



CURSO: ELECTRÓNICA BÁSICA

UNIDAD 4: MULTIVIBRADORES – TEORÍA

PROFESOR: JORGE ANTONIO POLANÍA

INTRODUCCIÓN

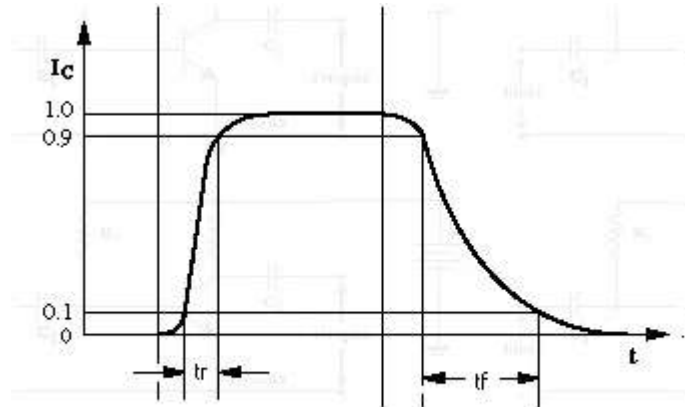
Una de las aplicaciones más importantes del transistor es como interruptor o conmutador, además de la ya conocida como amplificador. El transistor tiene tres regiones de operación: la región de corte, la región activa y la región de saturación. Como amplificador el transistor opera en la región activa y como interruptor en las regiones de corte y saturación. El paso de la región de corte a saturación y viceversa es instantáneo y debido a esto se requieren transistores de alta velocidad, de tal forma, que la respuesta a un pulso rectangular tenga tiempos de subida y bajada muy pequeños.

El transistor de conmutación opera entre la región de corte y región de saturación. La región de corte corresponde a una polarización inversa de ambas uniones. La operación en ésta región corresponde a aplicaciones de conmutación en el modo apagado, pues el transistor actúa como un interruptor abierto. La Región de saturación corresponde a una polarización directa de ambas uniones. La operación en esta región corresponde a aplicaciones de conmutación en el modo encendido, pues el transistor actúa como un interruptor cerrado.

Cuando el transistor está en saturación o en corte las pérdidas son despreciables. Pero si tenemos en cuenta los efectos de retardo de conmutación, al cambiar de un estado a otro se produce un pico de potencia disipada, ya que en esos instantes el producto $IC \times VCE$ va a tener un valor apreciable, por lo que la potencia media de pérdidas en el transistor va a ser mayor. Estas pérdidas aumentan con la frecuencia de trabajo, debido a que al aumentar ésta, también lo hace el número de veces que se produce el paso de un estado a otro.

Tiempo de subida (Rise time, t_r): Tiempo que emplea la señal de salida en evolucionar entre el 10% y el 90% de su valor final.

Tiempo de caída (Fall time, t_f): Tiempo que emplea la señal de salida en evolucionar entre el 90% y el 10% de su valor final.



Estos tiempos limitan la frecuencia máxima a la cual puede conmutar el transistor:

$$f_{max} = \frac{1}{t_r + t_f}$$

Por ejemplo, el transistor BC547 tiene un $t_r=50$ nsg y un $t_f = 64$ nsg.

A continuación se darán los valores típicos de voltajes en las uniones de un transistor NPN a 25°C.

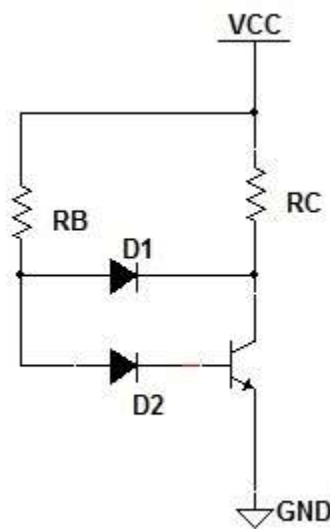
	$V_{CE}(sat)$	$V_{BE}(sat)$	$V_{BE}(activo)$	V_γ	$V_{BE}(corte)$
Si	0,2	0,7	0,6	0,5	0,0
Ge	0,1	0,3	0,2	0,1	-0,1

$V_\gamma = V_{BE}(\text{arranque})$ es el voltaje entre base y emisor necesario para llevar el transistor de la región de corte a la región activa. Para llevar un transistor a la región de saturación es necesario que:

$$I_b \geq I_c / \beta$$

El transistor trabaja como interruptor en los diferentes tipos de multivibradores: multivibrador bistable, monostable y astable.

