

OBJETIVOS:

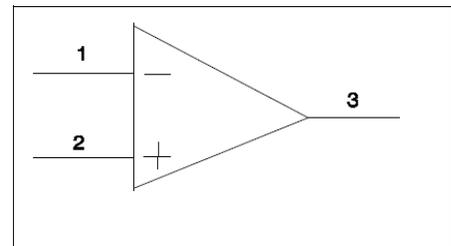
- Establecer conceptos y aplicaciones básicas de un amplificador operacional (AO)
- Considerar la realimentación positiva en aplicaciones de control.
- Comprender el funcionamiento de filtros pasivos de frecuencias y sus aplicaciones.

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)

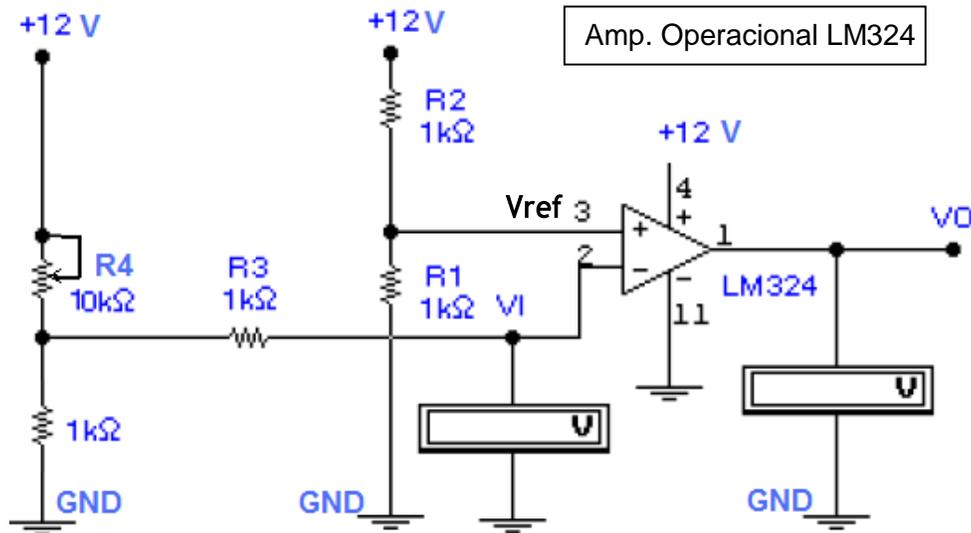


Figura 1: AO sin realimentación

En la figura1 se observa el AO en modo comparador sin realimentación, alimentado con fuente simple. 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 V_o (pin1 del integrado). Se denomina V_{ref} a la tensión en el pin3 del LM324 y a V_i a la tensión en el pin 2. Un análisis es considerar el cambio de V_i con respecto a V_{ref} y observar el efecto resultante a la salida (V_o):

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

$V_i > V_{ref}$, la salida V_o 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 V_o .

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

-Otra gráfica es ubicar en el eje x la variable V_i y en la ordenada el valor de V_o . V_{ref} adoptará un valor fijo sobre el eje x.

Amplificador Operacional con Realimentación Positiva.

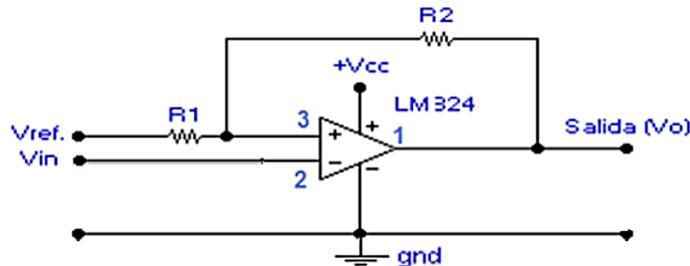


Figura 2: AO con realimentación positiva. Fuente simple. Circuito de ejemplo.

En la figura 2 se observa la realimentación positiva del AO y fuente simple. 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 $V_{ref}=(V_{inH}-V_{inL})/2$, lo que indica que $V_{ref}= V_{cc}/2$

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.

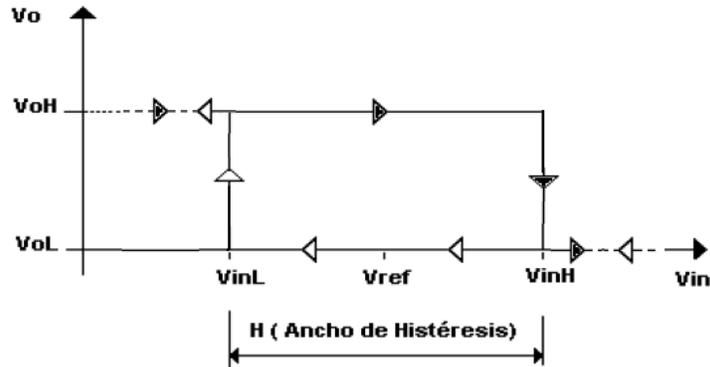


Gráfico 1. Ciclo de histéresis AO con realimentación positiva del circuito figura 2.
(Se cumple que $V_{ref}=(V_{inH}-V_{inL})/2$, lo que indica que $V_{ref}= V_{cc}/2$)

Ancho de Histéresis (H). Determinación

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

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

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}

$R1$: resistencia de la entrada no inversora del AO (ver figura2) $R2$:

resistencia de realimentación positiva del AO (ver figura2)

Dadas estas condiciones, entonces:

$R2/R1= \frac{(V_{oH}-V_{inH})}{(V_{inH}-V_{ref})}$ conocida la relación entre $R2$ y $R1$, fijando del valor de $R1$ se calcula $R2$ 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 $R1$ y $R2$. V_{in} está dominada por el divisor de tensión que conforma la resistencia de 2,7 Kohms o de 10 Kohms y el sensor de temperatura conformado por una resistencia NTC.

El sensor NTC, de coeficiente negativo, se selecciona en función del valor de resistencia a una determinada temperatura de referencia. Como ejemplo, NTC de 10Kohms a 25°C, significa que la resistencia es de 10000 ohms a 25°C y disminuirá de valor a medida que aumente la temperatura, no siendo lineal el cambio.

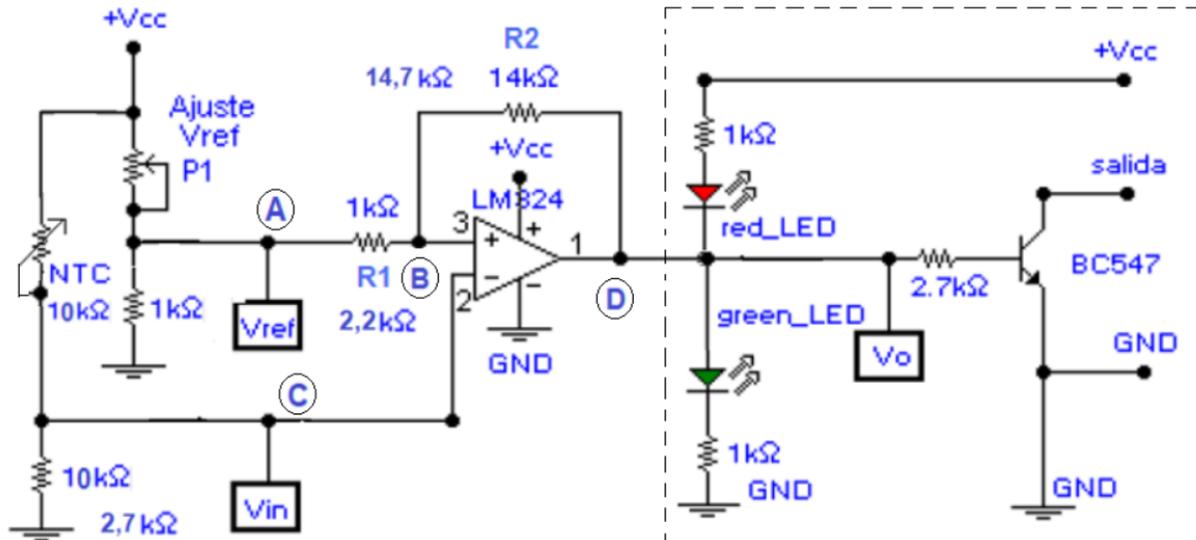


Figura 3: AO con Realimentación Positiva. la V_{in} está dominada por resistencia NTC

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 V_{in} .

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 V_{in} aumenta.

Ecuación del divisor de tensión, $V_{in} = (V_{cc} * 10000) / (R_{NTC} + 10000)$.
 (V_{in} se expresa en volt. Las resistencias están en ohms y V_{cc} en volt).

Conclusión:

Se establece que si aumenta la temperatura aumentará la tensión de entrada V_{in} . Este efecto se utiliza para comparar V_{in} con un valor de tensión que será representativo de una temperatura de referencia. V_{ref} 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, V_{in} aumenta.

Ecuación del divisor de tensión, $V_{in} = (V_{cc} * R_{PTC}) / (R_{PTC} + 10000)$.
 (V_{in} se expresa en volt. Las resistencias están en ohms y V_{cc} en Volt).

