



CURSO: ELECTRÓNICA ANALÓGICA

UNIDAD III: APLICACIONES DEL AO -TEORÍA

PROFESOR: JORGE ANTONIO POLANÍA

En esta unidad se presentarán algunas aplicaciones del amplificador operacional - AO, que son muy importantes en el diseño de dispositivos de control y automatización. Se estudiará: El convertidor de corriente a voltaje I-V, el convertidor de voltaje a corriente V-I, el amplificador de corriente, el amplificador de diferencias, el comparador de voltajes, el temporizador 555 y el generador de señales 8038

Gran parte de estas aplicaciones se han tomado del libro: FRANCO S. Diseño con amplificadores operacionales. Mc Graw Hill. 2005, que considero es el mejor sobre esta área.

La metodología a seguir es la siguiente: Teoría, Simulación, Laboratorio y Evaluación.

1. CONVERTIDOR DE I-V

Convierte una corriente de entrada al AO lin a un voltaje de salida V_o .

Convierte una corriente de entrada al AO i_{in} a un voltaje de salida v_o .

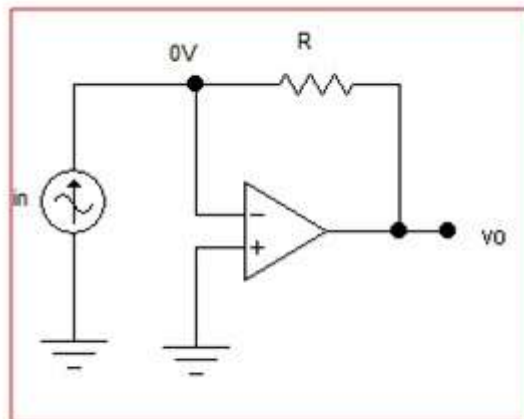
Ecuación:

$$V_o = -i_{in} * R$$

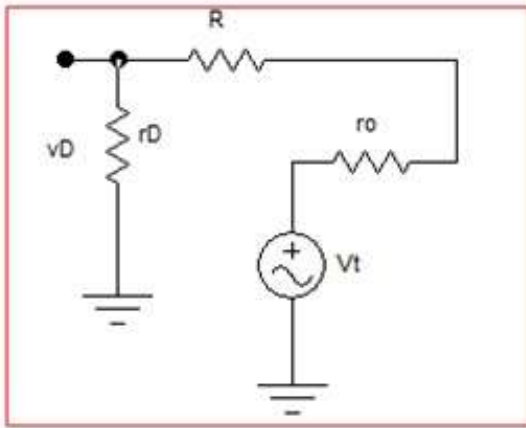
R: Ganancia

R: Sensibilidad

Por ejemplo, para una sensibilidad de 1V/mA se requiere una $R = v_o / i_{in} = 1V / 1mA = 1K\Omega$



A continuación se presenta su circuito equivalente y un ejemplo para calcular el factor de realimentación.



v_D : Voltaje diferencial

r_D : Resistencia diferencial

r_o : resistencia de salida del operacional

v_T : Voltaje Thevenin a la salida

β : Factor de realimentación

$$\beta = \frac{v_D}{v_T} = \frac{r_D}{r_D + R + r_o}$$

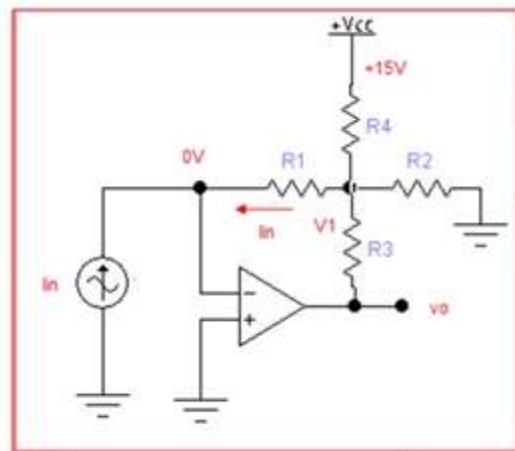
EJEMPLO:

El AO 741 tiene un $r_D=2M\Omega$, $r_o=75\Omega$, $a=200.000$, si $R=1M\Omega$

$$\beta = \frac{2000K}{2000K + 1000K + 0.075K} = \frac{2000}{3000.075} = 0.67$$

EJEMPLO DE DISEÑO

Diseñe un amplificador fotodetector, de tal forma que cuando cambie la corriente de entrada de 0 a 1 μA el voltaje de salida cambie de -5V a 5V.