Para mejorar los tiempos de conmutación se realiza la siguiente configuración:



Se debe cumplir que:

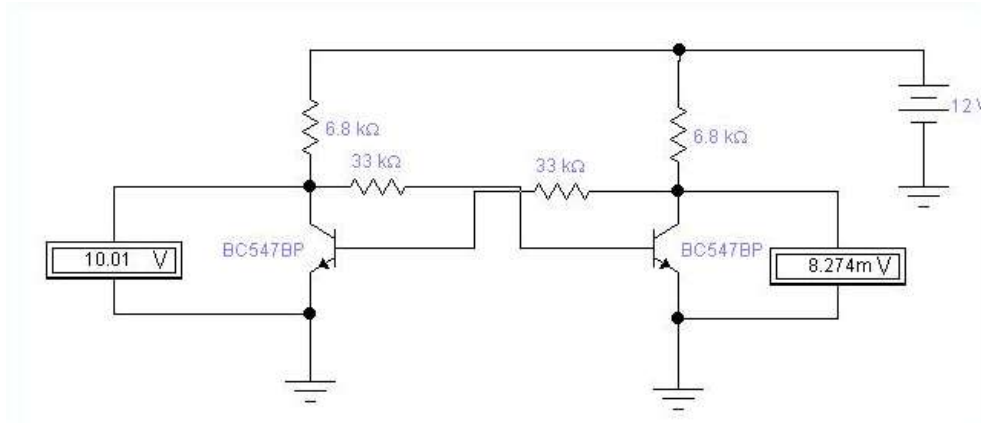
$$I_B > \frac{V_{CC} - V_{BE} - V_{D2} + V_{D1}}{\beta R_C}$$

1. MULTIVIBRADOR BISTABLE

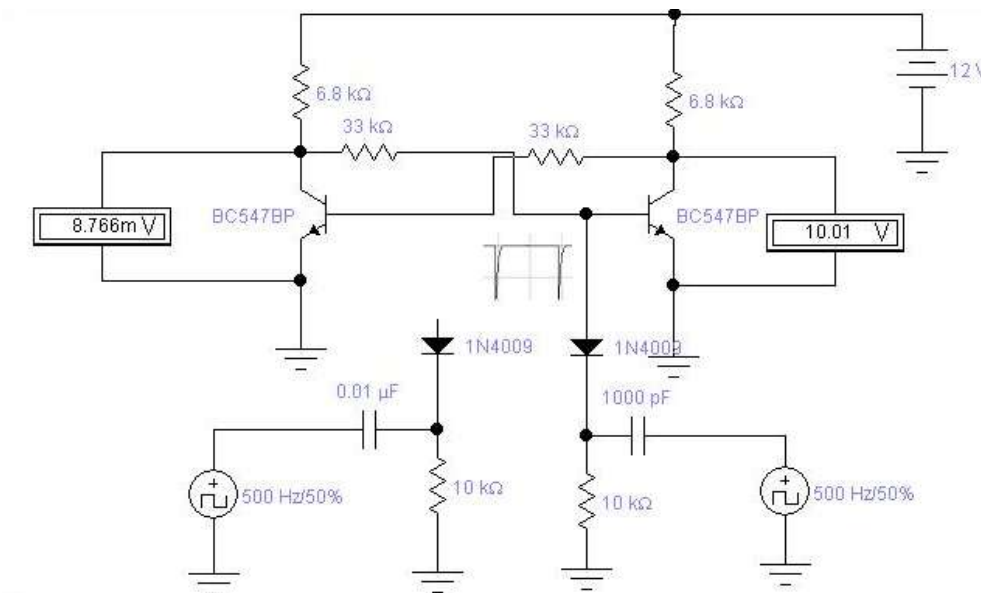
El multivibrador bistable tiene dos estados estables que puede permanecer en cualquiera de ellos indefinidamente y puede realizar una transición brusca de un estado a otro mediante una excitación exterior. Al multivibrador bistable se le conoce también con los nombres de circuito binario, disparador y flip – flop. El MV bistable o binario puede estar acoplado por colector o por emisor.

