

### **OBJETIVOS:**

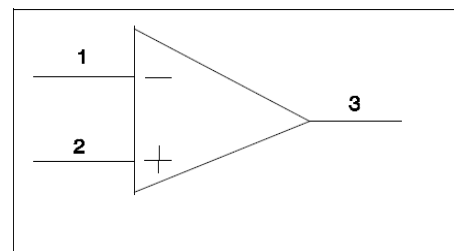
- Establecer conceptos y aplicaciones básicas de un amplificador operacional (AO)
- Considerar la realimentación positiva en aplicaciones de control.
- Comprender el funcionamiento de filtros pasivos de frecuencias y sus aplicaciones.

### **Conceptos preliminares**

El Amplificador operacional (AO) es un dispositivo electrónico integrado que presenta como característica importante la elevada ganancia de tensión, alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida. Existen 3 configuraciones básicas: Comparador sin realimentación, con realimentación negativa y con realimentación positiva. Cada una de estas configuraciones tiene diversas aplicaciones de gran utilidad y beneficio. La posibilidad de realizar operaciones matemáticas (sumador de tensiones, restador, integrador, diferenciador) le ha dado en nombre de Amplificador Operacional.

#### **Símbolo:**

- 1- Entrada Inversora
- 2- Entrada No Inversora
- 3- Salida



#### **Especificaciones de un AO ideal:**

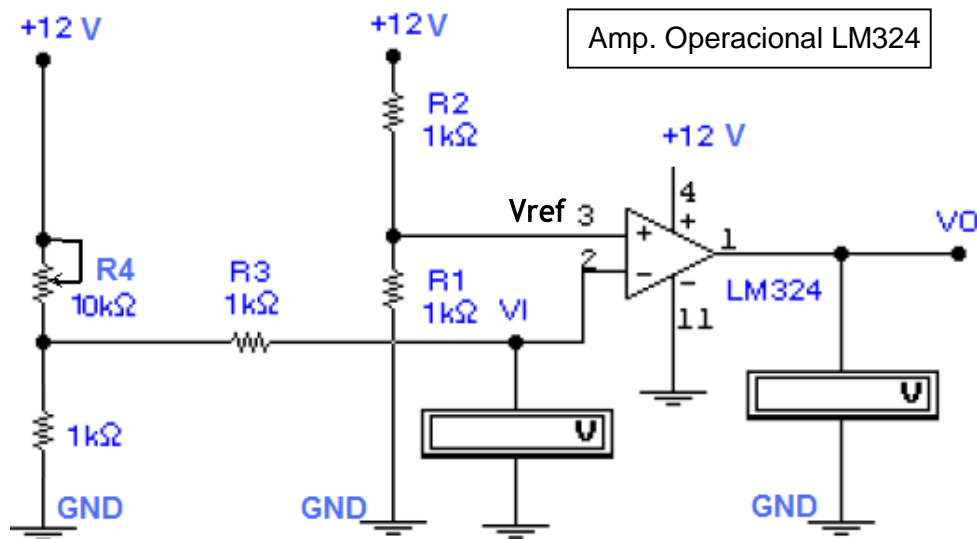
Ganancia de tensión: infinita  
Impedancia de entrada: infinita  
Impedancia de salida: cero  
Ancho de Banda: infinito

#### **Especificaciones de un AO real:**

Si bien existen muchos modelos diferentes de AO, en general se considera:

Ganancia de Tensión: 100000  
Impedancia de entrada: 2 Mohms  
Impedancia de salida: 100 ohms  
Ancho de Banda: 1 Mh

### El Amplificador Operacional como Comparador (Sin Realimentación)



**Figura 1: AO sin realimentación**

En la figura1 se observa el AO en modo comparador sin realimentación, toda la ganancia de tensión está en lazo abierto, por lo tanto, pequeños cambios en la señal diferencial de entrada (potencial entre los pines 3 y 2 del integrado LM324) producirán grandes cambios a la salida pasando por los niveles máximos y mínimos (+12v y 0v) en Vo (pin1 del integrado). Se denomina **Vref** a la tensión en el pin3 del LM324 y a **Vi** a la tensión en el pin 2.

Un análisis es considerar el cambio de Vi con respecto a Vref y observar el efecto resultante a la salida (Vo):

$V_i < V_{ref}$ , la salida Vo sigue en fase a Vref y toma un valor próximo a +12V. Si

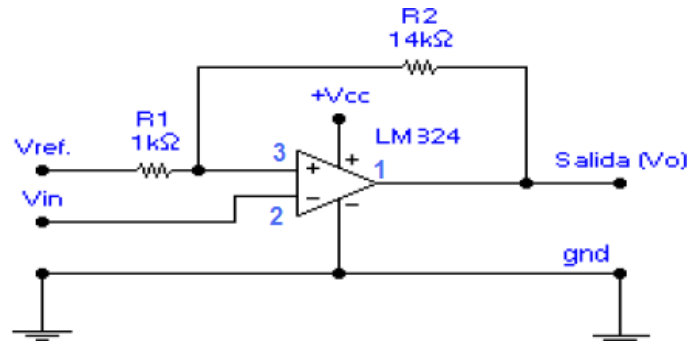
$V_i > V_{ref}$ , la salida Vo invierte la fase de entrada y toma el valor de 0V.

$V_i = V_{ref}$ , el cambio es inestable, por cuanto solo se requiere un valor diferencial de  $(V_{ref} - V_i)$  para producir los cambios mencionados (cuando  $V_i > V_{ref}$  ....  $V_i < v_{ref}$ ) en la salida Vo.

-Se puede graficar esta situación ubicando el valor  $V_{ref} - V_i$  en el eje de las abscisas (x) y el valor de salida Vo en el eje vertical (y).

-Otra gráfica es ubicar en el eje x la variable Vi y en la ordenada el valor de Vo. Vref adoptará un valor fijo sobre el eje x.

### Amplificador Operacional con Realimentación Positiva.



**Figura 2: AO con realimentación positiva. Circuito de ejemplo.**

En la figura 2 se observa la realimentación positiva del AO. El mismo concepto se aplica aquí con relación al circuito de la figura 1, pero con una modificación importante, la realimentación positiva “retrasa” el resultado en  $V_o$  frente a la entrada ( $V_{ref}-V_{in}$ ).

Para explicar el concepto se considera que:

$V_{ref}$ : es una tensión que permanece constante una vez que se fija el valor.  $V_o$ : es la tensión de salida del AO que toma los valores  $V_{oH}=V_{cc}$  y  $V_{oL}=0V$

$V_{in}$ : es una tensión de entrada que varía y puede ser menor, igual o mayor que  $V_{ref}$ .

El rango de variación de  $V_{in}$  es entre  $V_{inH}-V_{inL}$ , donde:  $V_{inH}$ :

máximo valor que alcanza la tensión de entrada  $V_{in}$   $V_{inL}$ :

mínimo valor que toma  $V_{in}$

Se cumple que  $V_{ref}=(V_{inH}-V_{inL})/2$

#### **Explicación:**

Considerando que  $V_{in}$  comienza desde cero e incrementa su valor, entonces:

- 1-Cuando  $V_{in}<V_{ref}$  o  $V_{in}\leq V_{inL}$ ...la salida  $V_o=V_{cc}$  ( $V_{oH}$ =tensión de fuente)
- 2-Cuando  $V_{in}=V_{ref}$ ...la salida  $V_o=V_{cc}$ , sigue igual que el estado anterior.
- 3-Cuando  $V_{in}>V_{ref}$  y  $V_{in}<V_{inH}$ ...la salida  $V_o=V_{cc}$ , sigue igual que el estado anterior.
- 4-Cuando  $V_{in}\Rightarrow V_{inH}$ , la salida pasa a  $V_o=0V$  ( $V_{oL}$ =potencial cero de fuente)

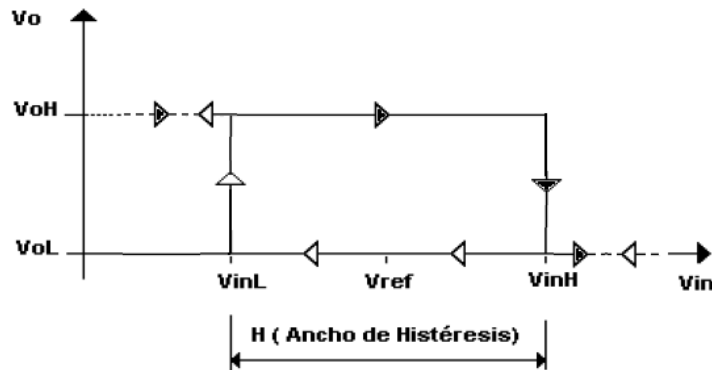
Considerando que  $V_{in}$  comienza desde un valor máximo y decrece, entonces:

- 5-Cuando  $V_{in}>V_{ref}$  o  $V_{in}\geq V_{inH}$ ...la salida  $V_o=0V$  ( $V_{oL}$ =potencial cero de fuente)
- 6-Cuando  $V_{in}=V_{ref}$ ...la salida  $V_o=0V$ , sigue igual que el estado anterior.
- 7-Cuando  $V_{in}<V_{ref}$  y  $V_{in}>V_{inL}$ ...la salida  $V_o=0V$ , sigue igual que el estado anterior.
- 8-Cuando  $V_{in}\leq V_{inL}$ , la salida pasa a  $V_o=V_{cc}$  ( $V_{oH}$ =tensión de fuente).

#### **Conclusión:**

Se observa un ciclo (considerando a  $V_{in}$ ) donde la salida  $V_o$  toma 2 valores diferentes para un mismo valor de  $V_{in}$ , todo dependerá del estado anterior de  $V_o$  y el recorrido de  $V_{in}$  (creciente o decreciente). Este ciclo se denomina “Ciclo de Histéresis” y solo se cumple cuando el AO tiene realimentación positiva.

El **gráfico 1** muestra el ciclo resultado correspondiente al circuito de la figura 2.