a) Para $i_{in}=0$, $v_o=-5V$, entonces, $v_1=0$. Salida de un AO, v_o :

$$v_o = -5 = 15 \left[-\frac{R_3}{R_4} \right], \text{por tanto, } R_4 = \frac{-15R_3}{-5} = 3R_3$$

$$R_4 = 3R_3$$

b) Para $i_{in}=1\mu A$, $v_o=5V$, suponemos que $v_1=1V$. Convertidor de I-V:

$$v_1 = R_1 * i_{in}, \quad R_1 = \frac{V_1}{i_{in}} = \frac{1V}{1\mu A} = 1M\Omega,$$

$$R_1=1M\Omega$$

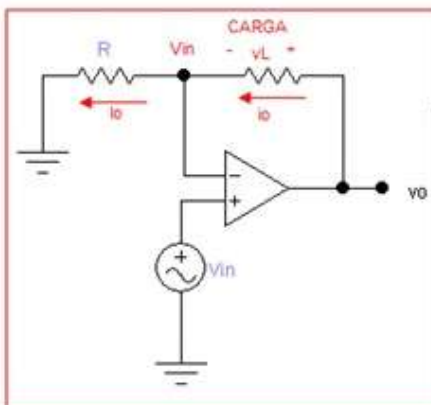
Ecuación de corrientes en nodo v_1 :

$$v_1 \left[\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right] - v_o \left[\frac{1}{R_3} \right] - 15 \left[\frac{1}{R_4} \right] = -i_{in}$$

Si $R_2=1K$, reemplazando $R_4=3R_3$, $v_1=1V$, $v_o=5V$, $i_{in}=1\mu A$, se tiene:

$$R_3=8.6K, \quad R_4=25.8K$$

2. CONVERTIDOR DE VOLTAJE A CORRIENTE



Acepta un voltaje de entrada v_{in} y produce una corriente de salida i_o en la carga.

Ecuación:

$$i_o = A * v_{in} = v_{in} / R$$

A: Ganancia o sensibilidad $=1/R$

Cumplimiento de voltaje en la carga:

$$v_oL - v_{in} < v_L < v_oH - v_{in}$$

EJEMPLO: Si $v_{in} = 5V$, $R = 10K$, $V_{sat} = \pm 13V$, hallar la corriente de salida y el cumplimiento de voltaje en la carga.

$$i_o = \frac{v_{in}}{R} = \frac{5}{10K} = 0.5mA$$

Cumplimiento de voltaje:

$-13-5 < v_L < 13-5$, entonces, $-18V < v_L < 8V$

EJEMPLO DE DISEÑO

Para el convertidor V-I de la figura, $R_1 = R_2 = 1M\Omega$, hallar el valor de R_3 , si se quiere una sensibilidad o ganancia de $1mA/V$.

SOLUCIÓN

$$i_o = A * v_{in}, \quad A = i_o / v_{in}$$

$$A = 1mA/V = 0.001 A/V$$

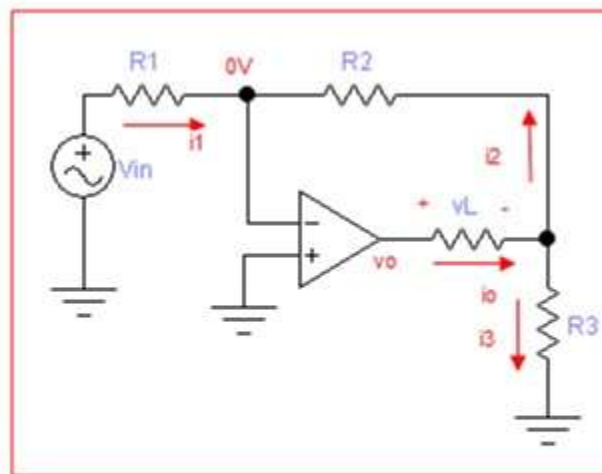
$$A = 1/R_e, \quad R_e = 1000\Omega = 1K\Omega$$

$$R_e = R_1 R_3 / (R_2 + R_3)$$

$$\text{Si } R_2 \gg R_3, \quad R_e \approx R_1 R_3 / R_2$$

$$R_3 \approx R_2 R_e / R_1 = (1M * 1K) / 1M$$

$$R_3 = 1K\Omega$$

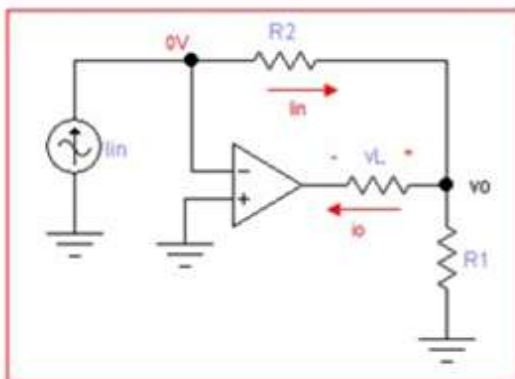


$$i_o = i_2 + i_3, \quad i_2 = -i_1, \quad i_o = -i_1 + i_3$$

$$i_o = -v_{in}/R_1 + v_1/R_3, \quad v_1 = -(R_2/R_1)v_{in}$$

$$i_o/v_{in} = A = 1/R_e,$$

3. AMPLIFICADOR DE CORRIENTE



Amplifica una corriente de entrada a la salida.