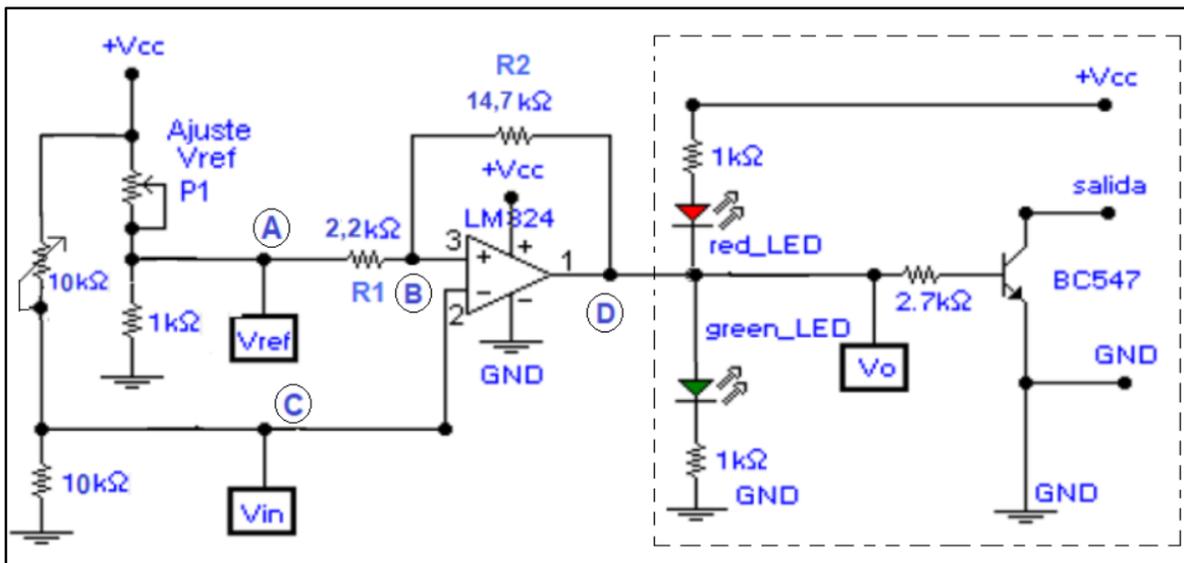
AO con Realimentación Positiva. Ensayos de Laboratorio (figura 4 a figura 5)

El circuito de la figura 3 se usa como base para ensayar en banco de laboratorio empleando breadboard experimental.

A los efectos de poder obtener valores estables de utiliza fuente de laboratorio estabilizada y regulada que puede entregar valores de 9Vcc o valores en el rango +/-12Vcc.

El sensor de Temperatura NTC se reemplaza por una resistencia variable para poder establecer el valor de Vin en el rango de ensayo. El circuito resultante es el de la figura 4.

Los valores de la realimentación positiva son R1= 2,2K y R2=14,7 K (valores comerciales)
 Para el Ensayo se midieron las Resistencias, resultando:
 R1=2,15 Koms R2=14,5 Koms. Con estos valores se realizaron los cálculos y mediciones.



**Figura 4. AO con Realimentación Positiva. La Vin está dominada por resistencia variable
 Corresponde al circuito de ensayo práctico. R1=2,15 Kohms, R2=14,5 Kohms
 R1 y R2 medidas con multímetro.**

Fórmulas que se emplean

- Cuando el sistema evoluciona en sentido creciente de Vin

Caso $V_{in} < V_{ref}$
 $V_{oH} = V_{cc}$

$$V_{inH} = \frac{V_{oH} R_1 + V_{ref} \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Donde VoH: Tensión de salida del AO.

- Cuando el sistema evoluciona en sentido decreciente de V_{in}

Caso $V_{in} > V_{ref}$
 $V_{oH} \cong 0V$

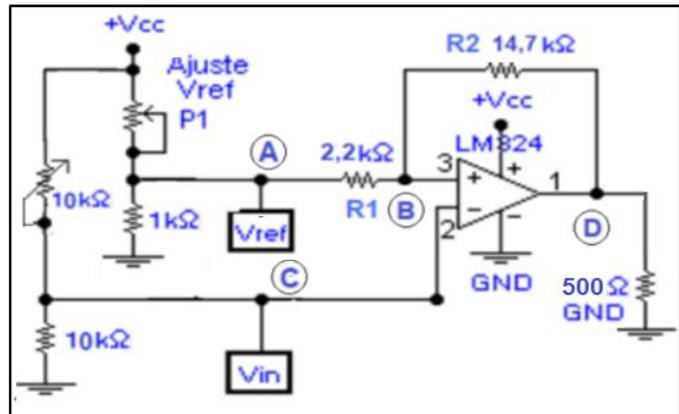
$$V_{inl} = \frac{(V_{ref} - V_{oH}) R_2 + V_{oH} R_1}{R_1 + R_2}$$

Donde V_{oH} : Tensión de salida del AO.

Se realizan 3 ensayos de Laboratorio.

Dos ensayos con Fuente de Alimentación Simple de 9Vcc y un ensayo con fuente dual de +/- 12Vcc. En uno de los ensayos con la fuente de 9Vcc se reemplazó la parte marcada con trazos del circuito de la figura 4 por una Resistencia conectada a masa. Con este cambio se logra obtener $V_{out}=0V$. R_1 y R_2 medidas con multímetro. $R_1=2,15$ Kohms, $R_2=14,5$ Kohms

Circuito figura 4 modificado:



El circuito de la figura 5 corresponde al que se ensaya en Ensayo 3 de Laboratorio, utiliza fuente dual de +/-12 Vcc. Solo se diferencia del circuito de la figura 4 en la fuente de alimentación.

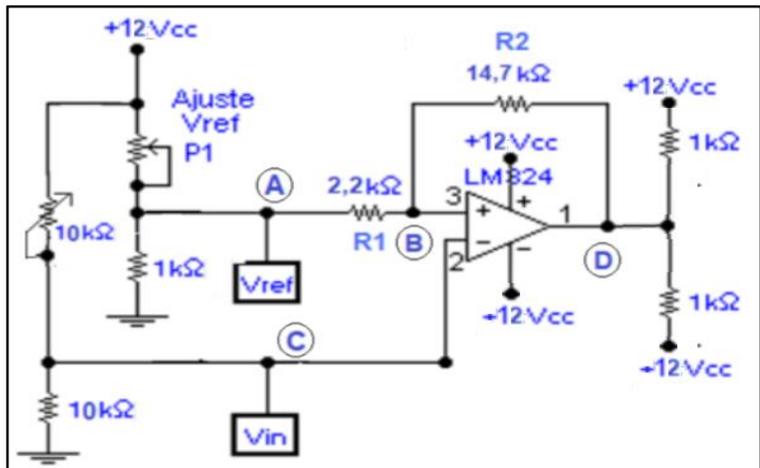


Figura 5. Circuito AO con Realimentación Positiva.
 Corresponde al circuito de Ensayo 3 de laboratorio. $R_1=2,15$ Kohms, $R_2=14,5$ Kohms
 R_1 y R_2 medidas con multímetro.

FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2023-TP N°09
Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).
Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda

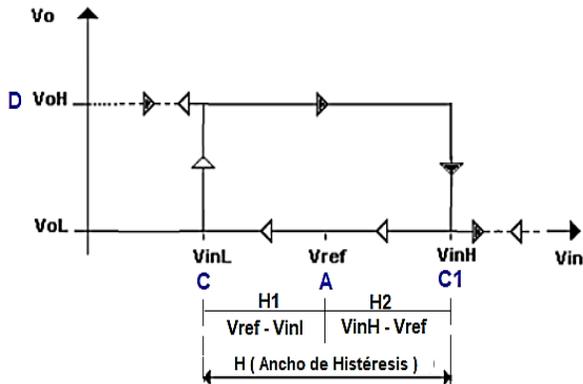
Ensayo 1 de Laboratorio. Fuente simple de 9Vcc.

Circuito Amplificador Operacional con realimentación positiva. Fuente Simple 9Vcc.
 Se describen los resultados de ensayos realizados sobre placa experimental con el circuito de la figura 4. Los resultados se indican en la Tabla 2. (R1=2,15 Kohms, R2=14,5 Kohms)

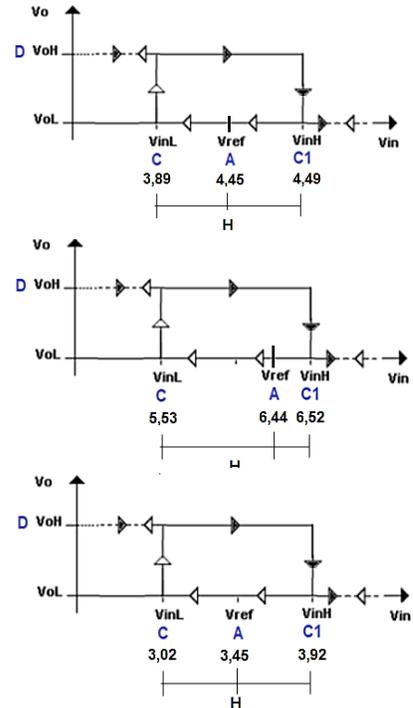
Tabla 2. Resultados circuito figura4. Valores en V(volt). Vout satura a un valor mayor a 0V. Circuito Amplificador Operacional con realimentación positiva. Fuente simple 9Vc.

