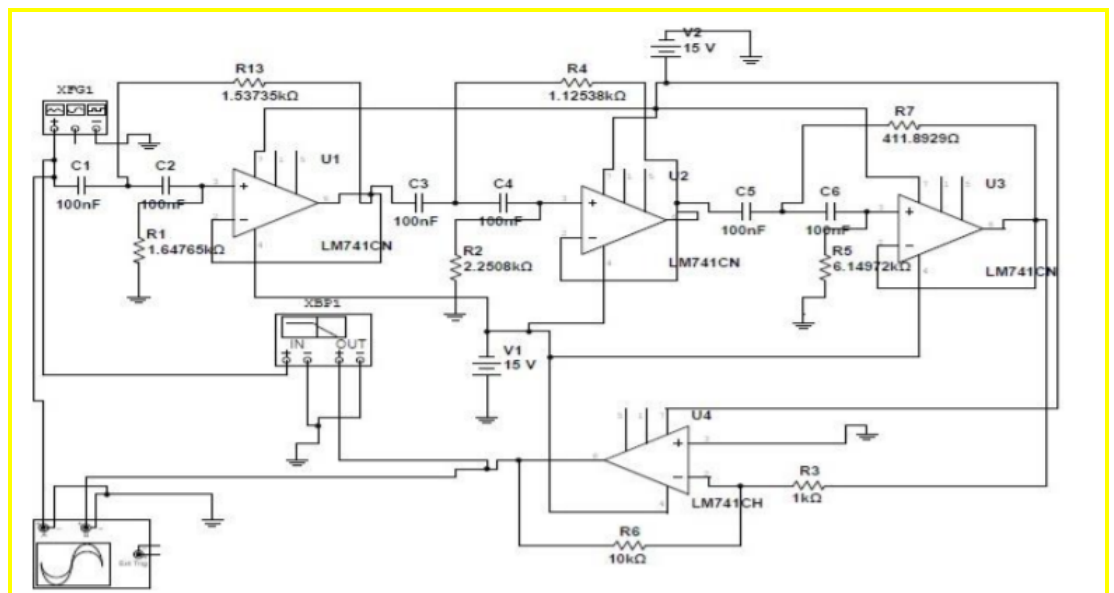
Por lo tanto, si la ganancia es 10, se puede utilizar un valor de R8 igual a 10kΩ, en consecuencia, R9 se calcula de la siguiente manera:

$$R9 = |10k / -10| = 1k\Omega \quad (6.2.14)$$

Con los valores calculados, se obtiene el siguiente circuito:



Se conectan las cuatro etapas en cascada, para obtener el circuito final:



## 6. ¿Cuál es la diferencia básica entre un filtro pasa bajas y un filtro pasa altas?

El filtro pasa bajas permiten el paso de la señal que esté por debajo de una determinada frecuencia(frecuencia de corte)  $W_c$ , mientras que el filtro pasa altas permite que una señal con frecuencia de 0 a  $\infty$  pase intacta.

## VII. CONCLUSIONES

En la práctica anterior revisamos el filtro pasa bajas el cual permite que una señal con frecuencia(frecuencia de corte) de 0 a  $\infty$  pase intacto a la salida y las señales con alguna otra frecuencia se atenúen hasta ser prácticamente cero.

El filtro pasa altas, por el contrario, permite que una señal con frecuencia de 0 a  $\infty$  pase intacta, mientras que las demás se atenuarán.

El uso de filtros dentro de la electrónica es muy importante, pues permiten el paso de ciertas frecuencias de una señal de entrada mientras que atenúan las demás, con aplicaciones dentro de la instrumentación, telecomunicaciones y sistemas de audio.

Finalmente, si combinamos ambos circuitos pasa altas y pasa bajas (los conectamos en serie) obtenemos un filtro pasa banda, el cual dejará pasar señales con frecuencia en un rango de  $f_{c1}$  a  $f_{c2}$ , donde  $f_{c1}$  es la frecuencia de corte del filtro pasa altas y  $f_{c2}$  la del filtro pasa bajas.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. <https://unicrom.com/filtros-orden-fase-relacion-entrada-salida/>
2. <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/filtro-pasa-altas/>
3. <http://www.itlalaguna.edu.mx/2014/Oferta%20Educativa/Ingenierias/Sistemas/Plan%201997-2004/Ecabas/ecabaspdf/FILTROS%20ACTIVOS.pdf>
4. [https://tecdigital.tec.ac.cr/repo/rea/electronica/el-2114/un\\_5/55\\_filtros.html](https://tecdigital.tec.ac.cr/repo/rea/electronica/el-2114/un_5/55_filtros.html)
5. <http://www.learningaboutelectronics.com/Articulos/Filtro-paso-alto.php>