Ecuación:

$$i_o = A * i_{in}$$

$$A = 1 + (R_2/R_1)$$

A: Ganancia o sensibilidad

Cumplimiento de voltaje en la carga:

$$-(v_{oH} + R_2 i_{in}) < v_L < (v_{oL} + R_2 i_{in})$$

EJEMPLO: Si $R_1=2K$, $R_2= 18K$, $V_{sat}=\pm 13V$, hallar la ganancia y el cumplimiento de voltaje en la carga si $i_{in}=5mA$

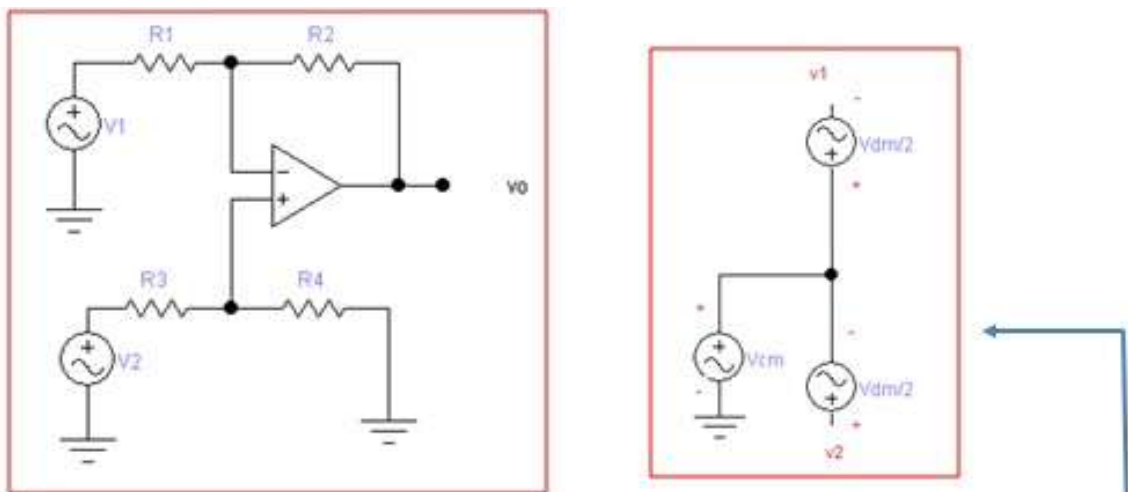
$$A=1+(R_2/R_1)=1+(18K/2K)= 1+9=10 \text{ mA/mA}$$

Cumplimiento de voltaje:

$$-(13+18K*5mA) < v_L < (-13+18K*5mA), \text{ entonces, } -22V < v_L < 4V$$

4. AMPLIFICADOR DE DIFERENCIAS

El circuito amplifica la diferencia de las dos señales de entrada: $v_o = k (v_2 - v_1)$



$R_1=R_3$, $R_2=R_4$, para un puente balanceado:

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1} \quad v_o = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1)$$

$V_o = A_{dm} * V_{dm} + A_{cm} * V_{cm}$, Modo diferencial: $V_{dm} = v_2 - v_1$, Modo común:

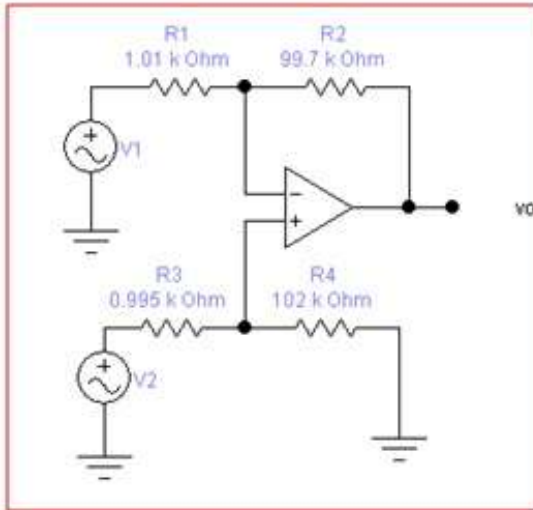
$$V_{cm} = (v_1 + v_2) / 2$$

O sea, $V_{dm} = R_2 / R_1$, $V_{cm} = 0$

$$v_1 = V_{cm} - V_{dm} / 2, \quad v_2 = V_{cm} + V_{dm} / 2$$

EJEMPLO

Se tiene un amplificador de diferencias desbalanceado, hallar A_{dm} , A_{cm} y $CMRR$



SOLUCIÓN:

$$A_{dm} = \frac{v_o}{V_{dm}} = \frac{R_2}{2R_1} + \frac{1}{2} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

Reemplazando valores: $A_{dm} = 98.7$

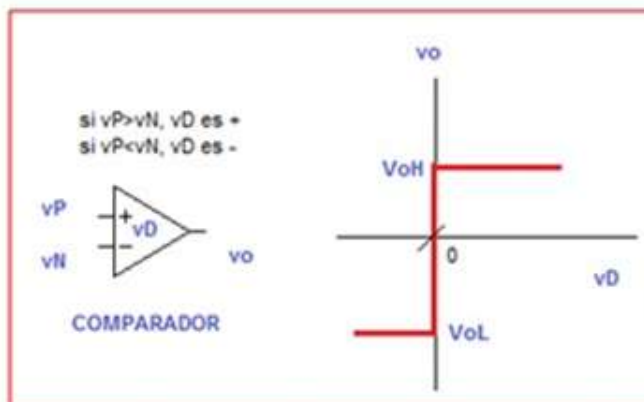
$$A_{cm} = \frac{v_o}{v_{cm}} = -\frac{R_2}{R_1} + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