| Valores Experimentales | | | | Teórico | Teórico | Experimental | Histéresis | | | |
|------------------------|----------------|----------|-------------|-------------|----------------|--------------|------------|----------|----------|-----------|
| Vcc | Vref (A) | Vref (B) | VinL (C) | VinH (C1) | VinL | VinH | Vout (D) | H (C1-C) | H1 (A-C) | H2 (C1-A) |
| 8,91 | 4,45 | 4,79 | ----- | 4,9 | ----- | 4,8 | 1,3 | | | |
| 8,91 | 4,45 | 3,87 | 3,89 | ----- | 3,87 (4,04) | ----- | 7,16 | 1,01 | 0,56 | 0,45 |
| 8,91 | 6,44 | 6,53 | ----- | 6,52 | ----- | 6,53 | 1,3 | | | |
| 8,91 | 6,44 | 5,52 | 5,53 | ----- | 5,6 (5,77) | ----- | 7,16 | 0,99 | 0,91 | 0,08 |
| 8,91 | 3,45 | 3,92 | ----- | 3,92 | ----- | 3,93 | 1,3 | | | |
| 8,91 | 3,45 (3,29) | 3,03 | 3,02 | ----- | 3,00 (3,17) | ----- | 7,16 | 0,90 | 0,43 | 0,47 |

Ancho de Histéresis (H)= VinH-VinL. Se cumple H= H1 + H2



Esquema representativo.



FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2023-TP N°09
Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).
Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda

Ensayo 2 de Laboratorio. Fuente simple de 9Vcc. (Vout satura a 0V)

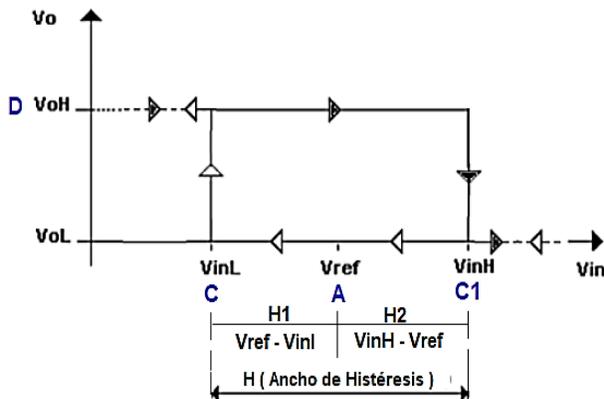
Circuito Amplificador Operacional con realimentación positiva. Fuente Simple 9Vcc.
 Se describen los resultados de ensayos realizados sobre placa experimental con el circuito de la figura 4. Los resultados se indican en la Tabla 3. (R1=2,15 Kohms, R2=14,5 Kohms)
NOTA. Se reemplaza la parte marcada en trazos por una Resistencia conectada a masa.

Con esto se logra que Vout sature en la conmutación a 0V.

Tabla 3. Resultados circuito figura 4 modificado. Valores en V(volt). Vout satura a 0V
Circuito Amplificador Operacional con realimentación positiva. Fuente simple 9Vcc.

| Valores Experimentales | | | | | Teórico | Teórico | Experimental | Histéresis | | |
|------------------------|----------|----------|-------------|-------------|----------------|---------|--------------|------------|----------|-----------|
| Vcc | Vref (A) | Vref (B) | VinL (C) | VinH (C1) | VinL | VinH | Vout (D) | H (C1-C) | H1 (A-C) | H2 (C1-A) |
| 8,91 | 4,45 | 4,81 | ----- | 4,82 | ----- | 4,80 | 0,1 | | | |
| 8,91 | 4,45 | 3,7 | 3,69 | ----- | 3,87 (3,89) | ----- | 7,16 | 1,13 | 0,76 | 0,37 |
| 8,91 | 6,45 | 6,54 | ----- | 6,57 | ----- | 6,54 | 0,15 | | | |
| 8,91 | 6,45 | 5,36 | 5,37 | ----- | 5,62 (5,64) | ----- | 7,16 | 1,20 | 1,08 | 0,12 |
| 8,91 | 3,45 | 3,93 | ----- | 3,95 | ----- | 3,93 | 0,09 | | | |
| 8,91 | 3,45 | 2,87 | 2,85 | ----- | 3,00 (3,02) | ----- | 7,16 | 1,10 | 0,6 | 0,5 |

Ancho de Histéresis (H)= VinH-VinL. Se cumple H= H1 + H2



Esquema representativo

**FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2023-TP N°09
Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).
Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda**

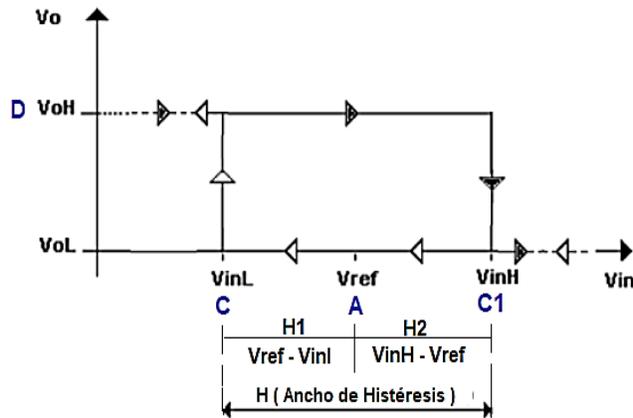
Ensayo 3 de Laboratorio. Fuente dual de +/-12Vcc.

Circuito Amplificador Operacional con realimentación positiva. Fuente dual +/-12Vcc.
Se describen los resultados de ensayos realizados sobre placa experimental con el circuito de la figura 4. Los resultados se indican en la Tabla 4. (R1=2,15 Kohms, R2=14,5 Kohms)

**Tabla 4. Resultados circuito figura 5 con fuente +/-12Vcc. Valores en V(volt).
Circuito Amplificador Operacional con realimentación positiva. Fuente Dual +/- 12Vc**

| Valores Experimentales | | | | | Teórico | Teórico | Experimental | Histéresis | | |
|------------------------|----------|----------|-------------|-------------|---------|---------|--------------|------------|----------|-----------|
| Vcc | Vref (A) | Vref (B) | VinL (C) | VinH (C1) | VinL | VinH | Vout (D) | H (C1-C) | H1 (A-C) | H2 (C1-A) |
| +/-12 | 6,0 | 6,52 | ----- | 6,54 | ----- | 6,48 | - 8,85 | | | |
| +/-12 | 6,0 | 3,60 | 3,70 | ----- | 4,08 | ----- | +9,74 | 2,84 | 2,3 | 0,54 |
| +/-12 | 9,0 | 9,08 | ----- | 9,1 | ----- | 9,09 | -8,85 | | | |
| +/-12 | 9,0 | 5,9 | 5,9 | ----- | 6,69 | ----- | +9,74 | 3,2 | 3,1 | 0,1 |
| +/-12 | 5,0 | 5,6 | ----- | 5,62 | ----- | 5,61 | -8,85 | | | |
| +/-12 | 5,0 | 2,8 | 2,86 | ----- | 3,21 | ----- | +9,74 | 2,76 | 2,14 | 0,62 |

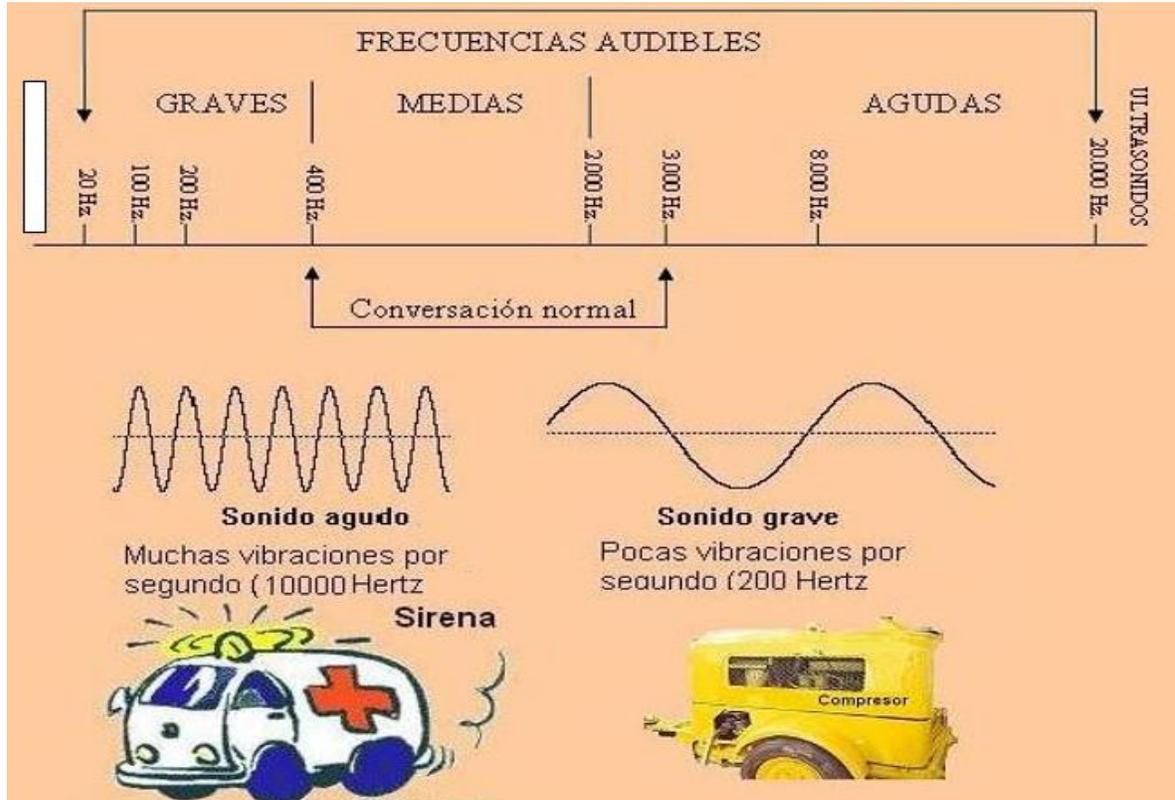
Ancho de Histéresis (H)= VinH-VinL. Se cumple H= H1 + H2