**Gráfico 1: Ciclo de histéresis AO con realimentación positiva del circuito figura 2.**

### **Ancho de Histéresis (H). Determinación**

El ancho de histéresis denominado  $H = V_{inH} - V_{inL}$  cumple con las relaciones:

$$V_{inH} = V_{ref} + \frac{V_{inH} - V_{inL}}{2} \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{(V_{oH} - V_{inH})}{V_{inH} - V_{ref}}$$

Donde:

$V_{ref}$ : Tensión de referencia fija que cumple la condición  $V_{ref} = (V_{inH} - V_{inL}) / 2$   $V_{inH}$ : máximo valor que alcanza la tensión de entrada  $V_{in}$

$V_{inL}$ : mínimo valor que alcanza la tensión de entrada  $V_{in}$

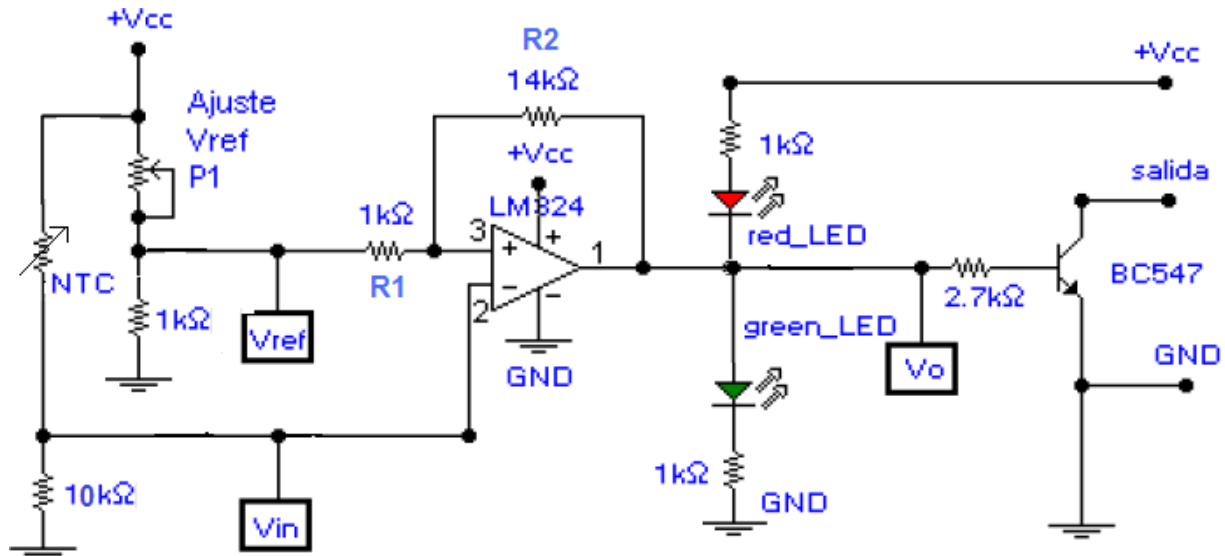
$R_1$ : resistencia de la entrada no inversora del AO (ver figura2)  $R_2$ :

resistencia de realimentación positiva del AO (ver figura2)

Dadas estas condiciones, entonces:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{(V_{oH} - V_{inH})}{(V_{inH} - V_{ref})} \quad \text{conocida la relación entre } R_2 \text{ y } R_1, \text{ fijando el valor de } R_1 \text{ se calcula } R_2 \text{ que define el ancho de histéresis } H.$$

El circuito de la Figura 3 representa un AO en modo comparador con realimentación positiva, y por lo tanto, con un ciclo de histéresis de ancho H definido por la relación de las resistencias  $R_1$  y  $R_2$ .  $V_{in}$  está dominada por el divisor de tensión que conforma la resistencia de 2,7 Kohm y el sensor de temperatura conformado por una resistencia NTC.



**Figura 3: AO con Realimentación Positiva. la Vin está dominada por resistencia NTC**  
 Corresponde al circuito de ensayo práctico.

**Resistencia NTC:** es una resistencia cuyo coeficiente de resistividad es negativo y depende de la variable temperatura, esto significa que el valor de la resistencia NTC cambia de valor en forma inversa. Si aumenta la temperatura ambiente, el valor en ohms de la resistencia NTC disminuye y viceversa; si disminuye la temperatura aumentará el valor de la resistencia NTC. Este efecto se aprovecha para modificar el valor de Vin.

**Importante.** Como la resistencia “NTC” tiene coeficiente negativo y en el divisor de tensión se ubica hacia la tensión de fuente (+Vcc), esto significa que si aumenta la temperatura disminuye el valor de la resistencia NTC y Vin aumenta.

Ecuación del divisor de tensión,  $V_{in} = (V_{cc} * 10000) / (R_{NTC} + 10000)$ .

(Vin se expresa en volt. Las resistencias están en ohms y Vcc en volt).

### **Conclusión:**

Se establece que si aumenta la temperatura aumentará la tensión de entrada Vin. Este efecto se utiliza para comparar Vin con un valor de tensión que será representativo de una temperatura de referencia. Vref se fija de modo tal que su valor en volt sea representativo de una temperatura de comparación.

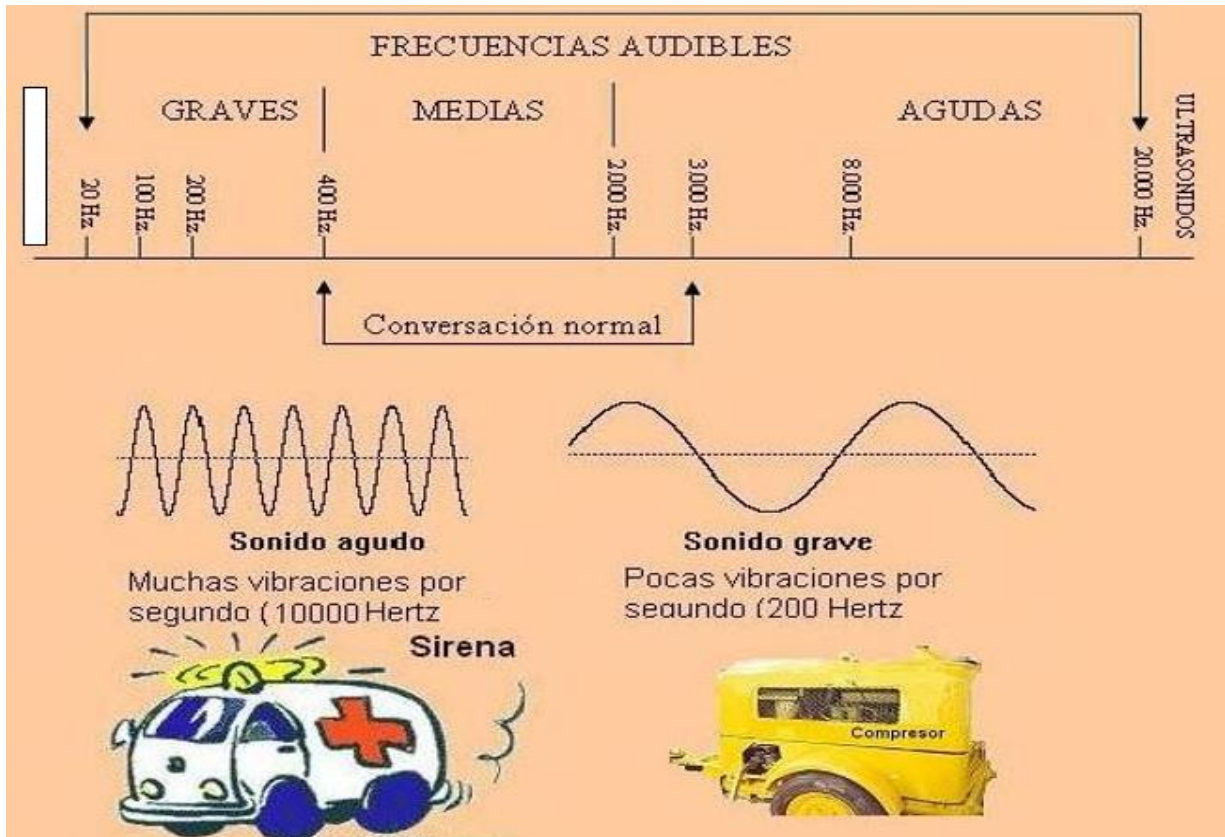
### **Nota Importante.**

En caso de utilizar una resistencia “PTC”, el coeficiente es positivo, por lo que deberá ubicarse hacia la masa del circuito en el divisor de tensión. Al realizar esta modificación los resultados no se modifican, esto significa que si aumenta la temperatura aumenta el valor de la resistencia PTC y por lo tanto, Vin aumenta.

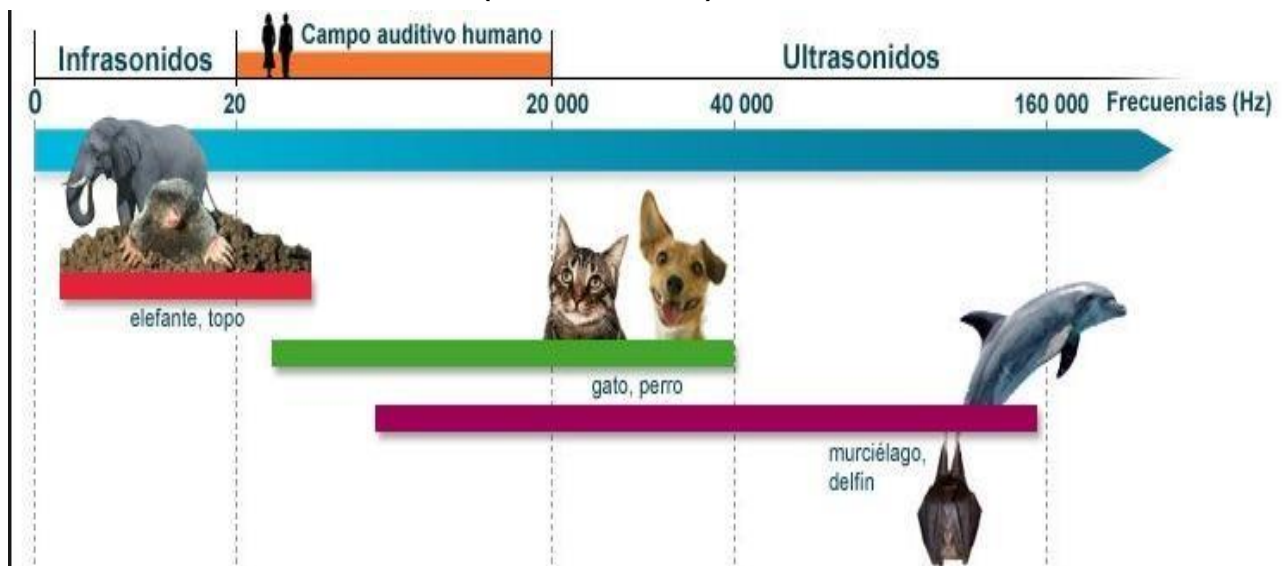
Ecuación del divisor de tensión,  $V_{in} = (V_{cc} * R_{PTC}) / (R_{PTC} + 10000)$ .

(Vin se expresa en volt. Las resistencias están en ohms y Vcc en volt).