A. ACOPLAMIENTO POR COLECTOR

El acoplamiento por colector de los transistores se realiza como se indica en la siguiente figura:



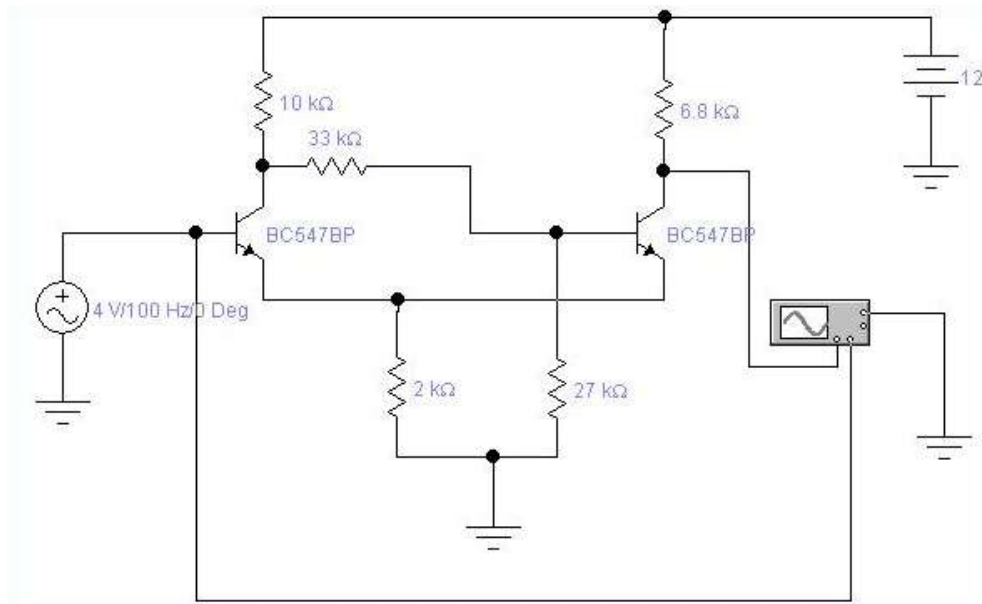
En un estado estable T1 está en corte por tener casi todo el VCC en colector $V_{CE1}=10V$ y el transistor T2 está en saturación pues tiene un $V_{CE2} < 0.1V$. Para llevarlo al otro estado estable es necesario hacer un disparo con un pulso negativo por base de T2, a través de una red RC y un diodo en inverso para que solo pase la parte negativa como se indica a continuación:



Este disparo hace que T1 pase a saturación y T2 a corte. Si nuevamente se quiere cambiar de estado estable se debe disparar ahora el transistor T1 aplicando un pulso negativo en su base.