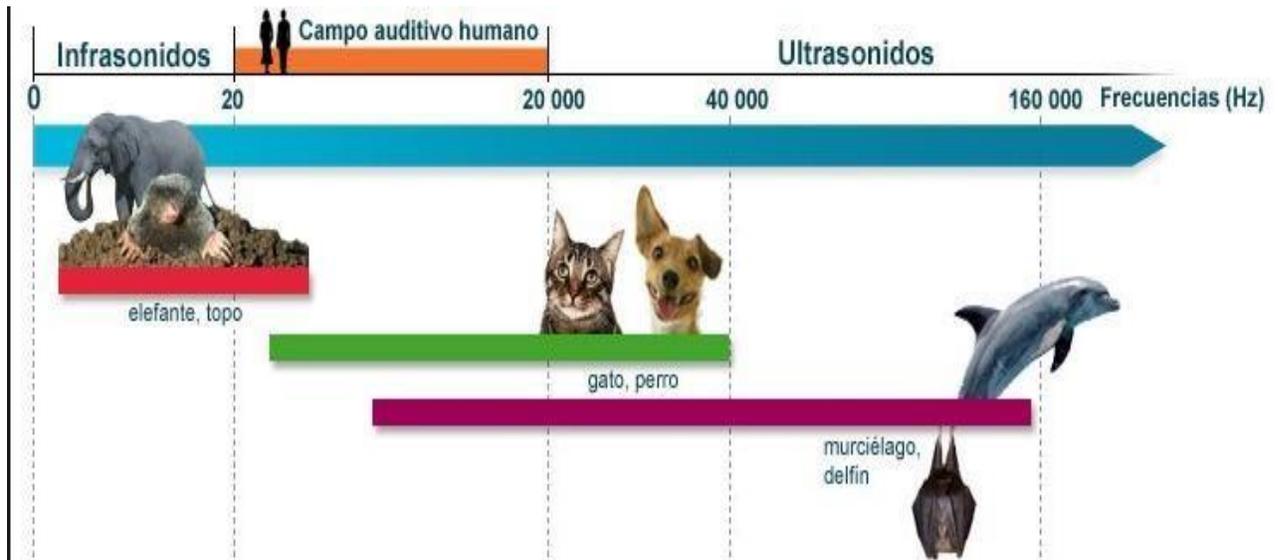
Esquema representativo

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 6 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 6 (en color rojo):

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

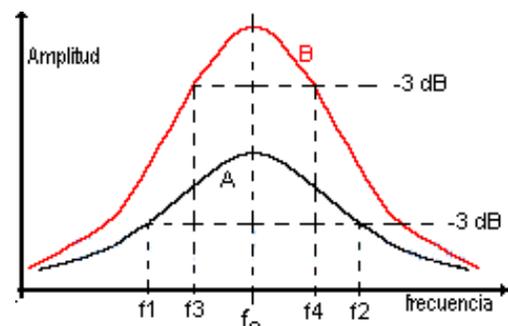


Figura 6. Filtros pasivos

Las curvas A y B de la figura 6 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 6 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 7.

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.

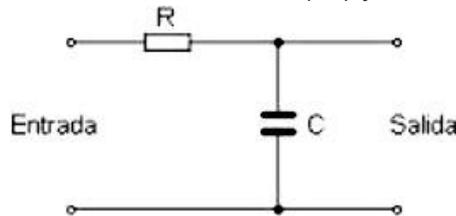


Figura 7. Filtro pasa-bajo pasivo

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

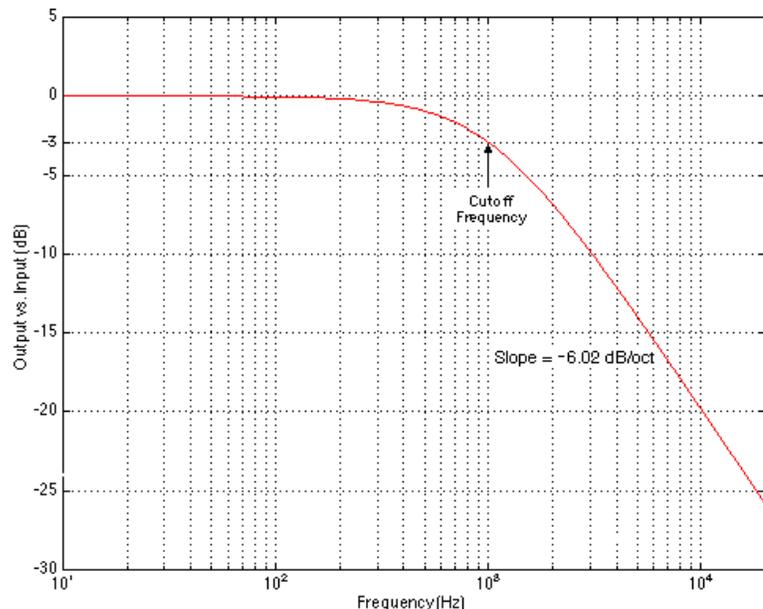
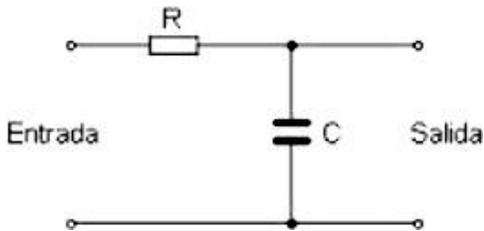


Figura 8. Gráfica real respuesta Filtro Pasa-Bajo pasivo

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 9. 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 9 las frecuencias que pasan son las que están al lado derecho de la línea vertical roja, que representa la frecuencia de corte.

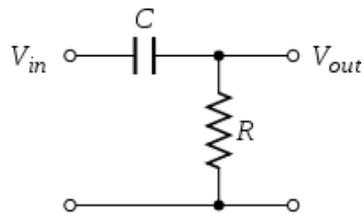


Figura 9. Filtro pasa-alto pasivo

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
2023-TP N°09
Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).
Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda

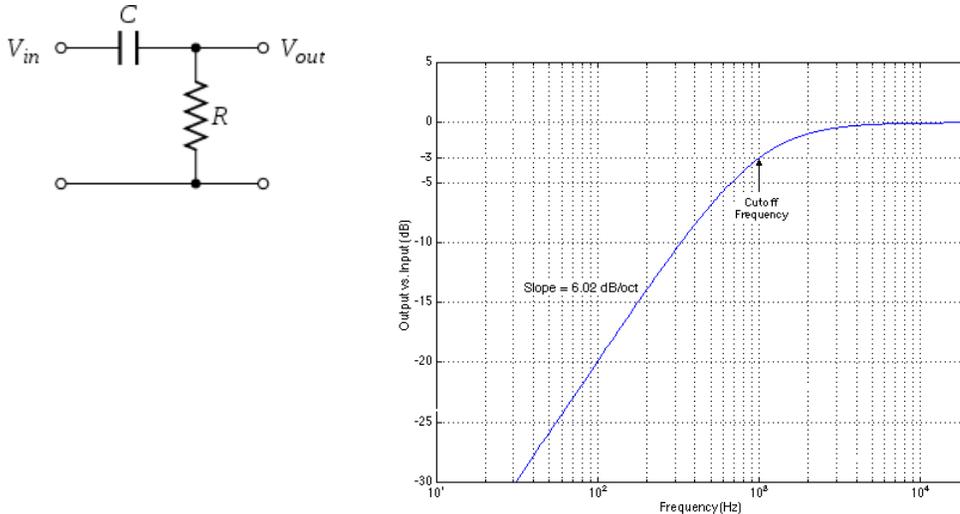


Figura 10. Gráfica real respuesta filtro pasa-alto real

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.

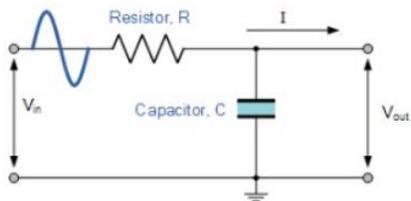
Los diseños de filtro más utilizados son:

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.

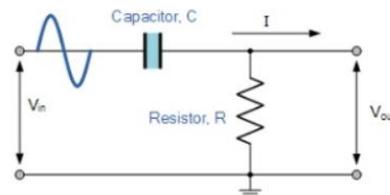
Filtro Pasa Alto: El filtro de paso alto solo permite que pasen las señales de alta frecuencia de su frecuencia de corte, punto f_c y más alto al infinito mientras bloquea esas más bajas.