### **FILTROS PASIVOS. Pasa-Banda. Pasa-Alto y Pasa-Bajo** **ESPECTRO DE FRECUENCIAS (OIDO HUMANO)**



### **ESPECTRO DE FRECUENCIAS (REINO ANIMAL)**



## FILTROS PASIVOS. PASA-BAJO y PASA-ALTO

### Consideraciones generales:

Los filtros electrónicos pasivos permiten el paso de un rango de frecuencias (banda de frecuencias). Tipos de filtro:

- filtros pasa-bajo
- filtros pasa-alto
- Filtros pasa-banda

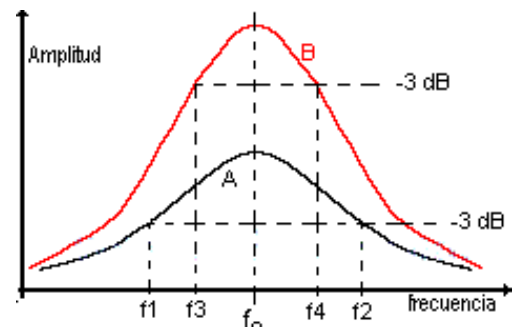
- En los filtros **pasa-bajo** y **pasa-alto**, una de sus principales características es su frecuencia de corte, que limita el rango de las frecuencias que pasan o no pasan por el filtro.
- En el filtro **pasa-bajo**, pasan las frecuencias que están por debajo de la frecuencia de corte ( $F_c$ ) y en el filtro pasa-alto pasan las frecuencias que están por encima de la frecuencia de corte ( $F_c$ )
- En los filtros **pasa-banda**, las principales características se refieren a la frecuencia central, el ancho de banda y el factor de calidad

La curva A de la figura 4 muestra en color negro:

- una frecuencia central  $f_0$  (frecuencia de resonancia)
- el ancho de banda o rango de  $f_1$  a  $f_2$ .

La curva B de la figura 4 (en color rojo):

- muestra una frecuencia central  $f_0$  (frecuencia de resonancia)
- ancho de banda o rango de  $f_3$  a  $f_4$ .



**Figura 4. Filtros pasivos**

Las curvas A y B de la figura 4 corresponden a dos filtros con la misma frecuencia central.

Las frecuencias utilizadas para determinar el ancho de banda ( $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$ ) se llaman frecuencias de corte y se obtienen cuando la amplitud de la onda cae en 3 decibeles de su máxima amplitud.

### Factor de calidad de un filtro eléctrico

La curva B muestra un filtro de mayor selectividad, pues las frecuencias de corte están más cerca de la frecuencia central  $f_0$  (ver la amplitud de la salida del filtro). En este caso el ancho de banda del filtro es menor.

La curva A de la figura 4 muestra un filtro de menor selectividad, pues sus frecuencias están más alejadas de la frecuencia central, pero su ancho de banda es mayor.

Para encontrar el factor de calidad de un filtro se utiliza la fórmula:  $Q = f_0 / f_{AB}$  Donde:

$f_0$  = frecuencia de resonancia

$f_{AB}$  = ancho de banda ( $f_2 - f_1$ ) o ( $f_4 - f_3$ ).

En este caso el factor de calidad  $Q$  del filtro B es mayor.



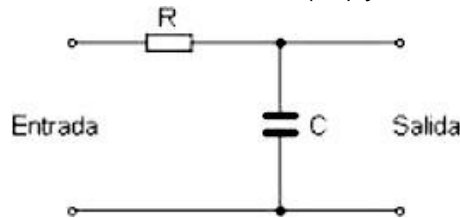
## Filtro Pasa-Bajo

Un filtro RC pasa-bajo es un circuito formado por una resistencia y un capacitor conectados en serie como se ve en la figura 5.

El filtro pasa-bajo permite sólo el paso de frecuencias por debajo de una frecuencia en particular llamada frecuencia de corte ( $F_c$ ) y atenúa las frecuencias por encima de esta frecuencia.

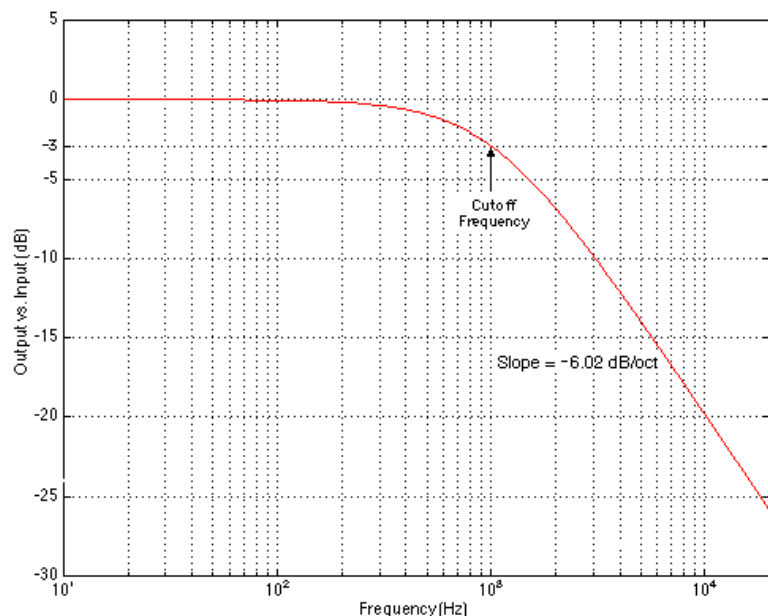
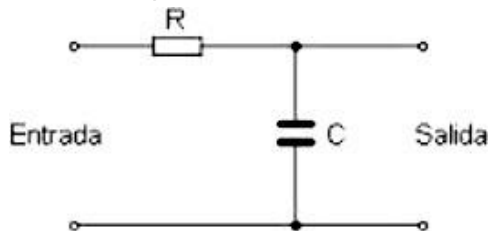
Estos filtros RC no son perfectos por lo que se hacen dos análisis. Un análisis en el caso ideal y otro en el caso real. La unidad de frecuencia es el Hertz o ciclo por segundo.

El **filtro pasa-bajo** es un circuito formado por una resistencia y un capacitor, que permite el paso de las frecuencias por debajo de la frecuencia de corte ( $F_c$ ) y elimina las que sean superiores a ésta.



**Figura 5. Filtro pasa-bajo pasivo**

En el **Filtro Pasa-Bajo real** La reactancia capacitiva cambia con la frecuencia. Para altas frecuencias  $X_C$  es baja logrando que las señales de estas frecuencias sean atenuadas. En cambio a bajas frecuencias (por debajo de la frecuencia de corte) la reactancia capacitiva es grande, lo que causa que estas frecuencias no se vean afectadas o lo sean muy poco por el filtro



**Figura 6. Gráfica real respuesta Filtro Pasa-Bajo pasivo**

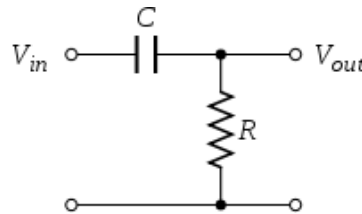


La frecuencia de corte es aquella donde la amplitud de la señal entrante cae hasta un 70.7% de su valor máximo. Esto ocurre cuando  $X_C = R$  (reactancia capacitiva=resistencia) Si  $X_C = R$ , la frecuencia de corte será:  $f_c = 1 / (2 \times \pi \times RC)$ .

### Filtro Pasa-Alto

Un filtro pasa-alto RC es un circuito formado por una resistencia y un condensador conectados en serie, como se ve en la figura 7. Los filtros Pasa-alto permiten solamente el paso de las frecuencias por encima de una frecuencia en particular llamada frecuencia de corte ( $f_c$ ) y atenúa las frecuencias por debajo de esta frecuencia.

El filtro pasa-alto ideal es un circuito que permite el paso de las frecuencias por encima de la frecuencia de corte ( $f_c$ ) y atenúa las que sean inferiores a ésta. En la figura 7 las frecuencias que pasan son las que están al lado derecho de la línea vertical roja, que representa la frecuencia de corte.



**Figura 7. Filtro pasa-alto pasivo**

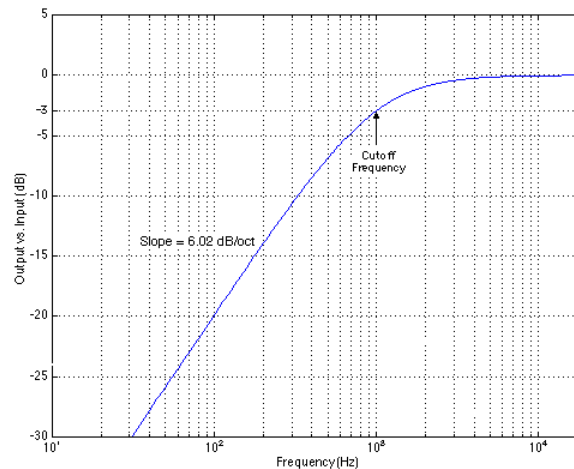
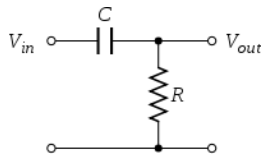
Si se estudia este circuito ideal para frecuencias muy bajas, señal continua por ejemplo, se tiene que el condensador se comporta como un circuito abierto, por lo que no dejará pasar la corriente a la resistencia, y su diferencia de tensión será cero. Para una frecuencia muy alta, idealmente infinita, el condensador se comportará como un circuito cerrado, es decir, como si no estuviera, 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.

Si se realiza un análisis similar al filtro pasa-bajo real, el producto de la resistencia por el 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 3dB respecto a la zona pasante:

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

Donde  $f_c$  es la frecuencia de corte en hercios,  
 R es la resistencia en ohmios y  
 C es la capacidad en faradios

**FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**  
**ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA**  
**CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA**  
**CARPETA TRABAJOS PRACTICOS**  
**2022-TP N°09**  
**Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).**  
**Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda**



**Figura 8. Gráfica real respuesta filtro pasa-alto real**

**En conclusión** con respecto a los Filtros Pasa Bajo y Pasa Alto pasivos RC

Los filtros se denominan de acuerdo con el rango de frecuencia de las señales que permiten pasar a través de ellos, mientras bloquean o "atenúan" el resto.

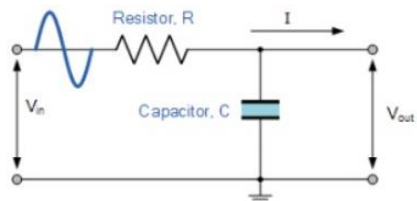
Los diseños de filtro más utilizados son:

**Filtro Pasa Bajo:** El filtro de paso bajo solo permite señales de baja frecuencia de 0Hz a su frecuencia de corte,  $f_c$  punto a pasar mientras bloquea aquellas más altas.