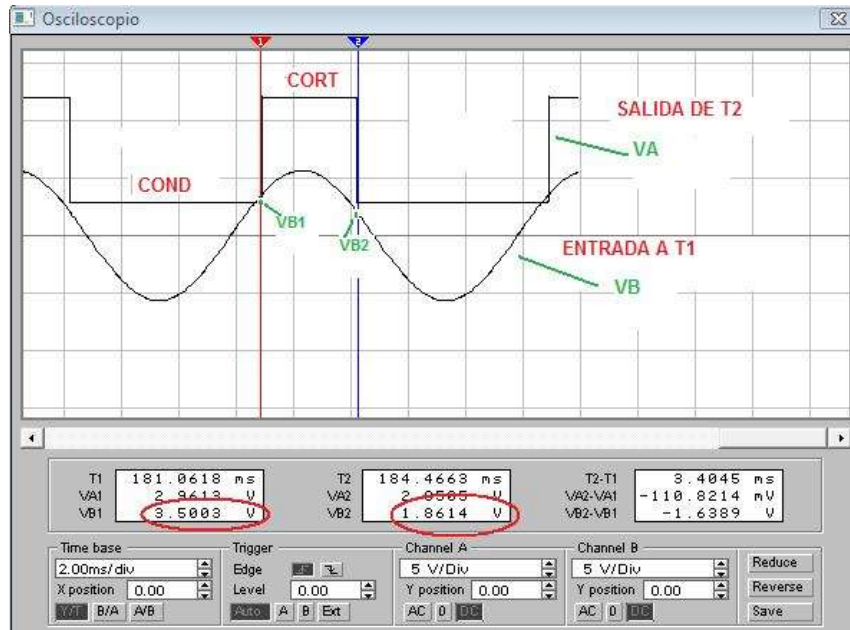
B. DISPARADOR SCHMITT

Es un comparador y su circuito es un biestable con acoplamiento por emisor como el mostrado en la siguiente figura.



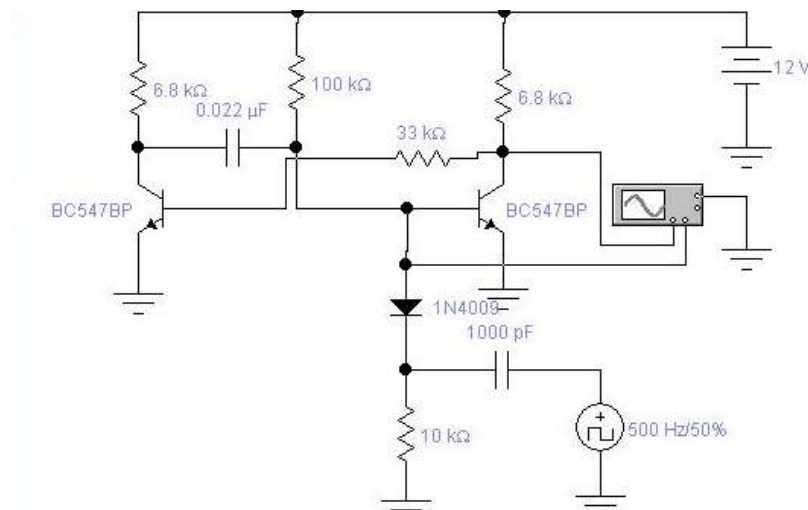
Inicialmente T1 está en CORT y T2 en COND, al aplicarse una señal de entrada por base de T1 al llegar al valor de VB1 que como se indica en la figura de abajo de 2.9V, T1 pasa a COND y T2 a CORT. Cuando la señal cae a VB2 =1.8V, se presenta nuevamente el cambio de estado y así sucesivamente. Se observa que hay una histéresis de

$VB2 - VB1 = -1.6V$. Esta histéresis es la que permite que este circuito conmute en estos valores y es un buen transformador de señal de senoidal a cuadrada.



2. MULTIVIBRADOR MONOSTABLE

Estos multivibradores tienen sólo un estado estable permanente y otro estado semiestable. Para que el MV pase del estado estable al semiestable se necesita una señal de disparo. Permanece en este estado un tiempo determinado y vuelve finalmente al estado estable sin necesidad de ninguna señal exterior. Debido a que vuelve a su estado inicial en un tiempo T determinado por el circuito, se le acostumbra llamar “circuito de retardo”.



Inicialmente T1 está en corte y T2 en saturación, al llegar el pulso de disparo T2 pasa a corte y el condensador comienza a descargarse a través de la resistencia RB2 de 100K. Esta descarga dura un tiempo al final del cual los transistores vuelven a su estado original. Al llegar nuevamente el pulso de disparo se repite el proceso. En conclusión el circuito genera un pulso cuyo periodo depende de RB y C y es igual a:

$$T = 0.69 RB \cdot C$$

Para el ejemplo, $RB=100K$, $C=0.022 \mu F$

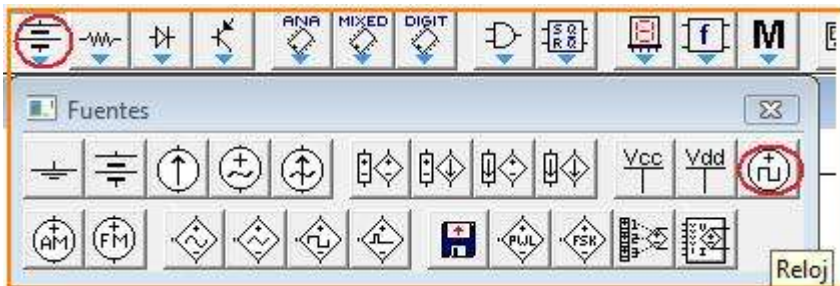
$$T = 0.69 \cdot 100 \text{ e}+3 \cdot 0.022 \text{ e}-6 = 0.0015 \text{ sg} = 1.5 \text{ msg}$$

Este es el valor que se obtiene de la simulación como se indica en la figura de abajo.

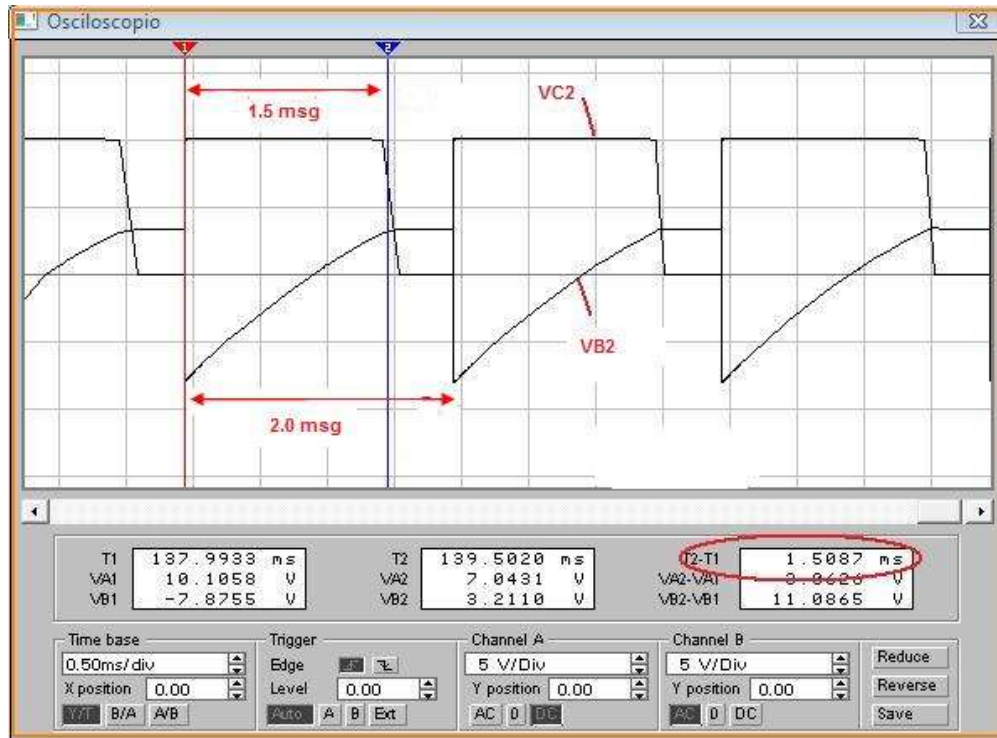
Como fuente de disparo se ha utilizado un generador de pulsos o reloj de 5V y $f = 500 \text{ Hz}$

Se ha escogido esta frecuencia porque su periodo debe ser mayor al periodo generado por el monostable.