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

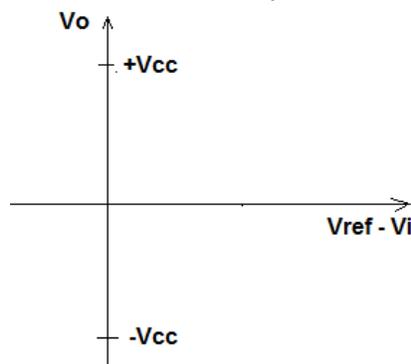
➤ Punto A. Aplicación del AO como comparador sin realimentación

Punto A1 y A2

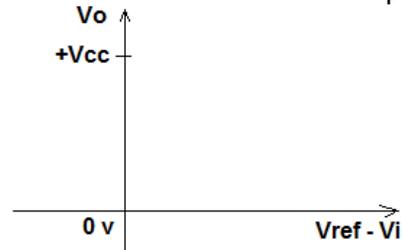
En base a la figura 1, describa el comportamiento de V_o en función de la entrada ($V_{ref}-V_i$)

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

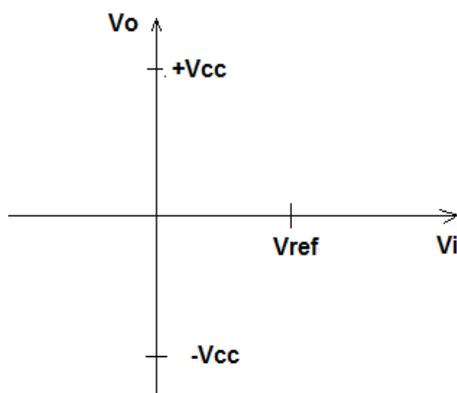
➤ Punto B. Aplicación del AO como comparador sin realimentación

Punto B1 y B2

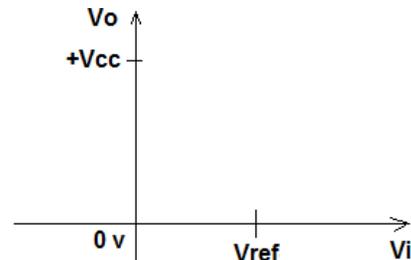
Para el mismo caso anterior, considere el comportamiento de V_o en función de V_i . V_{ref} adopta un valor fijo de comparación.

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

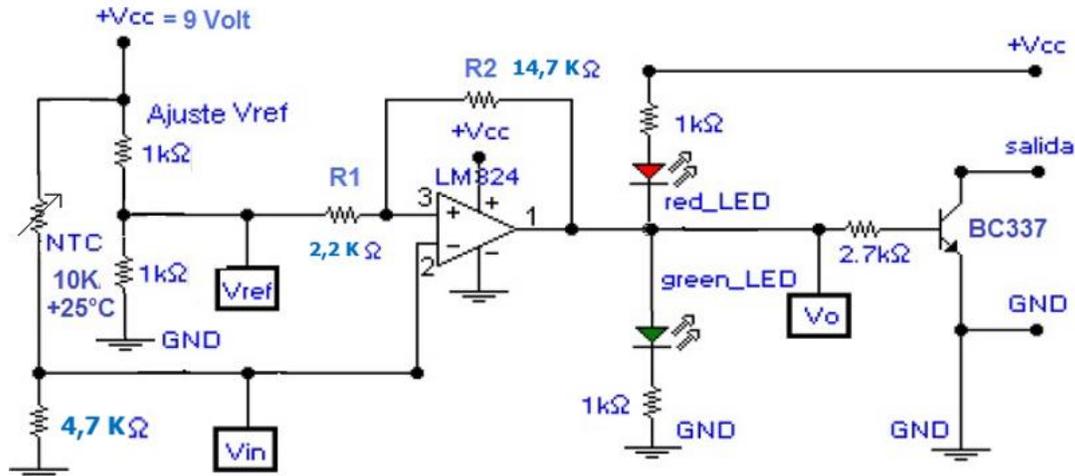


Punto B2

➤ **Punto C. AO con histéresis. Determinar el valor de R1 y R2 (realimentación)**

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.

C- Circuito de Aplicación. Considere el siguiente circuito



Amplificador Operacional con realimentación positiva (Ej: 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). Esto corresponde a Vref= Vcc/2.

Cálculo de R1 y R2 según el Ancho de Histéresis (H) Considerando que Vref= Vcc/2.

Verifique el valor de R1 y R2 para un Ancho de Histéresis determinado de 1 Volt

Para que el circuito 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 y los datos del circuito.

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

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

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

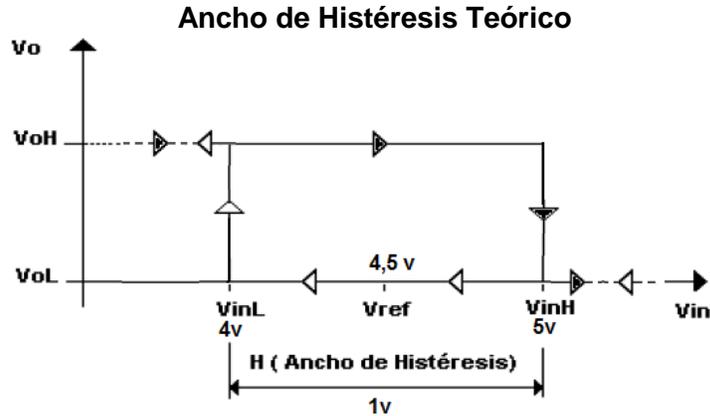
Ancho de histéresis: Se adopta un valor de 1 volt para "H", donde:

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

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

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

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



Cálculo de las Resistencias R1 y R2 para el Ancho de Histéresis (H) definido

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

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 $R2/R1 = 6,68$

VinH se obtiene despejando de la ecuación:
$$\frac{R2}{R1} = \frac{(VoH - VinH)}{VinH - Vref}$$

Reordenando la ecuación:

$$VinH = (VoH R1 + Vref R2) / (R2 + R1)$$

Donde:

$VoH = 9 \text{ V}$, $R1 = 2200$ $R2 = 14700 (10K + 4700K)$ $Vref = 4,5 \text{ V}$ (es cte, no se modifica)

Entonces

➤ $VinH = 5,08 \text{ V}$

De la expresión:
$$VinH = Vref + \frac{VinH - VinL}{2}$$

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

Los Nuevos valores obtenidos determinan el Ancho de Histéresis:

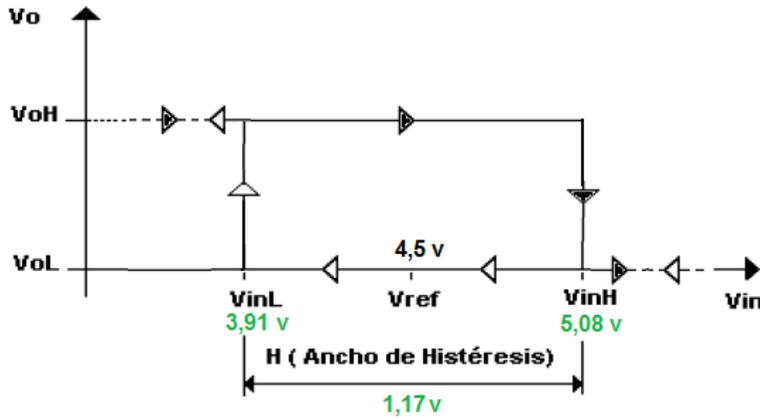
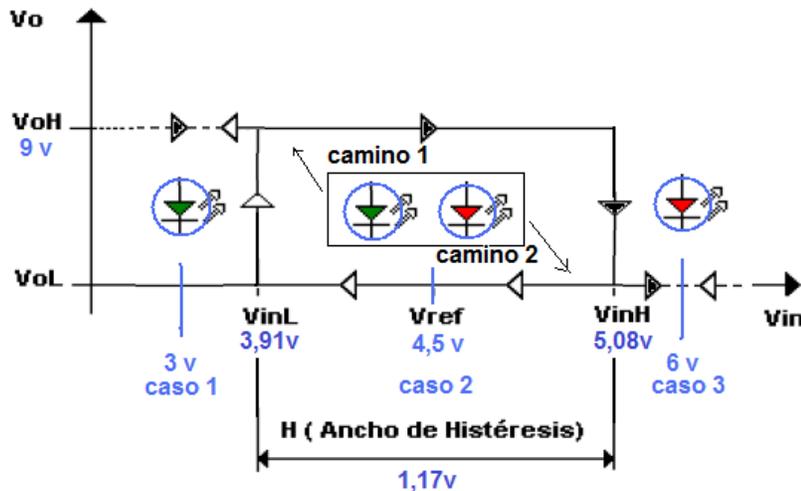


Gráfico Ciclo de Histéresis

Considerando los valores que adopta V_{in} se obtiene el ciclo de Histéresis para un ancho de $1,17\text{ Volt}$ obtenido al utilizar resistencias de valor comercial.