Reemplazando valores: $A_{cm} = 0.037$

$$CMRR_{dB} = 20 \log \left| \frac{A_{dm}}{A_{cm}} \right| = 20 \log \left| \frac{98.7}{0.037} \right|$$

$$= 20 \log(2667.5) = 68.7 \text{ dB}$$

5. COMPARADORES DE VOLTAJE: LM311



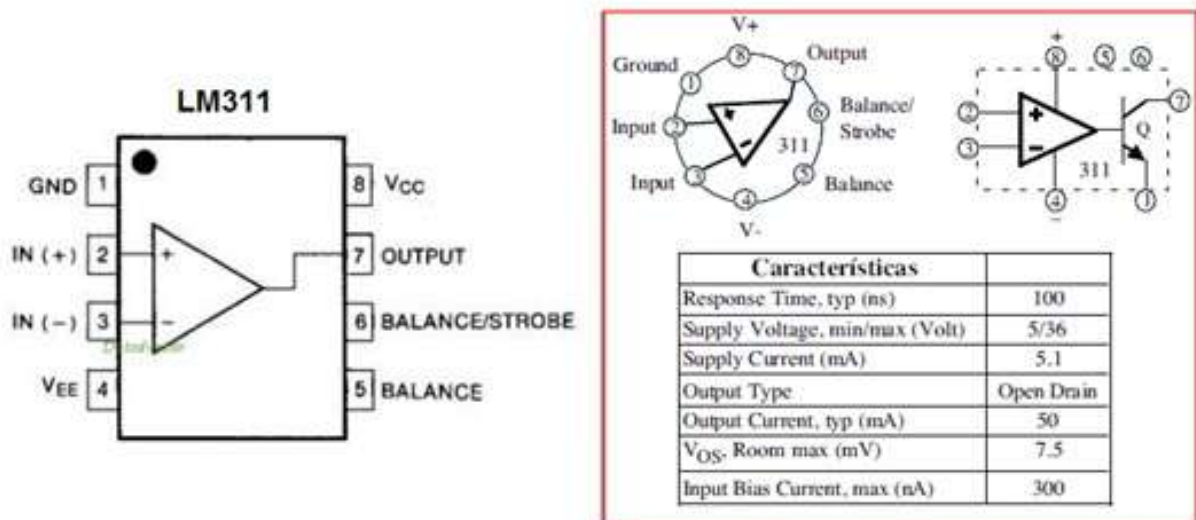
Los comparadores se usan para diseñar Detectores de nivel, Detectores de umbral, Detectores de ventana, Control ON_OFF, etc.. Los circuitos integrados AO más utilizados son el LM311 Y el LM339.

Su función es comparar un voltaje v_P en una de sus entradas con el voltaje v_N de la otra entrada y obtener como salida un voltaje bajo Vo_L o alto Vo_H de acuerdo con:

$$\begin{aligned} \text{Si } v_P < v_N, \text{ entonces, } v_o &= Vo_L \\ v_P > v_N, \text{ entonces, } v_o &= Vo_H \end{aligned}$$

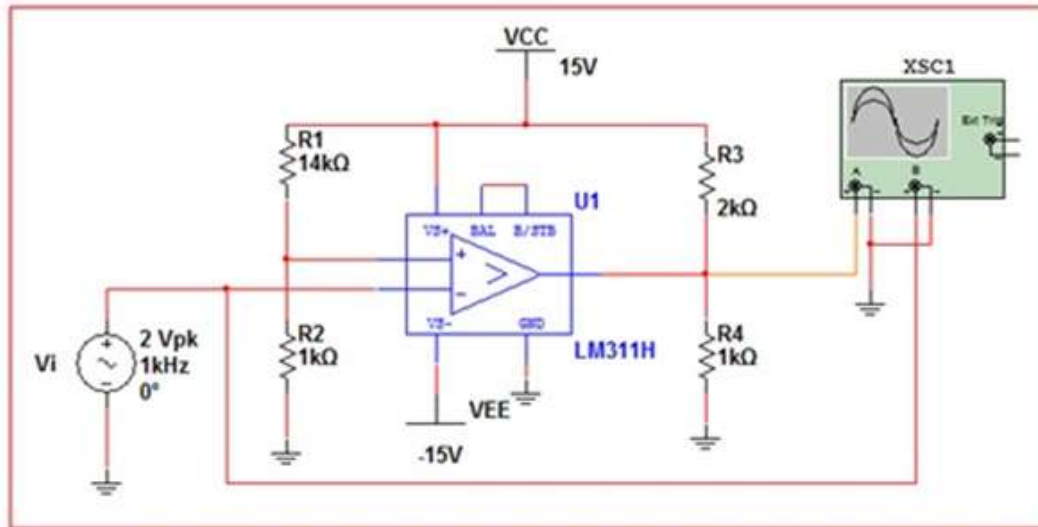
DETECTOR DE UMBRAL

Los comparadores se usan para diseñar Detectores de nivel, Detectores de umbral, Detectores de ventana, Control ON_OFF, etc.. Los circuitos integrados AO más utilizados son el LM311 Y el LM339 que tiene 4 comparadores.