$$T(\text{fuente disparo}) = 1 / f = 1/500 = 0.002 \text{ sg} = 2 \text{ msg}$$



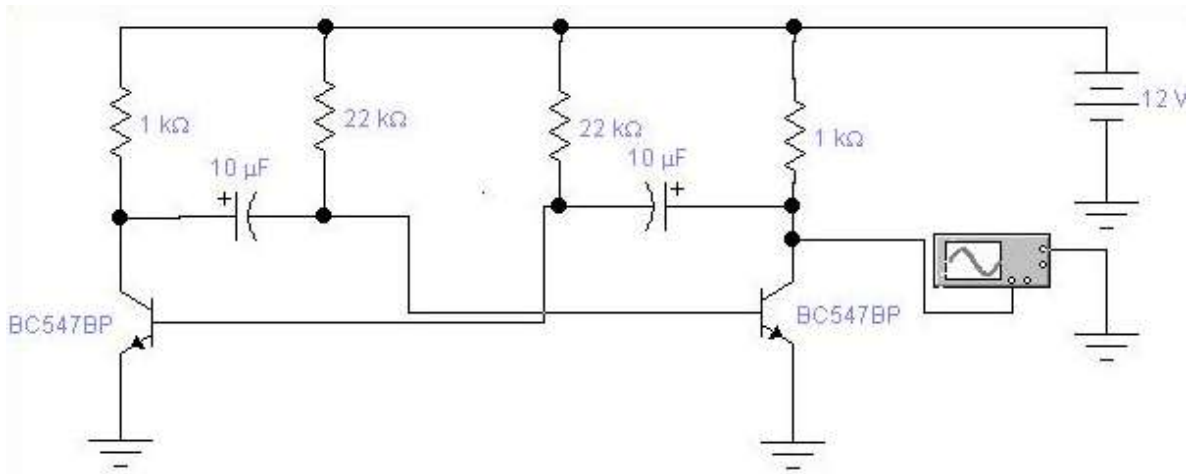
Señales obtenidas en la base y en el colector del transistor T2



3. MULTIVIBRADOR ASTABLE

El circuito astable tiene dos estados semiestables, sin necesidad de una señal de disparo, la configuración astable pasará sucesivamente de un estado semiestable al otro. Es esencialmente un oscilador y se emplea como generador de ondas cuadradas.

En el circuito de la figura se tiene un MV astable acoplado por colector, la variación del voltaje de alguno de los colectores se acopla capacitivamente a la base del transistor opuesto, provocando una transición temporal del estado del MV. Como ninguno de los transistores puede permanecer cortado o prendido indefinidamente, ambos estados son semiestables, obteniéndose en cualquier colector un tren periódico de pulsos aproximadamente rectangulares sin necesidad de aplicar un pulso de disparo.



El periodo de la señal cuadrada se calcula con base en los tiempos de descarga de los condensadores:

$$T_1 = 0.69 R_{B1} C_1, \quad T_2 = 0.69 R_{B2} C_2, \quad T = T_1 + T_2, \quad f = 1 / T$$

EJEMPLO 1:

Para los valores dados en el circuito anterior, $R_{B1} = R_{B2} = 22 \text{ K}$. $C_1 = C_2 = 10 \text{ uF}$

$$T_1 = T_2 = 0.69 \cdot 22 \text{ e}3 \cdot 10 \text{ e-}6 = 0.1518 \text{ sg} \approx 152 \text{ msg}$$

$$T = T_1 + T_2 = 152 + 152 = 304 \text{ msg}$$

Ciclo de trabajo:

En este ejemplo, $T_1 = T_2$, el ciclo de trabajo es del 50% es una señal simétrica. En general,