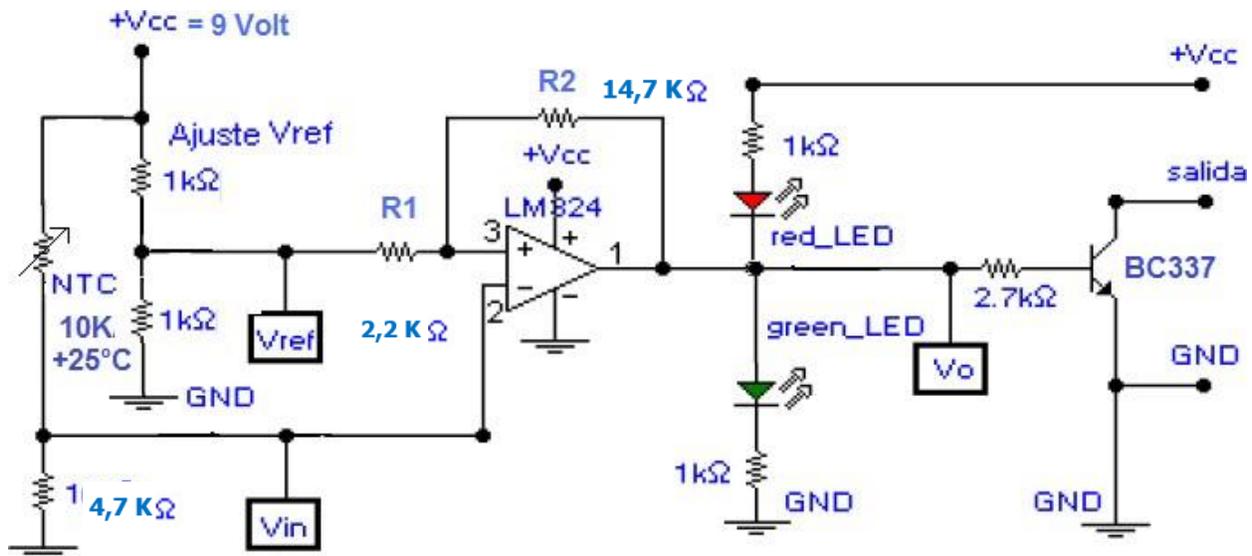
Ciclo de Histéresis del AO con Realimentación Positiva.

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.

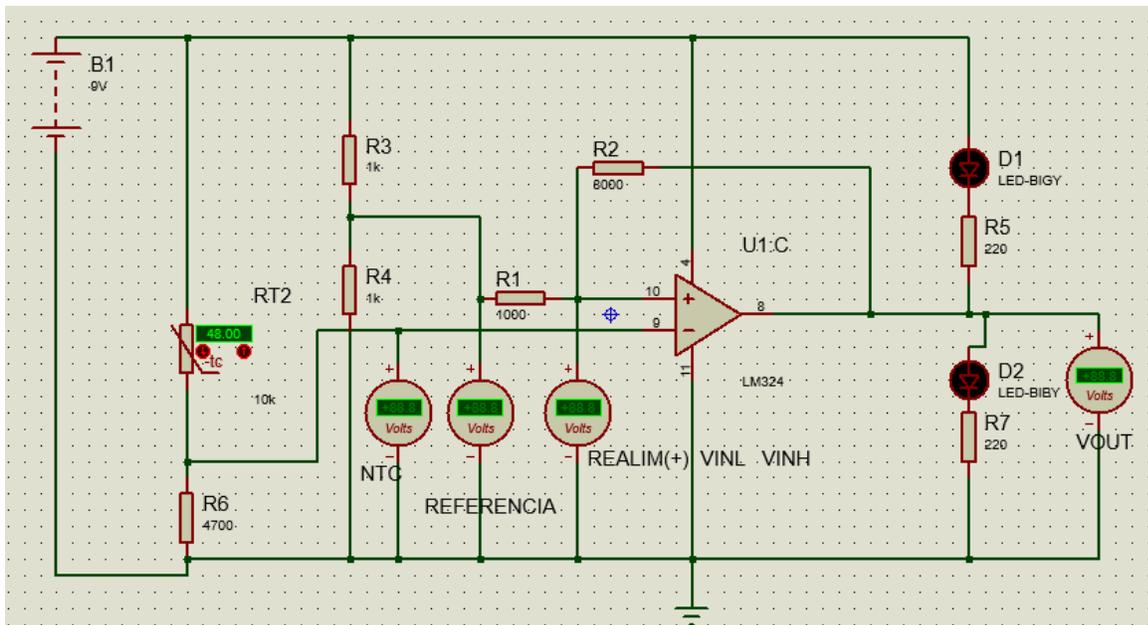
➤ **Punto D- Aplicación Práctica. Simule el circuito**

Realice el circuito de aplicación de figura usando el simulador.



Amplificador Operacional con realimentación positiva. Aplicación: Control de temperatura.

NOTA. Es posible que deba modificar algunos valores de resistencia para que logre simular. Ejemplo del circuito de simulación en Proteus.



Circuito Amplificador Operacional con realimentación positiva en Simulador Proteus.

➤ **Punto E- Verifique el comportamiento del AO con realimentación positiva**

- E1-Verifique los resultados indicados en los Ensayos 1, 2 y 3 de Laboratorio que se corresponden Con los circuitos de las figuras 4 a figura 5. Datos en las Tablas 2, 3 y 4.
- E2- Realice las gráficas de los ciclos de Histéresis (se muestra ejemplo resultante de Tabla2)
- E3- Presente las conclusiones que derivan de los puntos E1 y E2.

➤ **Punto F. 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.

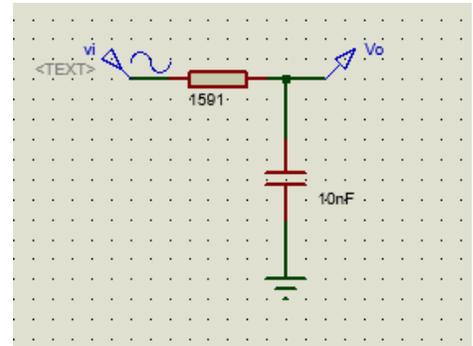


Figura 14. Circuito Pasa-Bajo

Ensayo para diferentes valores de R y C

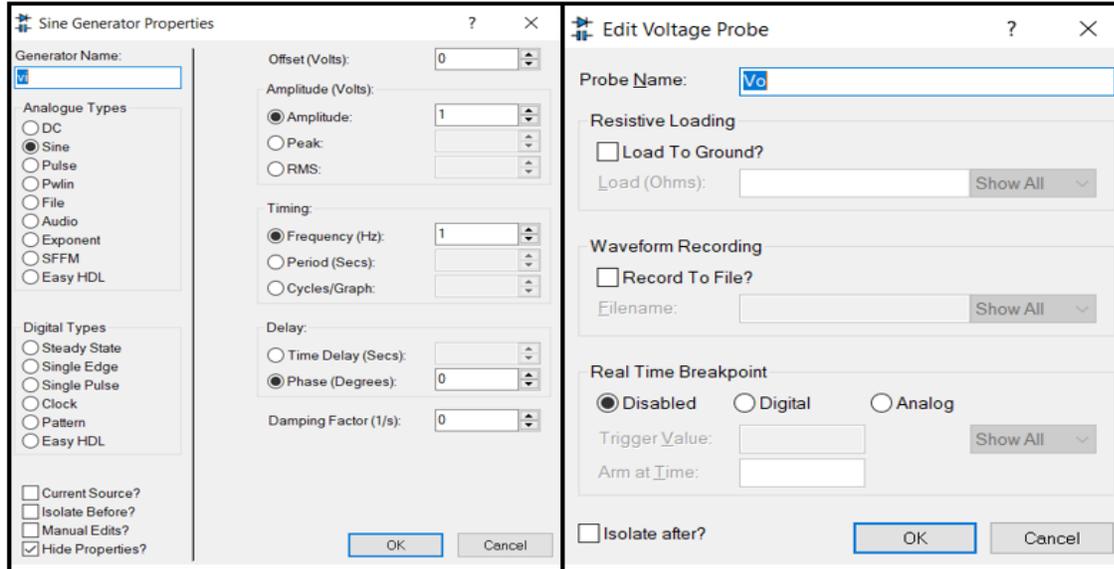
| Resistencia | Capacitor | Frec. Corte en Hertz | Señal Entrada (Vi) | Salida (Vo) | Resultado | Conclusión |
|-------------|-----------|----------------------|--------------------|-------------|-----------|------------|
| 1591ohms | 10 nF | | | | | |
| | | | | | | |

**FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2023-TP N°09
Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).
Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda**

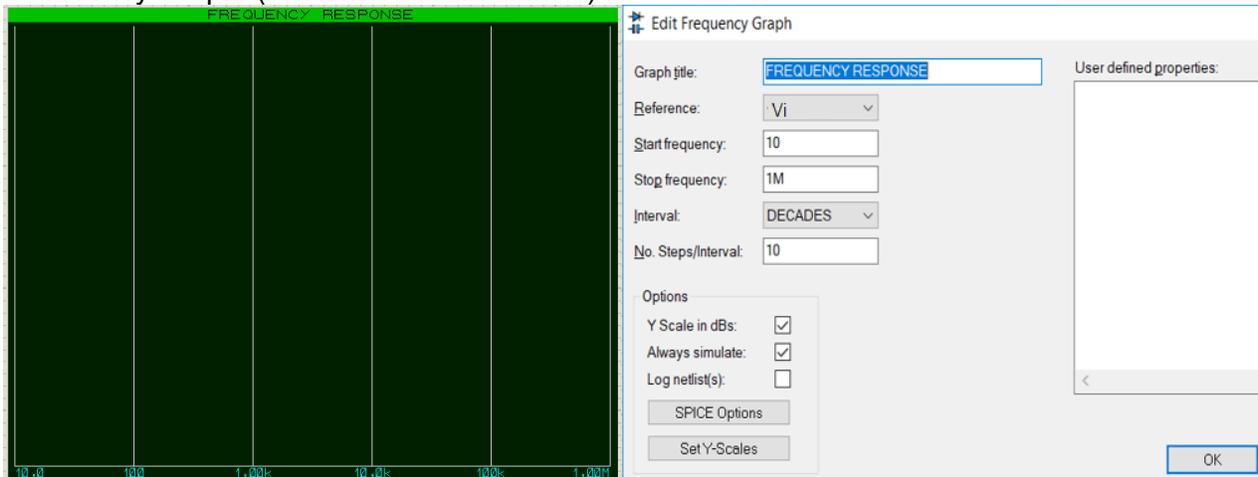
Sobre la Simulación. Señal de Entrada y Salida.