EJEMPLO

Utilizando el comparador LM311 con fuentes reguladas de $\pm 15V$, diseñe un detector de umbral tal que para $V_i > 1V$, la salida $v_o = 0$ y para $V_i < 1V$, la salida sea de $v_o = 5V$.



$I=1\text{mA}$, entonces $R=15\text{V}/1\text{mA}=15\text{K}$, se escoge $R1=1\text{K}$ y $R2=14\text{K}$
 $R'=R3+R4$, si $I'=5\text{mA}$, entonces, $v_o = 5\text{V}$, $R4=1\text{K}$, $R3=2\text{K}$

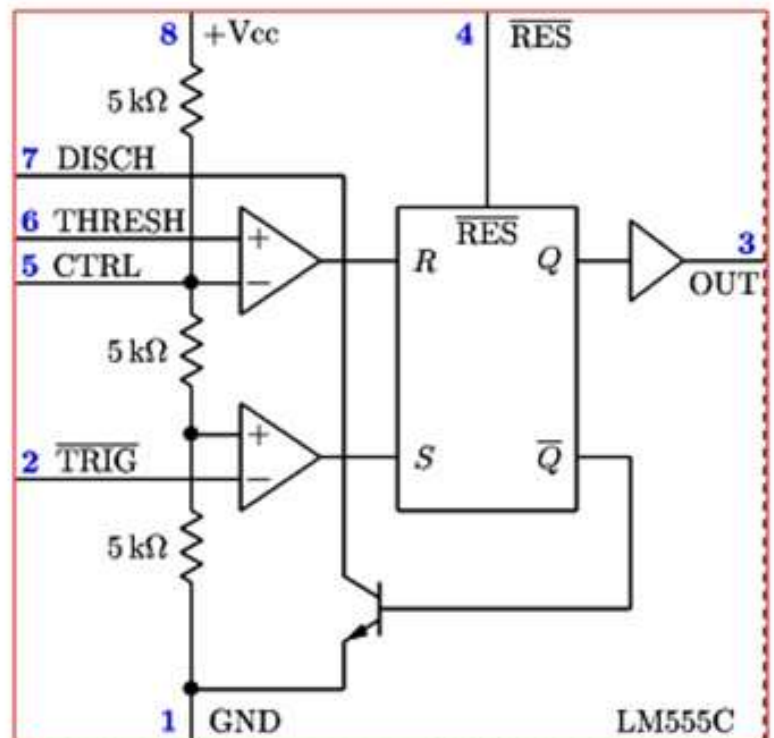
6. TEMPORIZADOR: LM 555

Consta de a) Tres resistencias idénticas B) dos comparadores y un interruptor transistorizado. Las resistencias establecen el umbral de comparación entre V_{TH} y V_{TL} .

$$V_{TH}=(2/3)V_{CC}, V_{TL}=(1/3)V_{CC}$$

Por medio del pin 5 se puede variar el valor de V_{TH} , en cualquier caso siempre $V_{TL}=(1/2)V_{TH}$.

Si el voltaje en el pin 2 (disparo) cae por debajo de V_{TL} , el transistor de salida se apaga y si el pin 6 (umbral) se eleva por encima de V_{TH} se enciende. El pin 4 (reset) pone la salida baja sin importar las condiciones de las entradas de los comparadores.



APLICACIÓN ASTABLE CON 555

Se quiere un multivibrador astable que genere una señal cuadrada de frecuencia 40KHz y un ciclo de trabajo (duty) del 75%

SOLUCIÓN

$$f_0 = \frac{1.44}{(RA + 2RB)C'} \quad D\% = 100 \frac{RA + RB}{RA + 2RB}$$

Sea $C=1$ nF, reemplazando

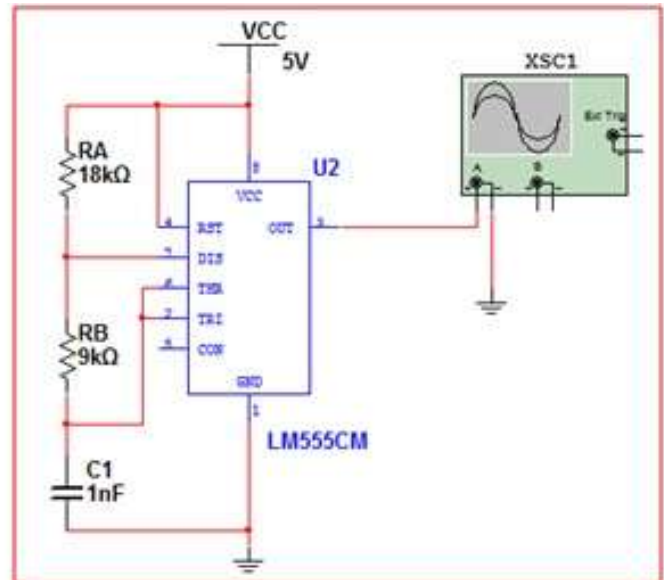
$$RA + 2RB = \frac{1.44}{f_0 C} = \frac{1.44}{40 \times 10^3 \times 10^{-9}}$$

$$= 0.036 \times 10^3 = 36K\Omega$$

$$75 = 100 \frac{RA + RB}{RA + 2RB}$$

$$0.75RA + 1.5RB = RA + RB$$

$$RA = 2RB$$



Resolviendo las dos ecuaciones:

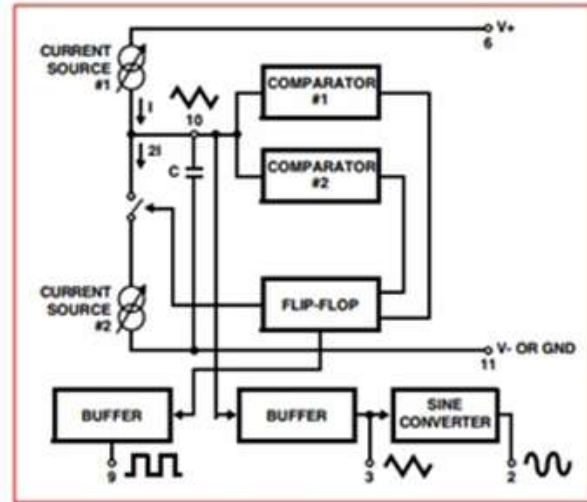
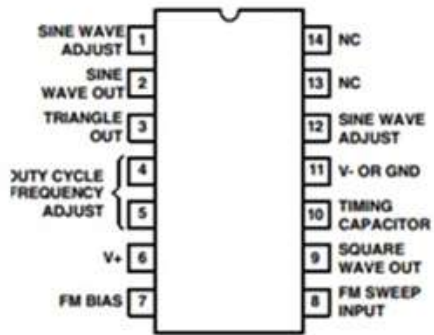
$$RA + 2RB = 36K\Omega \quad \text{y} \quad RA = 2RB$$

$$RB=9K, \quad RA=18K$$

7. GENERADOR DE SEÑALES: 8038

El ICL8038 generador de forma de onda es un circuito integrado por Intersil diseñado para generar señales senoidales, rectangulares y triangulares. La señal triangular son producidas por la carga y descarga de un condensador con corrientes constantes. Las ondas triangulares se convierten en ondas sinusoidales que implican una red no-lineal de transistores y resistencias de película delgada .

La frecuencia de salida se establece por resistencias o condensadores y se cubre un rango de 0,001 Hz a más de 300 kHz. Una tensión de control externa lograría la frecuencia de barrido o modulación de frecuencia.



APLICACIÓN DEL 8038

Generar una señal senoidal de 10 KHz.

La frecuencia de oscilación si $R_A=R_B=R$ se obtiene de:

$$f_o = \frac{0.3}{RC} \quad D\% = 50\%$$

$$R_A = \frac{V_{CC}/5}{I_A}, \quad R_B = \frac{V_{CC}/5}{I_B}$$

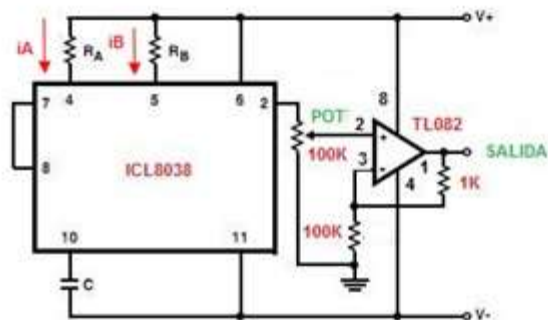
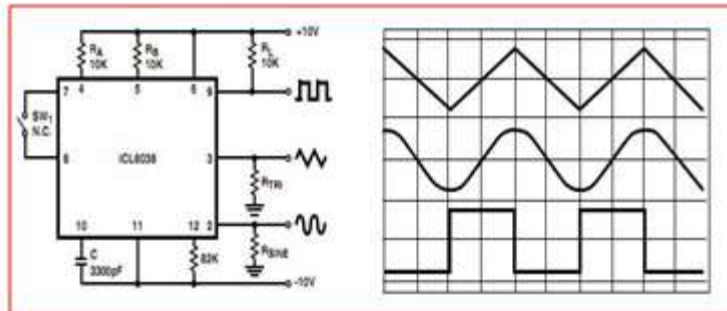
$$I_A = I_B = I \quad (1 \mu A \text{ a } 1 mA)$$