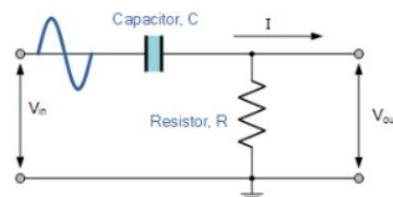
**Filtro Pasa Alto:** El filtro de paso alto solo permite que pasen las señales de alta frecuencia de su frecuencia de corte, punto  $f_c$  y más alto al infinito mientras bloquea esas más bajas.

**Filtro Pasa Banda:** el filtro pasa banda o "de paso de banda" permite que las señales que caen dentro de una determinada configuración de banda de frecuencia entre dos puntos pasen mientras bloquea las frecuencias más bajas y más altas a ambos lados de esta banda de frecuencia.

**Circuito de filtro RC Pasa Bajo**



**Circuito de filtro RC Pasa Alto**



Ecuaciones a tener en cuenta para los dos filtros

Frecuencia de Corte

Reactancia capacitiva

Tensión de Salida del Filtro

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

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

## TRABAJO PRÁCTICO A DESARROLLAR

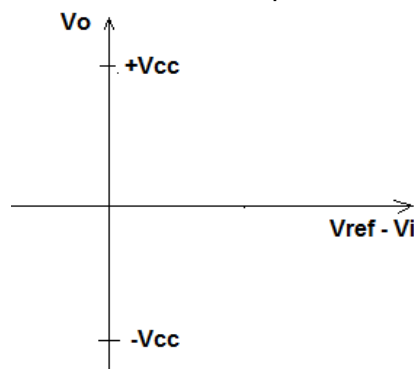
### ➤ Punto A. Aplicación del AO como comparador sin realimentación

#### Punto A1 y A2

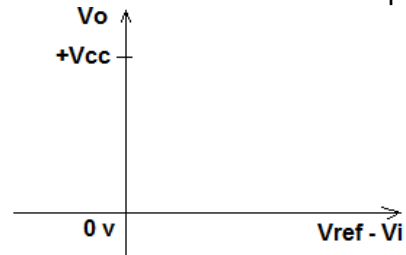
En base a la figura 1, describa el comportamiento de  $V_o$  en función de la entrada ( $V_{ref}-V_i$ )

**A1-** Realice el gráfico considerando que el AO se alimenta con fuente partida, es decir  $\pm V_{cc}$ .

**A2-** Realice el gráfico considerando que el AO se alimenta con una fuente lineal simple:  $+V_{cc}$ .



Punto A1



Punto A2

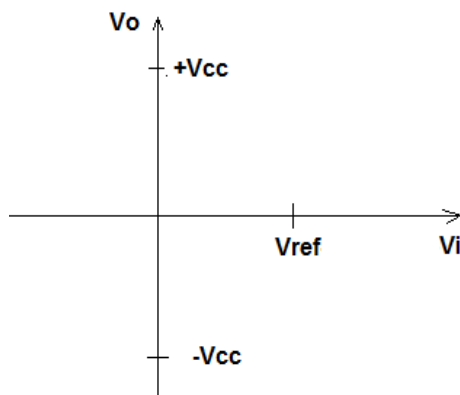
### ➤ Punto B. Aplicación del AO como comparador sin realimentación

#### Punto B1 y B2

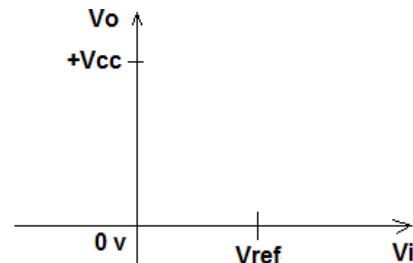
Para el mismo caso anterior, considere el comportamiento de  $V_o$  en función de  $V_i$ .  $V_{ref}$  adopta un valor fijo de comparación.

**B1-** Realice el gráfico considerando que el AO se alimenta con fuente partida, es decir  $\pm V_{cc}$ .

**B2-** Realice el gráfico considerando que el AO se alimenta con una fuente lineal simple,  $+V_{cc}$ .



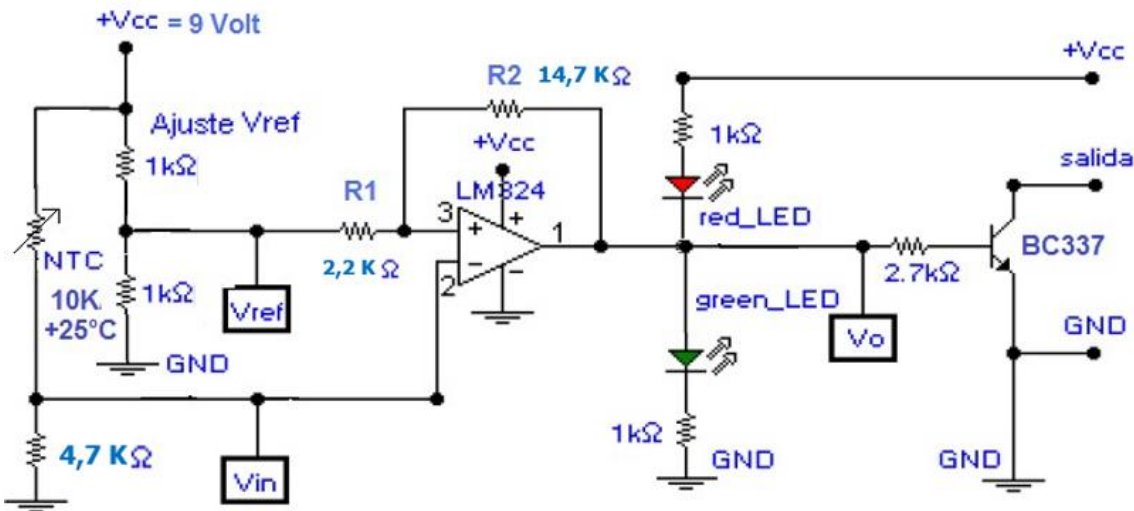
Punto B1



Punto B2

- **Punto C. Aplicación del AO con histéresis (incluye puntos C1, C2, C3, C4, C5).**  
**Nota. El Punto C5 es la Aplicación práctica a desarrollar.**

Para el trabajo práctico se considera como fuente de alimentación una batería de 9 Vdc  
 El circuito de aplicación es el de la figura 9. **C1- Circuito de Aplicación (figura 9)**



**Figura 9: Amplificador Operacional con realimentación positiva.**  
**Aplicación: Control de temperatura.**

Vref: es la tensión de referencia. Su valor está fijado por un divisor de tensión compuesto por 2 resistencias de 1Kohms (Vref=4,5 volt para todo el desarrollo de la aplicación).

### C2- Cálculo del Ancho de Histéresis (H)

Para que el circuito de la Figura 10 opere dentro de un ciclo de histéresis con tensión de referencia igual a la mitad de la fuente será necesario calcular los valores de R1 y R2. Considerando las ecuaciones vistas y los datos del circuito de la figura 4

$$V_{inH} = V_{ref} + \frac{V_{inH} - V_{inL}}{2} \quad \frac{R2}{R1} = \frac{(V_{oH} - V_{inH})}{V_{inH} - V_{ref}}$$

Vcc = 9 volt (batería). Vref = 4,5 volt (resultado del divisor de tensión fijo).

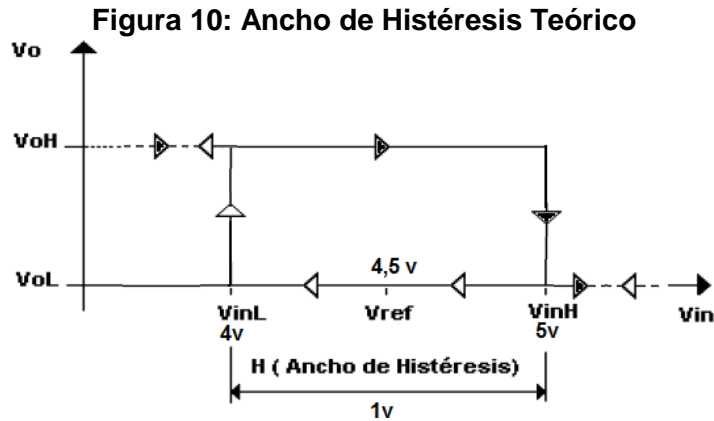
Ancho de histéresis: Se adopta un valor de 1 volt para "H", donde:

$$H = V_{inH} - V_{inL}$$

$$V_{inL} = 4 \text{ Volt } (V_{ref} - 0,5)$$

$$V_{inH} = 5 \text{ volt}$$

$$V_{oH} = 9 \text{ v}$$



### C3- Cálculo resistencias R1 y R2 para el Ancho de Histéresis (H) definido

$R2/R1 = (9-5)/(5-4,5) = 8$  . Por lo tanto  $R2 = R1 \cdot 8$

La relación  $R2/R1$  es la que permite regular el ancho de histéresis teórico.

❖ Ejemplo: Si  $R2 = 15 \text{ Kohms}$ , entonces  $R1 = R2/8 = 1875 \text{ ohms}$ .

### Observación

Los valores de  $R1$  y  $R2$  calculados **no son valores comerciales**, por lo que será necesario cambiar un poco los mismos.

➤ Para  $R2 = 15 \text{ K ohms}$

Este valor se obtiene con la suma de 2 resistencias en serie de 10000 ohms y 4700 ohms. El valor equivalente de  $R2 = 14700 \text{ ohms}$ .

➤ Para  $R1 = 1875 \text{ ohms}$

El valor comercial que se encuentra es 1800 o el próximo mayor 2200.