Señal de entrada : Configuración

Señal de salida : Configuración



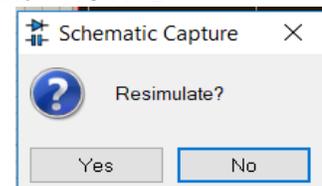
“Frequency Graph” (Analizador de frecuencia)



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

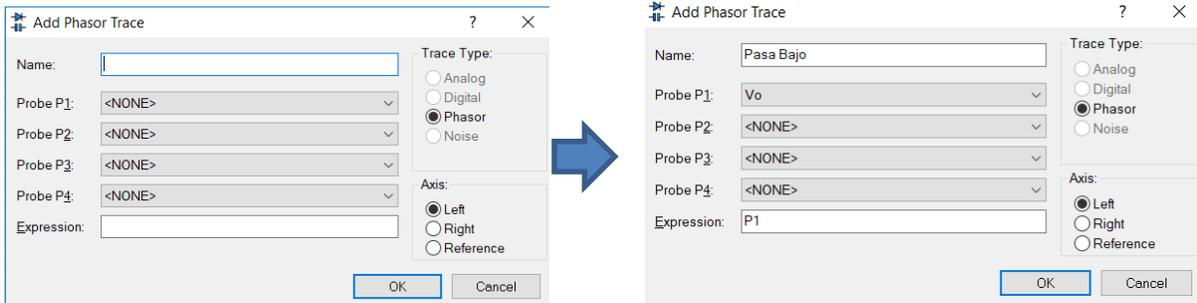
Referencia: V_i (señal de entrada)

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



FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2023-TP N°09
Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).
Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda

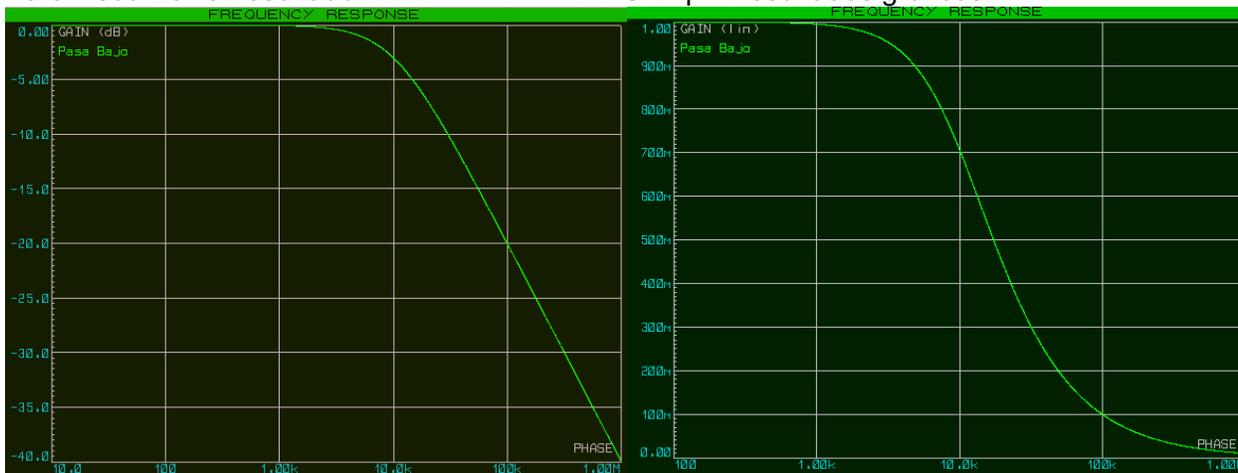
Para Visualizar la gráfica resultante se debe configurar la curva de respuesta (Add Trace). Gráfica de Salida



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



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



Práctica (punto F) 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.

| 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 G. 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.

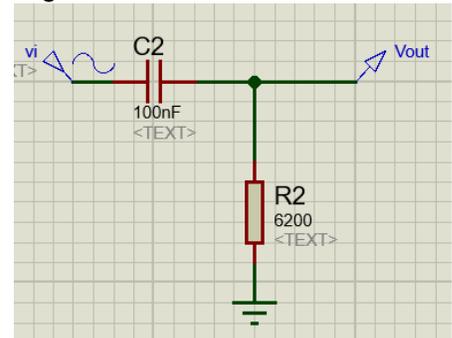
Circuito Experimental (figura 15)

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



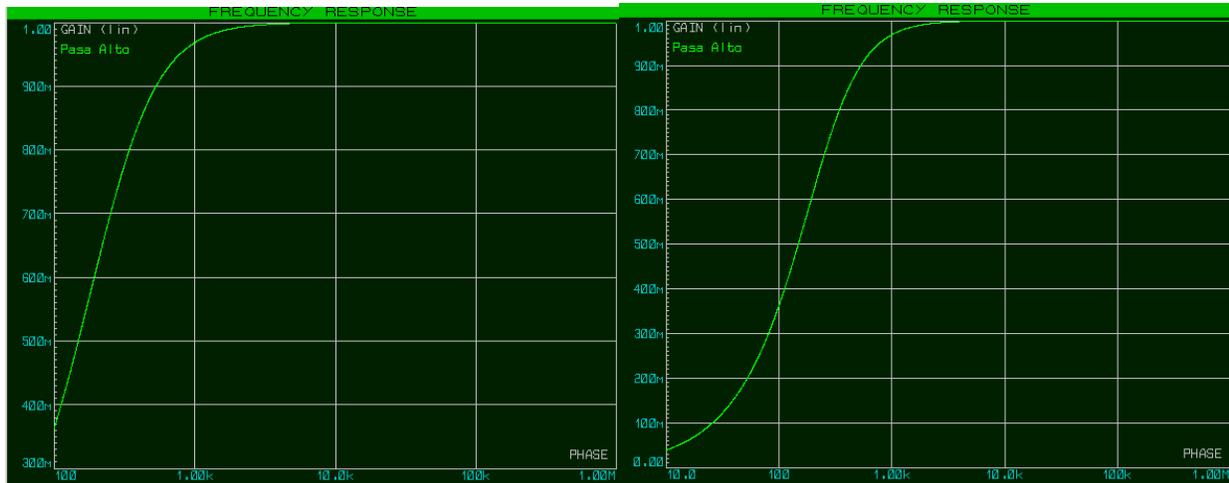
Ensayo para diferentes valores de R y C.

| 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 Grahp". Resultados gráficos

FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2023-TP N°09
Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).
Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda



Práctica (punto G) 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 H. 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.

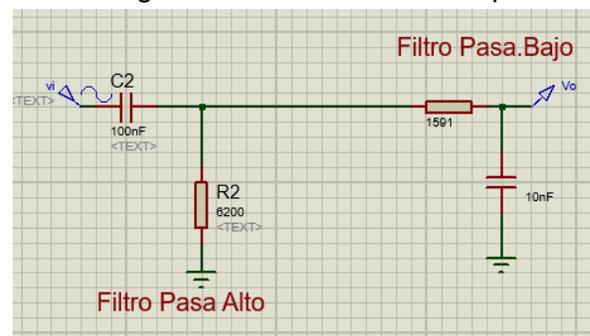
Circuito Experimental (figura 16)

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

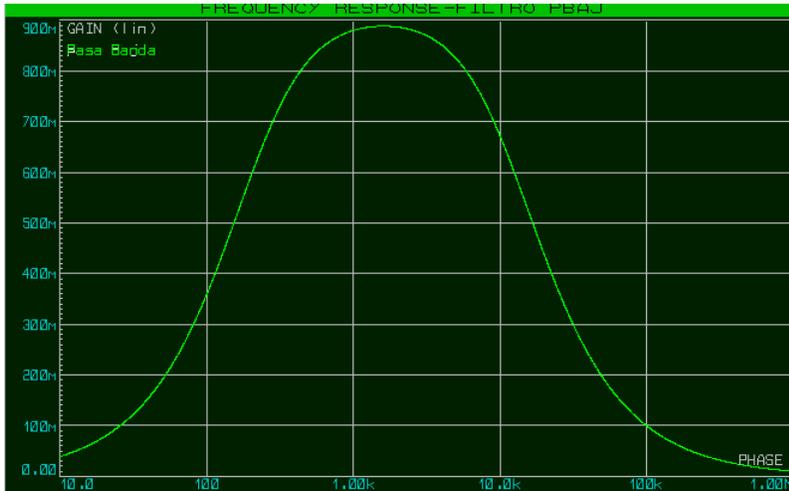
Señal de Salida (Vo): Utilizar una punta de prueba de Tensión (eje de ordenada)

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

Se determinan las dos Frecuencias de Corte



Resultados de la Simulación



Práctica (Punto H). 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.