Tomando $I_A=I_B=0.1 \text{ mA}$

$$R = (15/5)V / 0.1mA = 30K$$

Si $f_o = 10KHz$

$$C = \frac{0.3}{Rf_o} = \frac{0.3}{30K \times 10K} = 1nF$$

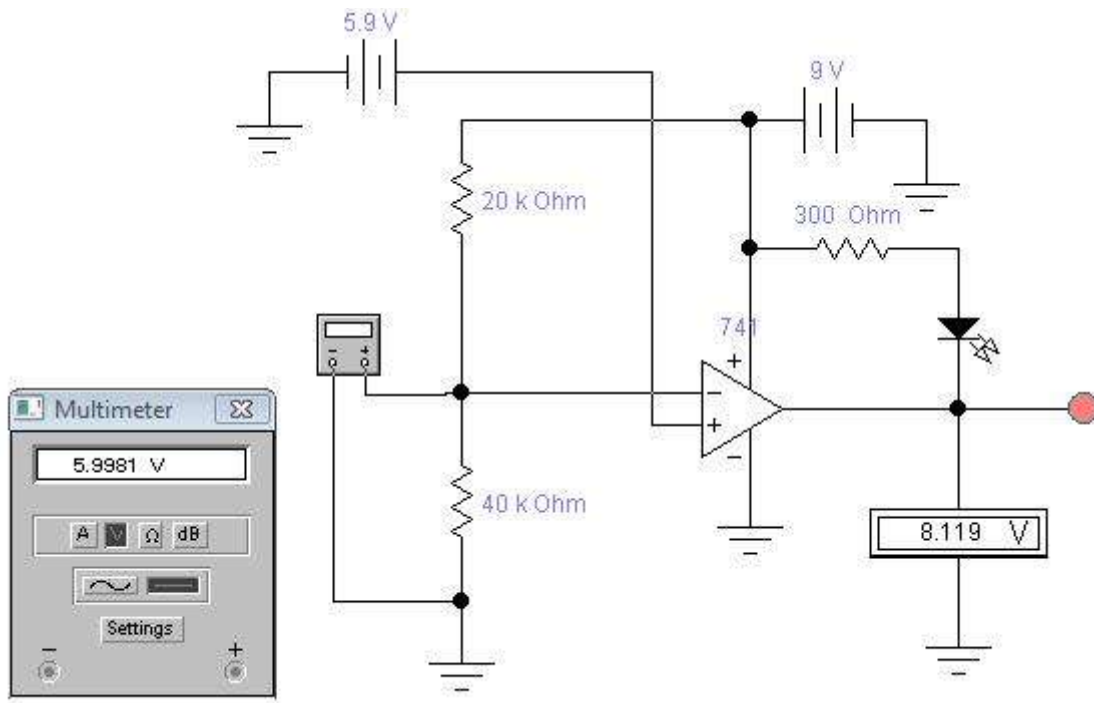


CURSO: ELECTRÓNICA ANALÓGICA

UNIDAD 3: APLICACIONES DEL AO - SIMULACIÓN

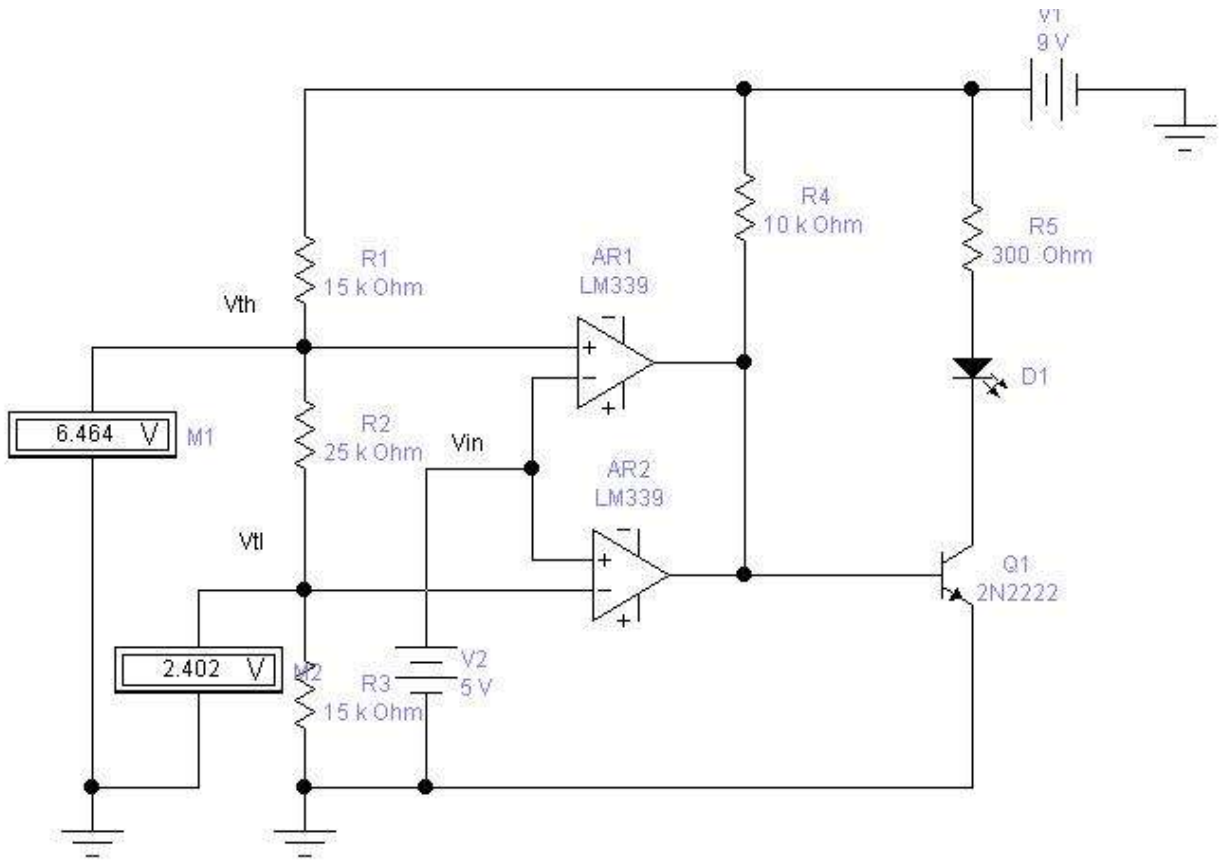
PASO1: DETECTOR DE NIVEL

Simule el circuito de la figura. Mida el voltaje de la entrada inversora $V_{in(-)}$ que hace de voltaje de umbral o voltaje de referencia y varíe el voltaje aplicado a la entrada no inversora $V_{in(+)}$. Observe qué sucede cuando $V_{in(+)}$ es menor a la $V_{in(-)}$ y cuando es mayor. Explique el funcionamiento del circuito.