**Conclusión.** Si se toman los nuevos valores de  $R2 = 14700$  y  $R1 = 2200$  ohms

➤ Recalculando con la nueva relación  $R2/R1 = 6,68$

$V_{inH}$  se obtiene despejando de la ecuación:

$$\frac{R2}{R1} = \frac{(V_{oH} - V_{inH})}{V_{inH} - V_{ref}}$$

Reordenando la ecuación:

$$V_{inH} = (V_{oH} R1 + V_{ref} R2) / (R2 + R1)$$

Donde:

$V_{oH} = 9 \text{ V}$ ,  $R1 = 2200$

$R2 = 14700 (10K + 4700K)$

$V_{ref} = 4,5 \text{ V}$  (es cte, no se modifica)

Entonces

➤  $V_{inH} = 5,08 \text{ V}$

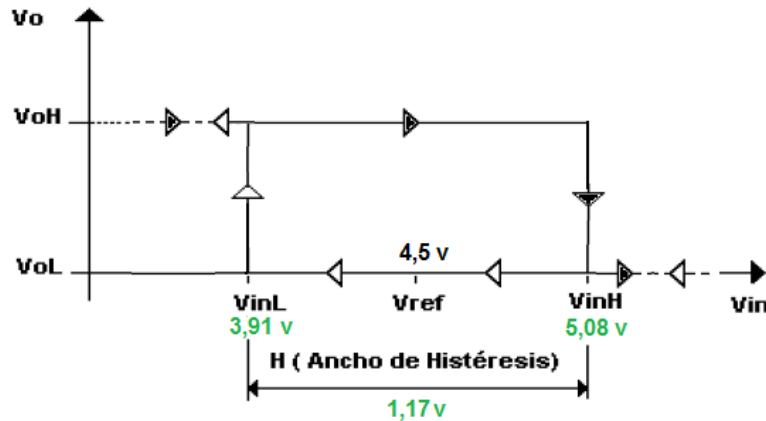
De la expresión:

$$V_{inH} = V_{ref} + \frac{V_{inH} - V_{inL}}{2}$$

➤ Se obtiene despejando  $V_{inL} = 4,5 - 0,58 = 3,91 \text{ v}$

Los Nuevos valores obtenidos determinan el Ancho de Histéresis Real de la Figura 11.

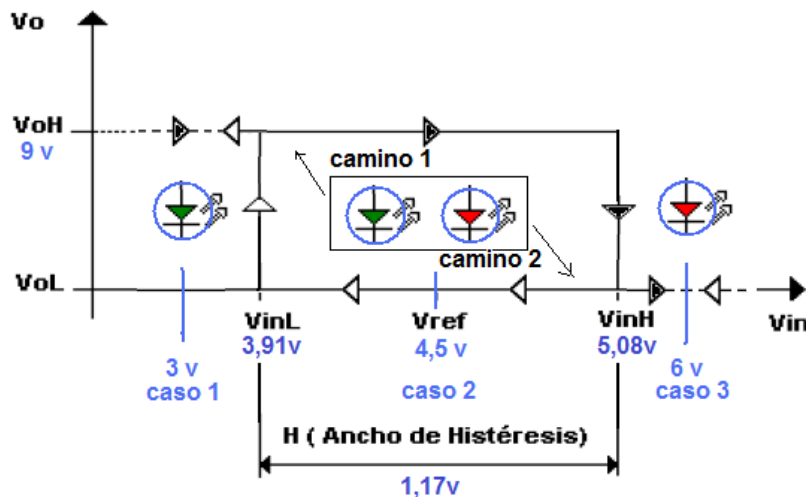
**NOTA.** El punto C3 desarrollado se aplica cuando se debe construir un circuito real que responda a los valores de diseño. En una simulación electrónica No es necesario hacer este punto C3.



**Figura 11: Ancho de Histéresis Real**

#### C4- Gráfico Ciclo de Histéresis

Considerando los valores que adopta  $V_{in}$  se obtiene el ciclo de Histéresis para un ancho de 1,17 volt (ver figura 12) obtenido al utilizar resistencias de valor comercial.



**Figura 12: Ciclo de Histéresis del AO con Realimentación Positiva.**

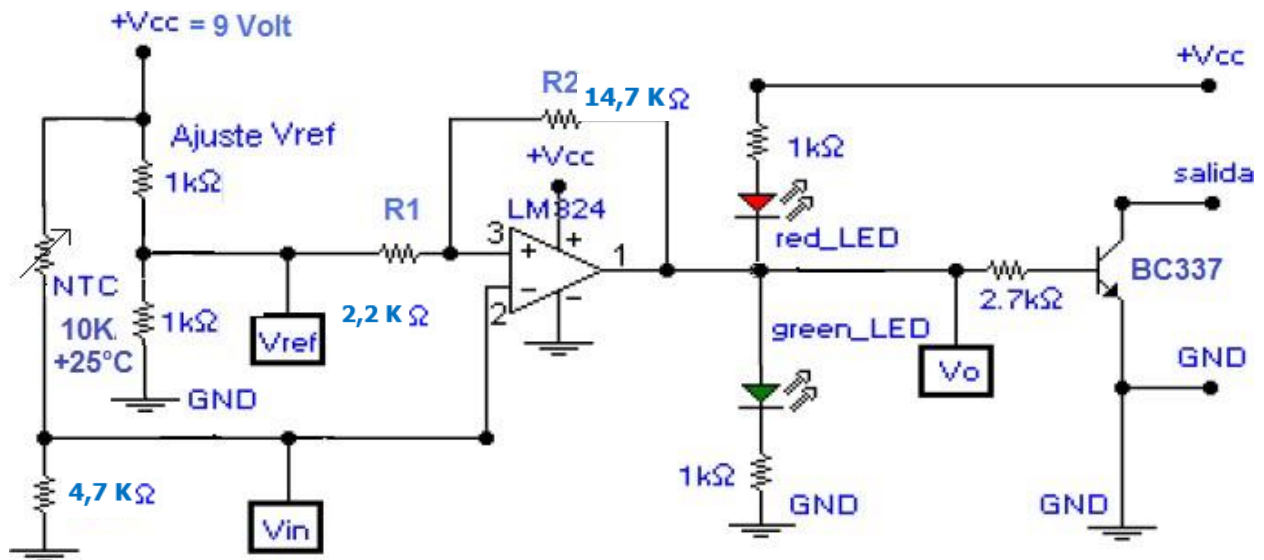
Camino1:  $V_{in}$  comienza desde cero y crece pasando por los puntos críticos de  $V_{inL}$  y  $V_{inH}$   
 Camino2:  $V_{in}$  comienza con valor elevado y decrece pasando por los puntos de  $V_{inH}$  y  $V_{inL}$

Resultado: Se observa que según el estado anterior, para un valor de  $V_{in}$ ,  $V_o$  adopta valores diferentes según el camino que se recorre.

### C5- Aplicación Práctica. Desarrollar.

Realice el circuito de aplicación figura 9 (Punto C1). Use el Simulador (Proteus)

- Considerando lo mencionado verifique el funcionamiento del circuito y describa si se corresponde con los resultados de las figuras 10, 11 y 12.
- Realice los cálculos y verificaciones explicadas en los puntos C1 a C4 (excepto C3)
- Establezca las conclusiones en función del Ancho de Histéresis: ¿Cómo es el comportamiento del circuito frente a un “H” amplio y frente a un “H” angosto?
- Enuncie 2 aplicaciones posibles derivadas del concepto de histéresis.

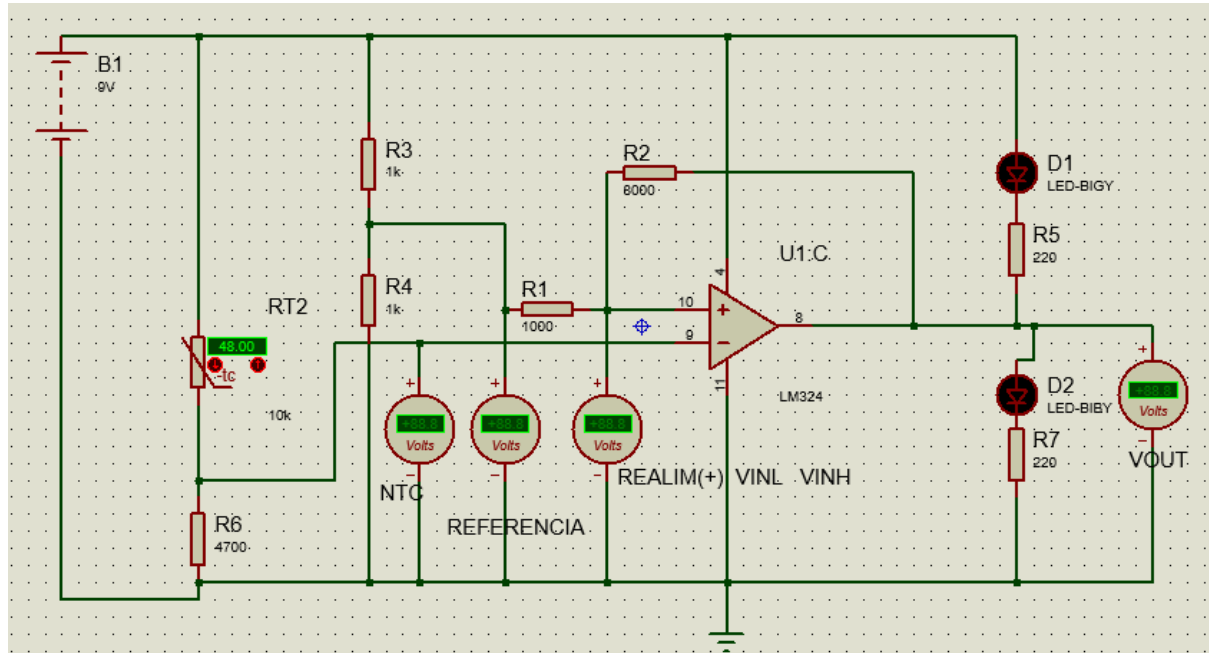


**Figura 9: Amplificador Operacional con realimentación positiva.**  
**Aplicación: Control de temperatura.**

Ejemplo del circuito de simulación en Proteus de la figura 9.



**FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**  
**ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA**  
**CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA**  
**CARPETA TRABAJOS PRACTICOS**  
**2022-TP N°09**  
**Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).**  
**Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda**



**Figura 13.** Circuito Amplificador Operacional con realimentación positiva en Simulador Proteus.

➤ **Punto D. Filtro pasivo Pasa-Bajo**

Para experimentar con los filtros pasa-bajo se utilizará un circuito RC pasivo.

**Filtro Pasa Bajo pasivo.**

Circuito Filtro Pasa-Bajo en Simulador Proteus. Instrumento virtual “Frecuency Graph” (Analizador de frecuencia).

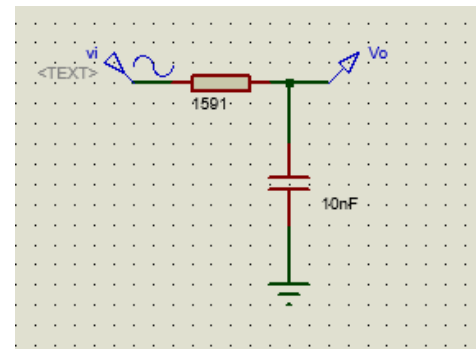
**Procedimiento. Explicación.**

Circuito Experimental (figura 14)

Señal de entrada (Vi): Utilizar un Generador de Señal de frecuencia (eje de absisa)

Señal de Salida (Vo): Utilizar una punta de prueba de Tensión (eje de ordenada)

Resultados. Con el instrumento virtual se grafica la curva de respuesta. Se determina la Frecuencia de Corte.