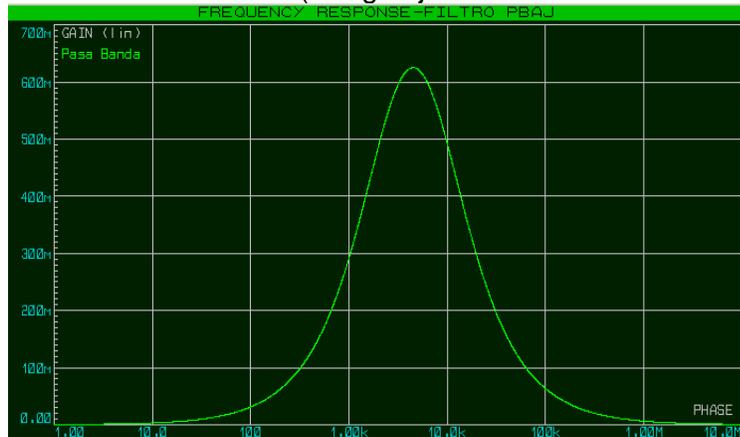
Caso 0. Filtro Pasa Banda. Datos.

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

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)



FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2023-TP N°09
Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).
Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda

Caso1. Filtro Pasa Banda. Datos

Fc(pasa-alto)= ¿? Hz Fc(pasa-bajo)= 59,1 KHz

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

Filtro pasa-bajo R= 1000 ohms C= ¿? nf

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



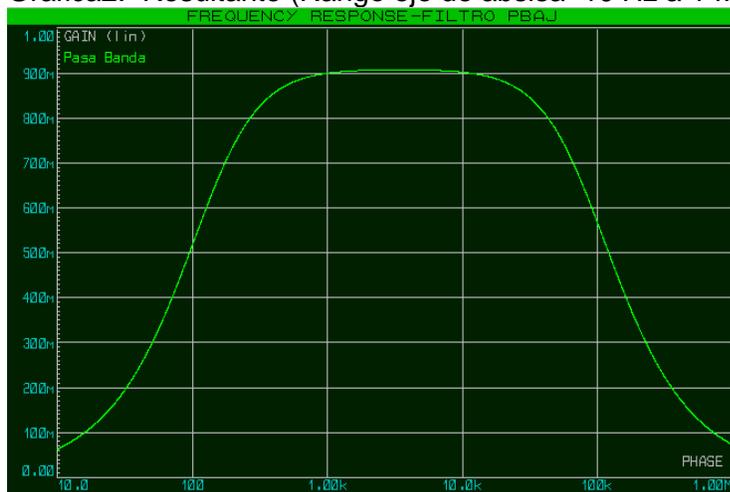
Caso2. Filtro Pasa Banda. Datos

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)



FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2023-TP N°09
Amplificador Operacional. Realimentación positiva (ciclo de histéresis).
Filtros Pasivos. Pasa-Bajo. Pasa-Alto. Pasa-Banda

Caso3. Filtro Pasa Banda. Datos

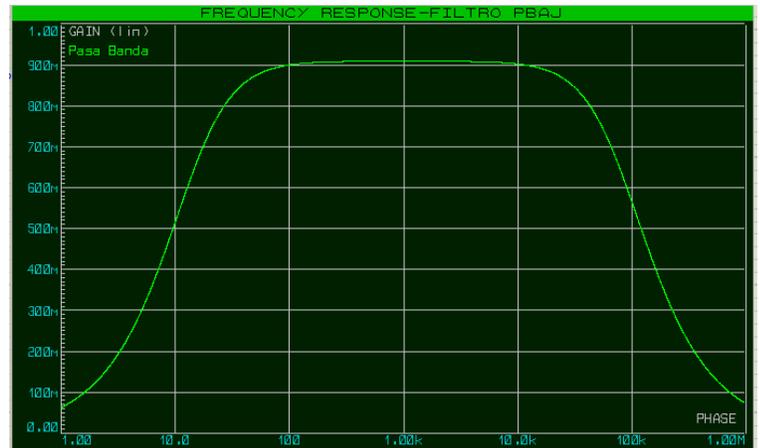
Fc(pasa-alto)= $\xi?$ Hz Fc(pasa-bajo)=
72318,18 Hz

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

Filtro pasa-bajo R= 220 ohms C= $\xi?$ nf

Grafica3. Resultante

(Rango eje de absisa 1 Hz a 1 Mz)



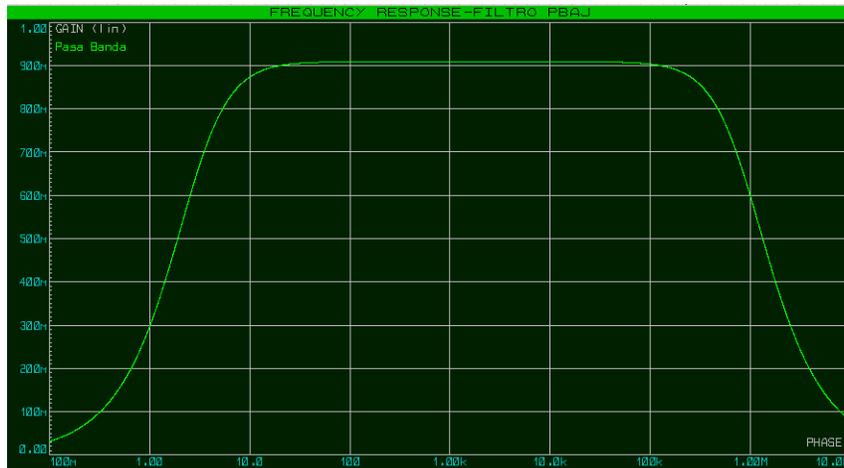
Caso4. Filtro Pasa Banda. Datos

Fc(pasa-alto)= $\xi?$ Hz Fc(pasa-bajo)= 795500 Hz

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

Filtro pasa-bajo R= $\xi?$ 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
2023-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 4 (página 6) 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:

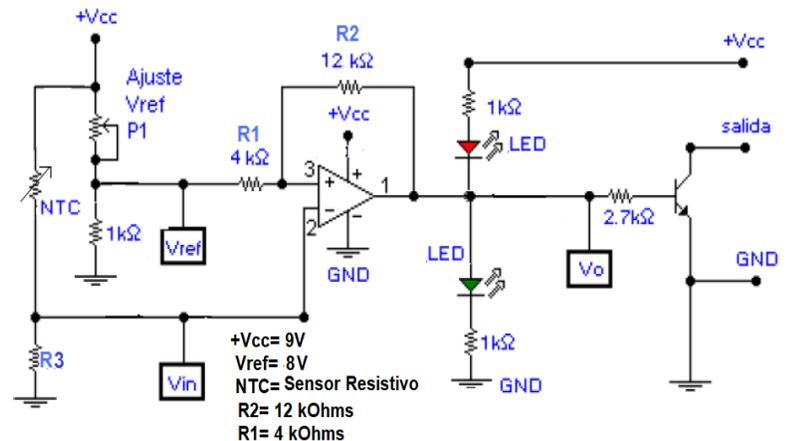
| OPCIÓN 1 | | OPCIÓN 2 | |
|------------|-----------|------------|-----------|
| Entrada | Estado Vo | Entrada | Estado Vo |
| Vin < VinL | +Vcc | Vin < VinL | +Vcc |
| Vin < Vref | +Vcc | Vin < Vref | +Vcc |
| Vin = Vref | +Vcc | Vin = Vref | 0V |
| Vin > Vref | 0V | Vin > Vref | 0V |
| Vin > VinH | 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°C de 10Kohms y a 60°C 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.



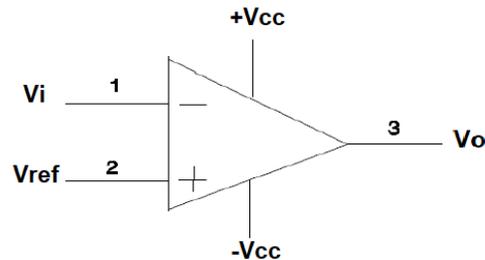
B- Determine si el Rango de Variación de Vin (en Volts) se encuentra dentro del rango (VinH-VinL) del Ancho de Histéresis (H) determinado en el punto **A**
 (VinL=Mínimo valor de entrada de Vin, VinH= Máximo valor de entrada de Vin).

FACULTAD DE INGENIERIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA en MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2023-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 V_{ref} Entrada (-) es V_i .

- 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, D, E, F, G, H

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.