PASO2: DETECTOR DE UMBRAL

Simule el circuito de la figura que corresponde a un Detector de umbral. En este caso, el umbral se encuentra entre V_{th} y V_{tl} . Explique el funcionamiento del circuito y hacer los cálculos teóricos correspondientes.



CURSO: ELECTRÓNICA ANALÓGICA

UNIDAD 3: APLICACIONES DEL AO - LABORATORIO

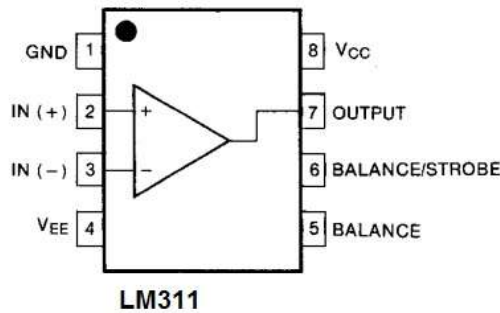
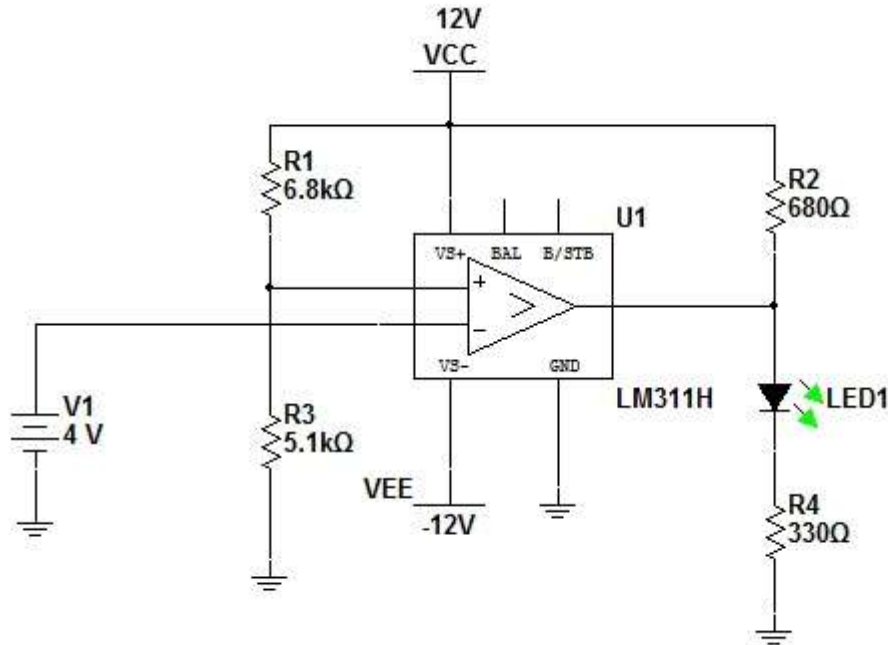
En esta práctica primero vamos a implementar el detector de nivel o umbral y el detector de ventana. Este laboratorio tiene como objetivo aprender a diseñar estos comparadores y probar la teoría que los rige después de haber comprobado su funcionamiento en las simulaciones realizadas.

EQUIPO Y MATERIAL NECESARIO

- Fuente de $\pm 12V$
- Fuente DC variable
- Multímetro
- Protoboard
- Circuitos integrados: LM311, LM339
- Transistor 2N2222
- Un LED
- Resistencias a 1/4W de: $10K\Omega$, $6.8K\Omega$, $5.1K$, $3.9 K\Omega$, $2.7K\Omega$, $1K\Omega$, 680Ω , 330Ω
- Conectores

PASO1: DETECTOR DE NIVEL

Implemente el circuito comparador de la figura. Analizar el circuito calculando las corrientes y voltajes. Varíe la fuente DC de 2 a 8V y observe el LED. Cuál es el valor del V_{ref} ?. Compruebe este resultado teóricamente. Explique el funcionamiento.



PASO2: DETECTOR DE VENTANA

Implemente el circuito comparador de la figura. El LM339 tiene cuatro comparadores de los cuales solamente se van a utilizar dos. La ventana, tiene una sola fuente de polarización.

Analice el circuito calculando las corrientes y voltajes. Varíe la fuente DC de 2 a 8V y observe el LED. Cuales son los valores límites de la ventana V_{TH} y V_{TL} ?. compruebe teóricamente. Explique el funcionamiento del circuito.