**Figura 14.** Circuito Pasa-Bajo

Ensayo para diferentes valores de R y C

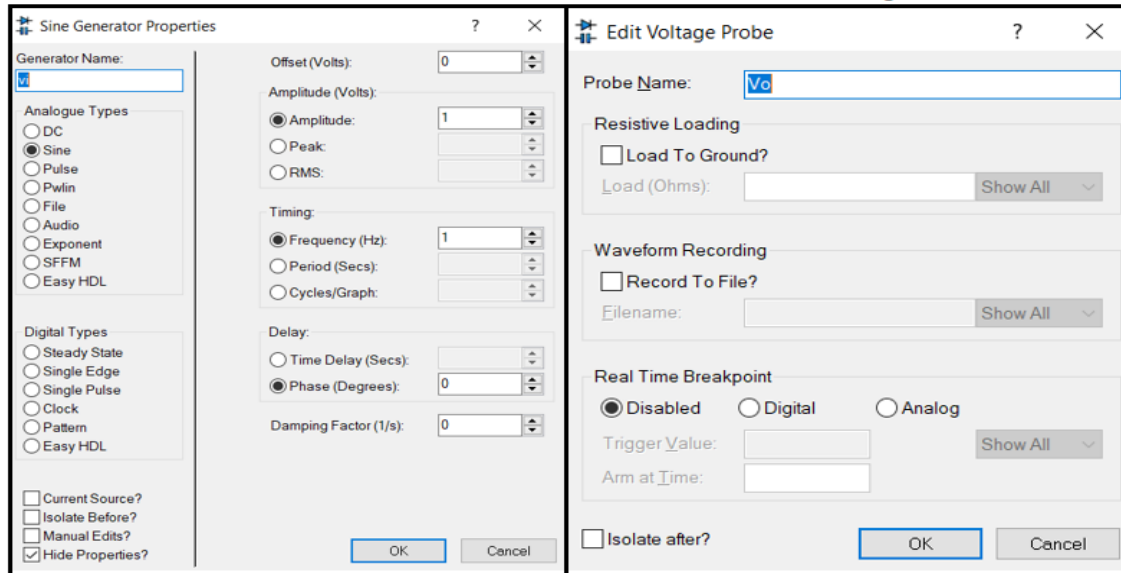
Resistencia	Capacitor	Frec. Corte en Hertz	Señal Entrada (Vi)	Salida (Vo)	Resultado	Conclusión
1591ohms	10 nF					

**FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**  
**ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA**  
**CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA**  
**CARPETA TRABAJOS PRACTICOS**  
**2022-TP N°09**  
**Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).**  
**Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda**

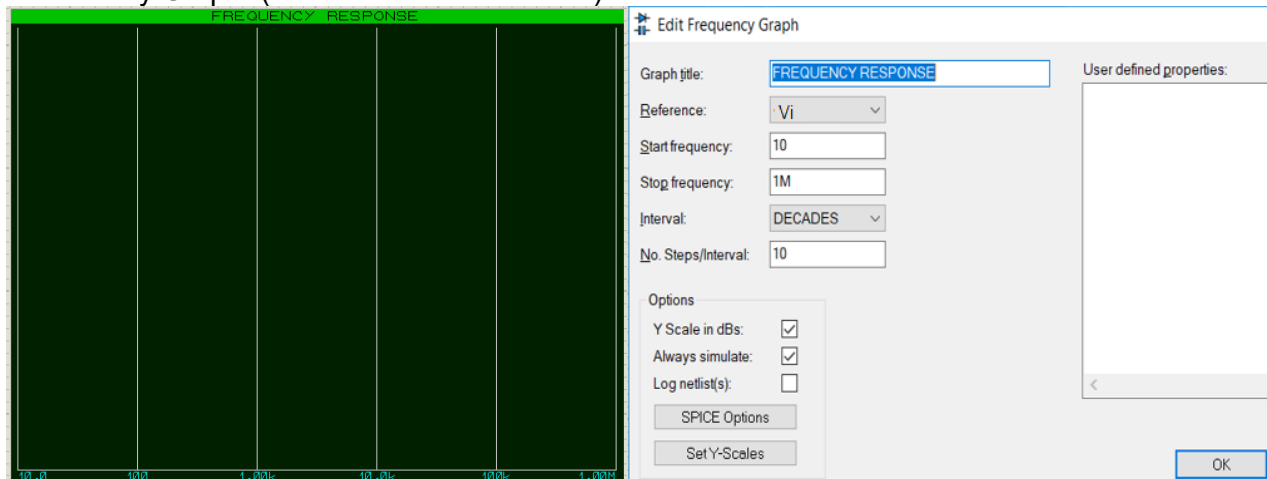
**Sobre la Simulación. Señal de Entrada y Salida.**

Señal de entrada : Configuración

Señal de salida : Configuración



“Frequency Graph” (Analizador de frecuencia)

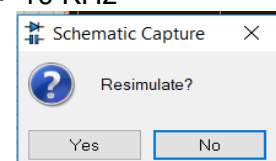


Ejemplo práctico: Filtro Pasa-Bajo con  $R = 1591 \text{ Ohms}$ ,  $C = 10 \text{ nf}$ .  $F_{\text{corte}} = 10 \text{ KHz}$

Referencia:  $V_i$  (señal de entrada)

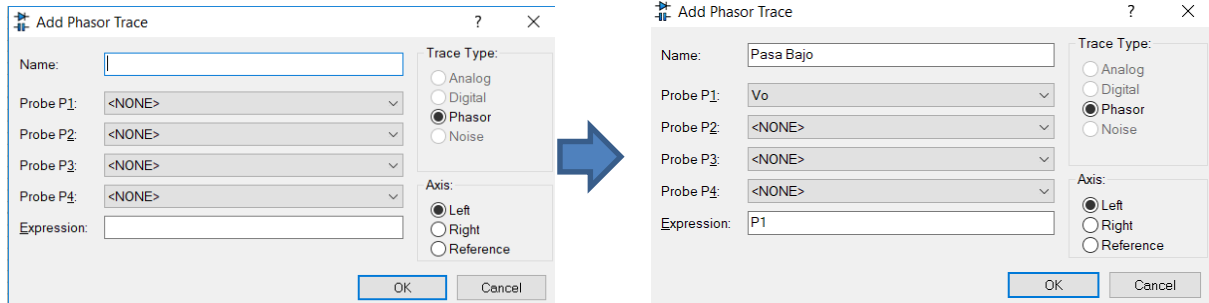
Al ingresar la señal de entrada, el simulador permite realizar el ensayo.

Para Visualizar la gráfica resultante se debe configurar la curva de

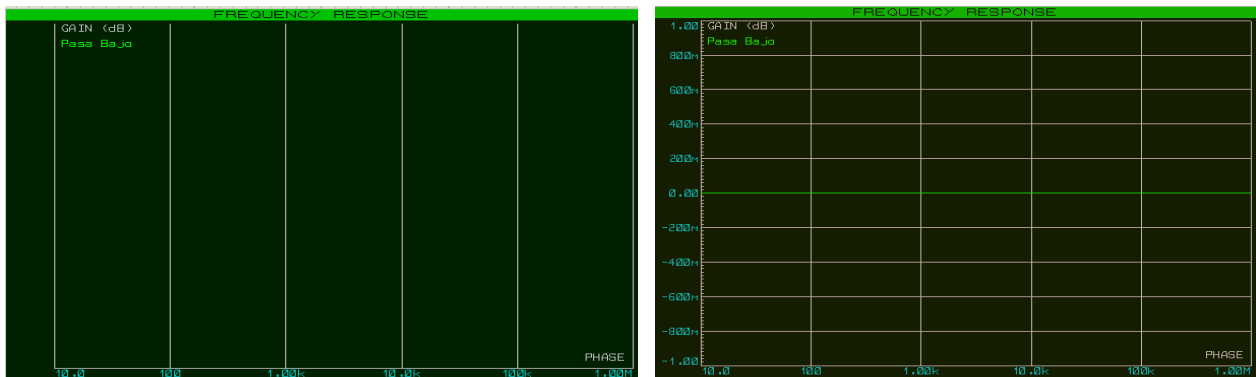


**FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**  
**ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA**  
**CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA**  
**CARPETA TRABAJOS PRACTICOS**  
**2022-TP N°09**  
**Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).**  
**Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda**

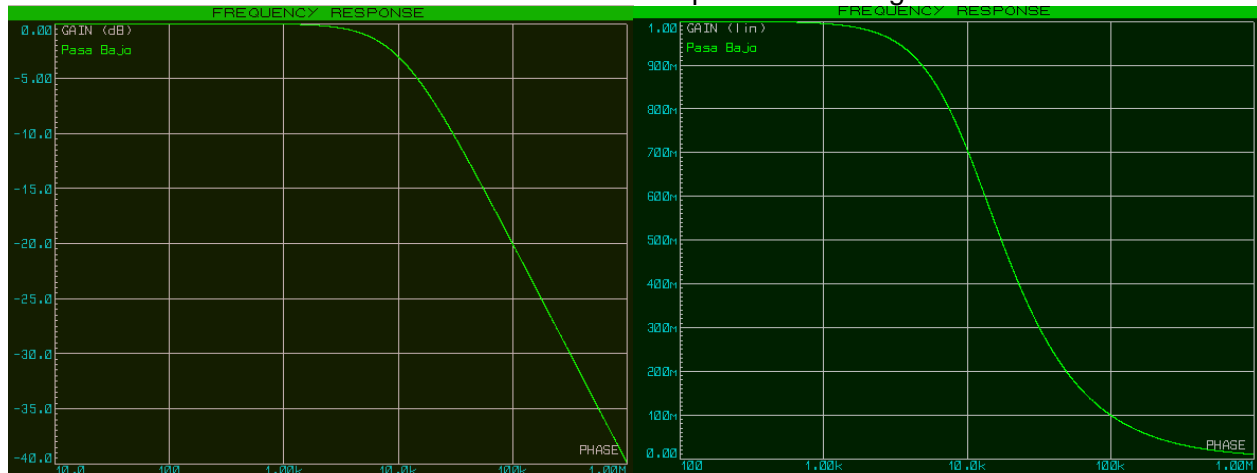
respuesta (Add Trace). Gráfica de Salida



Se muestra el resultado de la configuración de la curva (trazo)



Para visualizar el resultado se usa el “Simulate Graph”. Resultados gráficos



➤ **Práctica (punto D) Filtro Pasa-Bajo pasivo**

1. Ensayar el circuito de la figura 14 con el Simulador Proteus.
2. Completar el cuadro para los diferentes valores de R y C. Ensayar con los valores de tabla.
3. Realizar las 3 Gráficas y anotar los Resultados. Establecer conclusiones.

**FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**  
**ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA**  
**CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA**  
**CARPETA TRABAJOS PRACTICOS**  
**2022-TP N°09**  
**Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).**  
**Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda**

Resistencia	Capacitor	Frec. Corte	Señal Entrada (Vi)	Salida (Vo)	Resultado	Conclusión
1591ohms	10 nF	10 KHz				
1000 ohms	10 nf					
15,91 ohms	10 nf					

➤ **Punto E. Filtro pasivo Pasa-Alto**

Experimentar con el Filtro Pasa-Alto circuito RC pasivo.

**Filtro Pasa Alto pasivo.**

Circuito Filtro Pasa-Alto en Simulador Proteus. Instrumento virtual “Frequency Graph” (Analizador de frecuencia).

**Procedimiento. Explicación.**

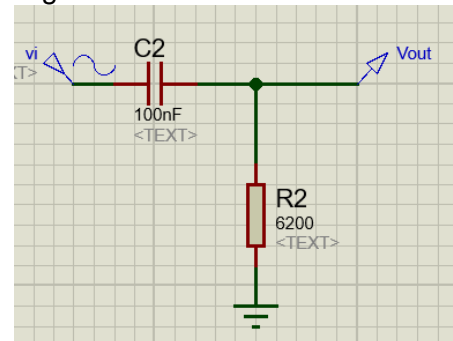
Circuito Experimental (figura 15)

Señal de entrada (Vi): Utilizar un Generador de Señal de frecuencia (eje de absisa)

Señal de Salida (Vout): Utilizar una punta de prueba de Tensión (eje de ordenada)

Resultados. Con el instrumento virtual se grafica la curva de respuesta. Se determinar la Frecuencia de Corte.

Figura 15. Filtro Pasa-Alto

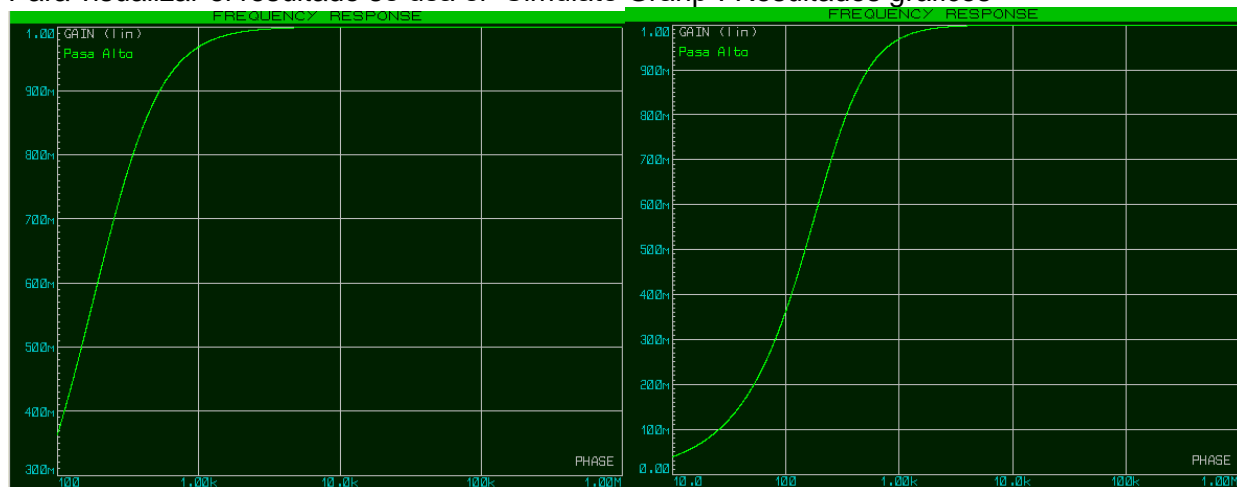


Ensayo para diferentes valores de R y C.

Resistencia	Capacitor	Frec. Corte en Hertz	Señal Entrada (Vi)	Salida (Vo)	Resultado	Conclusión
1591ohms	10 nF					

**Sobre la Simulación.** Seguir los mismos pasos descriptos para el Filtro Pasa-Bajo.

Para visualizar el resultado se usa el “Simulate Graph”. Resultados gráficos



**FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**  
**ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA**  
**CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA**  
**CARPETA TRABAJOS PRACTICOS**  
**2022-TP N°09**  
**Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).**  
**Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda**

➤ **Práctica (punto E) Filtro Pasa-Alto pasivo**

1. Ensayar el circuito de la figura 15 con el Simulador Proteus.
2. Completar el cuadro para los diferentes valores de R y C. Ensayar con los valores de tabla.
3. Realizar las 3 Gráficas y anotar los Resultados. Establecer conclusiones.

Resistencia	Capacitor	Frec. Corte	Señal Entrada (Vi)	Salida (Vo)	Resultado	Conclusión
1591ohms	10 nF	10 KHz				
1000 ohms	10 nF					
15,91 ohms	10 nF					

➤ **Punto F. Filtro pasivo Pasa-Banda**

Para experimentar con los filtros Pasa-Banda se utilizará un circuito RC pasivo.

**Filtro Pasa Banda**

Para realizar la experiencia se necesita un circuito Pasa Banda.

Se construye realizando un circuito Filtro Pasa Alto en serie con el Filtro Pasa Bajo (la salida del Filtro Pasa Alto es la señal de entrada del Filtro Pasa Bajo.)

Figura 16. Filtro Pasa Banda pasivo.

**Procedimiento. Explicación.**

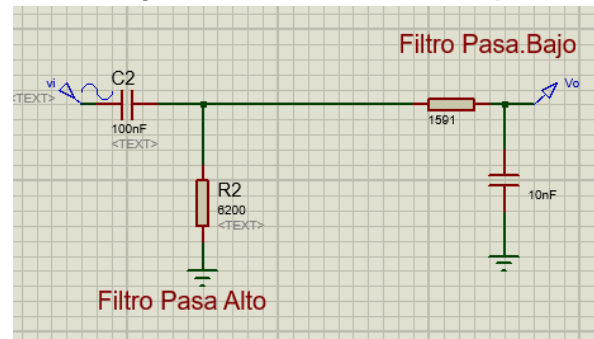
Circuito Experimental (figura 16)

Señal de entrada (Vi): Utilizar un Generador de Señal de frecuencia (eje de absisa)

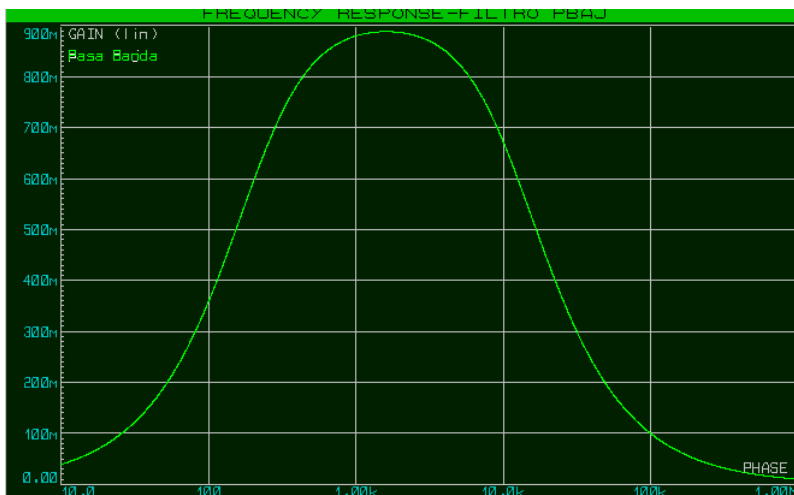
Señal de Salida (Vo): Utilizar una punta de prueba de Tensión (eje de ordenada)

Resultados. Con el instrumento virtual se grafica la curva de respuesta.

Se determinan las dos Frecuencias de Corte



**Resultados de la Simulación**



➤ **Práctica (Punto F). Filtro Pasa Banda Pasivo**

1. Ensayar el circuito de la figura 16 con el Simulador Proteus.
2. Completar los casos que se enumeran.
3. Realizar las gráficas y anotar los Resultados. Establecer conclusiones.

**EJERCITACIÓN**

Ensayar y Completar para diferentes valores de Resistencias y Condensadores.

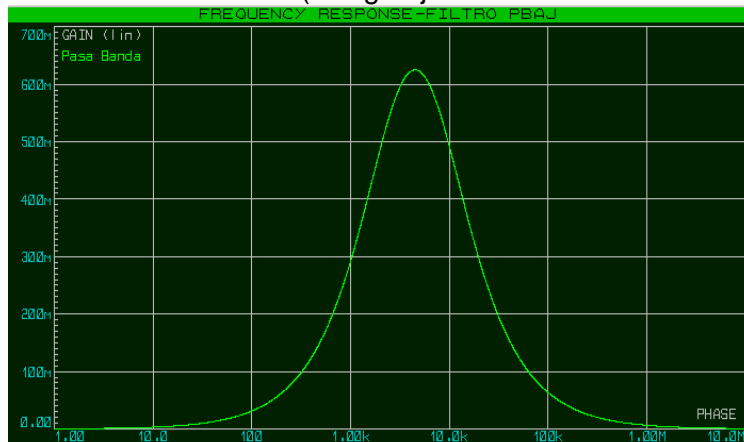
**Caso 0. Filtro Pasa Banda. Datos.**

$F_c(\text{pasa-alto}) = 3182 \text{ Hz}$        $F_c(\text{pasa-bajo}) = \text{¿? Hz}$

Filtro pasa-alto  $R = \text{¿? ohms}$   $C = 100 \text{ nf}$

Filtro pasa-bajo  $R = 2500 \text{ ohms}$   $C = 10 \text{ nf}$

Grafica 0. Resultante (Rango eje de absisa 10 Hz a 1Mhz)



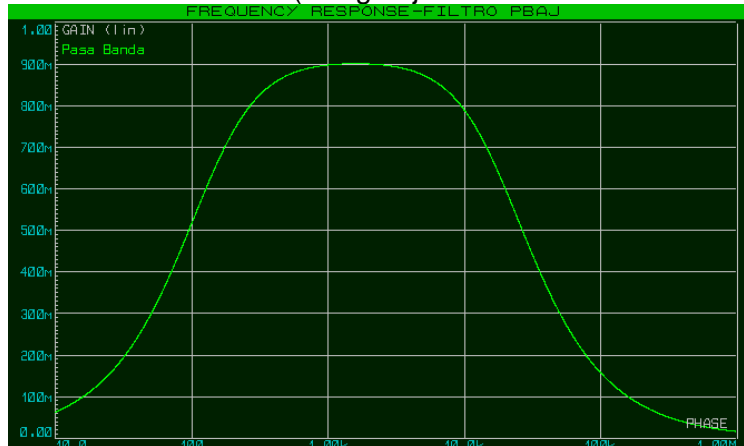
**Caso1. Filtro Pasa Banda. Datos**

$F_c(\text{pasa-alto}) = \text{¿? Hz}$        $F_c(\text{pasa-bajo}) = 59,1 \text{ KHz}$

Filtro pasa-alto  $R = 10000 \text{ ohms}$   $C = 100 \text{ nf}$

Filtro pasa-bajo  $R = 1000 \text{ ohms}$   $C = \text{¿? nf}$

Grafica1. Resultante (Rango eje de absisa 10 Hz a 1 Mhz)



**FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**  
**ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA**  
**CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA**  
**CARPETA TRABAJOS PRACTICOS**  
**2022-TP N°09**  
**Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).**  
**Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda**

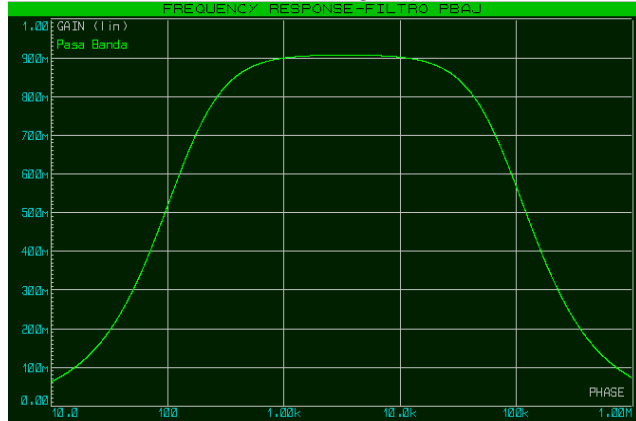
**Caso2. Filtro Pasa Banda. Datos**

Fc(pasa-alto)= ¿? Hz      Fc(pasa-bajo)= 72318,18 Hz

Filtro pasa-alto R= 10000 ohms C= 100 nf

Filtro pasa-bajo R= ¿? ohms C= 10 nf

Grafica2. Resultante (Rango eje de absisa 10 Hz a 1 Mhz)



**Caso3. Filtro Pasa Banda. Datos**

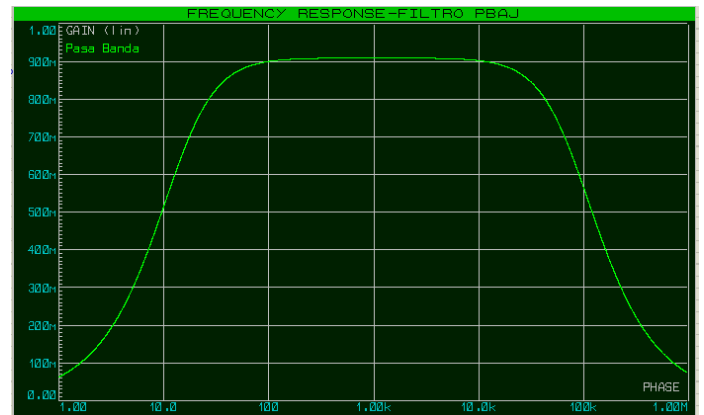
Fc(pasa-alto)= ¿? Hz      Fc(pasa-bajo)= 72318,18 Hz

Filtro pasa-alto R= 100000 ohms C= 100 nf

Filtro pasa-bajo R= 220 ohms C= ¿? nf

Grafica3. Resultante

(Rango eje de absisa 1 Hz a 1 Mz)



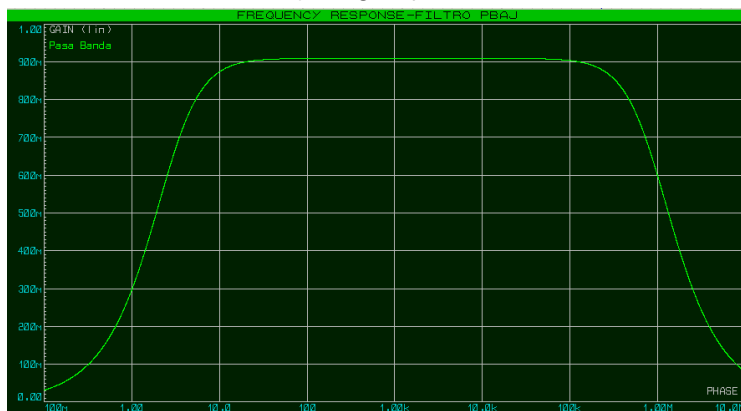
**Caso4. Filtro Pasa Banda. Datos**

Fc(pasa-alto)= ¿? Hz      Fc(pasa-bajo)= 795500 Hz

Filtro pasa-alto R= 500000 ohms C= 100 nf

Filtro pasa-bajo R= ¿? ohms C= 10 nf

Grafica4. Resultante (Rango eje de absisa 0.1 Hz a 5Mhz)





**FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**  
**ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA**  
**CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA**  
**CARPETA TRABAJOS PRACTICOS**  
**2022-TP N°09**  
**Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).**  
**Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda**

**EJERCICIOS PROPUESTOS (NO SON OBLIGATORIOS. NO SE ENTREGAN. NO SE CORRIGEN)**

**EJERCICIO 1.**

Dado el circuito de la figura 9, Considerando que “Vin” (en Volts) comienza en un valor inicial bajo. Indique:

**A-** La secuencia correcta del estado de “Vo” (respuesta de salida) para el aumento de temperatura, según la tabla que se muestra:

OPCIÓN 1		OPCIÓN 2	
Entrada	Estado Vo	Entrada	Estado Vo
Vin < VinL	+Vcc	Vin < VinL	+Vcc
Vin < Vref	+Vcc	Vin < Vref	+Vcc
Vin = Vref	+Vcc	Vin = Vref	0V
Vin > Vref	0V	Vin > Vref	0V
Vin > VinH	0V	Vin > VinH	0V

OPCIÓN 3		OPCIÓN 4	
Entrada	Estado Vo	Entrada	Estado Vo
Vin < VinL	+Vcc	Vin < VinL	0V
Vin < Vref	+Vcc	Vin < Vref	0V
Vin = Vref	+Vcc	Vin = Vref	0V
Vin > Vref	+Vcc	Vin > Vref	0V
Vin > VinH	0V	Vin > VinH	+Vcc

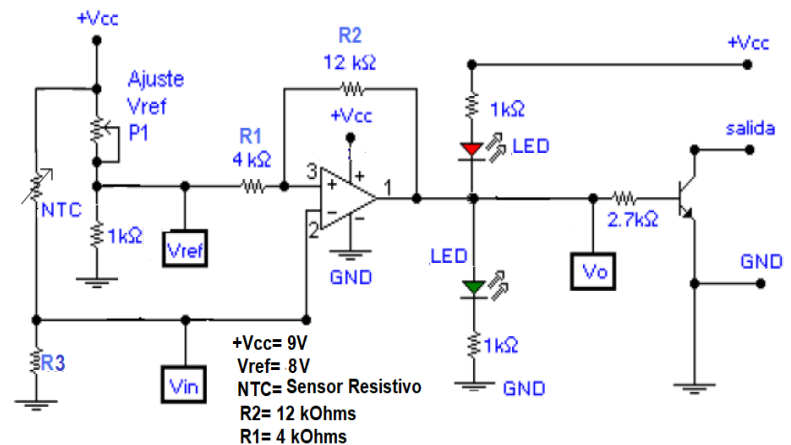
**EJERCICIO 2.**

Dado el circuito de la Figura.

Considere los Datos del Circuito y un Sensor resistivo NTC variable con la temperatura, siendo el valor a 25°Celcius de 10Kohms y a 60°Celcius de 4,16 Kohms (considere el rango de variación proporcional)

El Valor de R3= 4,7 Kohms.

**A-** Con los Datos del Circuito Determine si el Ancho de Histéresis (H) en Volts es de 0.5V Si no es Fundamente la respuesta.



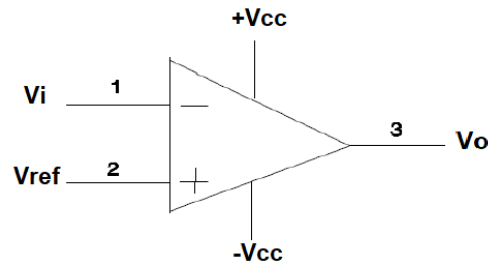
**B-** Determine si el Rango de Variación de Vin (en Volts) se encuentra dentro del rango (VinH-VinL) del Ancho de Histéresis (H) determinado en el punto **A**  
(VinL=Mínimo valor de entrada de Vin, VinH= Máximo valor de entrada de Vin).

**FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO**  
**ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA**  
**CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA**  
**CARPETA TRABAJOS PRACTICOS**  
**2022-TP N°09**  
**Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).**  
**Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda**

**EJERCICIO 3.**

Dado Un Amplificador Operacional SIN Realimentación.  
Entrada (+) es Vref      Entrada (-) es Vi.

- A-** Dibuje Cómo es la Gráfica de Respuesta ( $V_o$  ,  $(V_{ref}-V_i)$ )  
Fundamente la respuesta.



**EJERCICIO 4.**

**Filtro Pasa Banda.** Datos

$F_c(\text{pasa-bajo}) = 900 \text{ KHz}$

Filtro pasa-alto  $R = 500 \text{ Mohms}$   $C = 100 \text{ nf}$

Filtro pasa-bajo  $C = 10 \text{ nf}$

- A-** Calcular la Frecuencia de Corte del Filtro Pasa-Alto y la Resistencia del Filtro Pasa-Bajo

$F_c(\text{pasa-alto}) = \text{¿? en Hz}$

Filtro pasa-bajo  $R = \text{¿? en ohms}$

- B-** Realizar la Gráfica Resultante (Rango eje de absisa 0.1 Hz a 5Mhz)

**EJERCICIO 5.**

**Filtro Pasa-Bajo.** Datos.

Filtro pasa-bajo  $R = 2500 \text{ ohms}$   $C = 10 \text{ nf}$

- A-** Calcular la Frecuencia de Corte

$F_c(\text{pasa-bajo}) = \text{¿? En Hz}$

- B-** Realizar la Grafica Resultante (Rango eje de absisa 10 Hz a 1Mhz)

**RESUMEN DE LA ACTIVIDAD**

Realice todos los ejercicios indicados en los Puntos A, B, C(C5), D, E, F.

Presente un informe grupal con los resultados. (Use el Modelo de Presentación)

Indique en cada hoja del informe el mismo encabezado que el utilizado en este trabajo.

En el pie de página indique los nombres completos, legajo y carrera del grupo de trabajo.

Adjuntar los circuitos de simulación y enviar junto al archivo electrónico del Práctico.