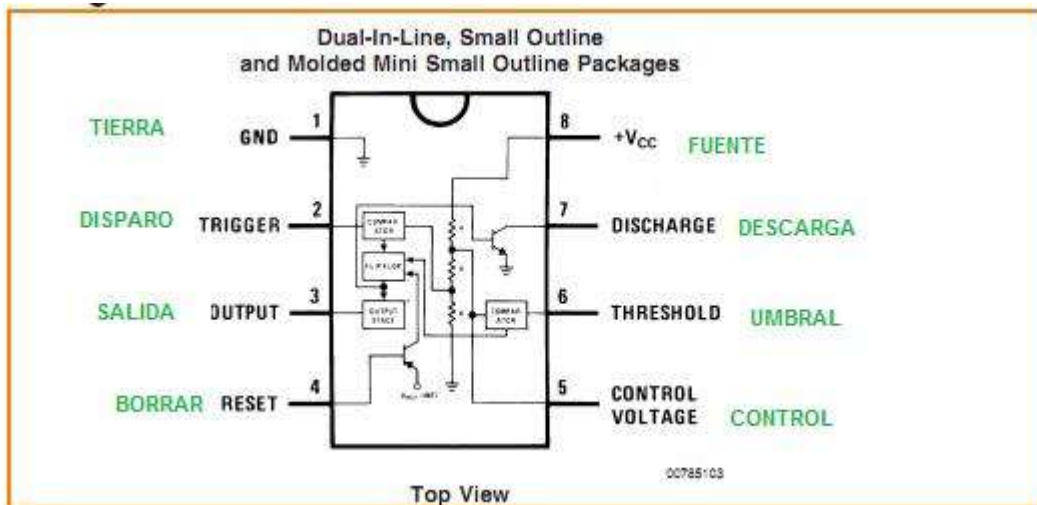
Ciclo de trabajo = $T_1 / (T_1 + T_2)$ y se da en porcentaje.

La señal obtenida en el colector del transistor T2 es la siguiente:



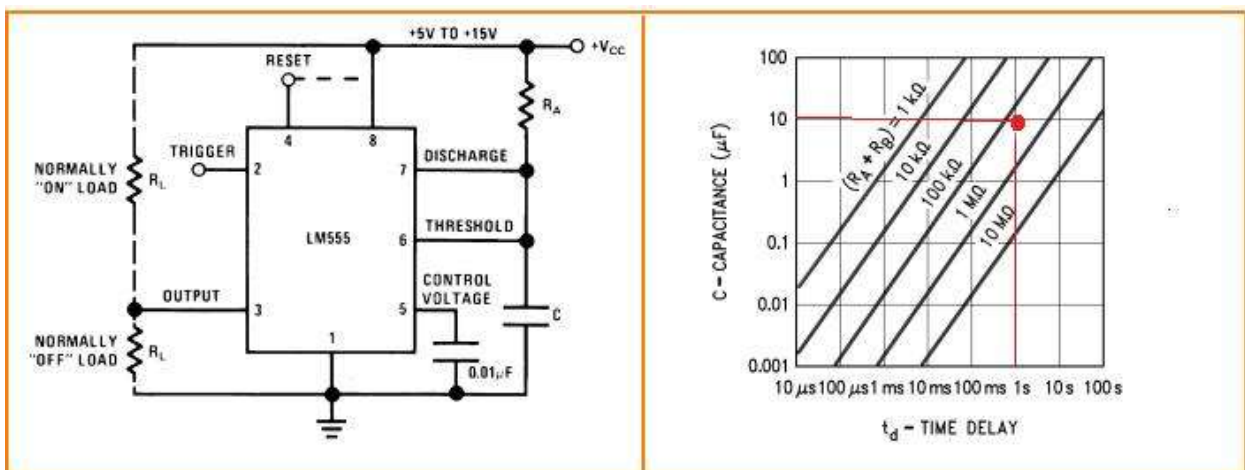
4. EL CIRCUITO INTEGRADO 555

El [555](#) es un circuito integrado de 8 pines altamente estable que puede producir retardos (operando como monostable) y oscilaciones (operando como astable) bastante precisas. Puede generar frecuencias hasta los 500 KHz y retardos de los microsegundos a horas. El ciclo de trabajo (duty) es ajustable. Puede entregar hasta 200 mA. La fuente puede estar entre 5V y 15V



A. CONEXIÓN COMO MONOSTABLE

La siguiente es la conexión básica de la conexión del circuito integrado 555 como multivibrador monostable.



El monostable se dispara con un pulso negativo por el pin 2 (Trigger). Para el disparo en estado estable este pin debe estar conectado a VCC. El pin 4 (reset) si no se va utilizar debe conectarse a VCC para no tener disparos falsos. Al dispararse el circuito, este permanece en estado alto un tiempo que depende del valor de la resistencia R_A y del valor del condensador C . Después de este tiempo vuelve a su estado estable de nivel bajo. Su tiempo se calcula por la ecuación:

$$T = 1.1 \cdot RA \cdot C$$

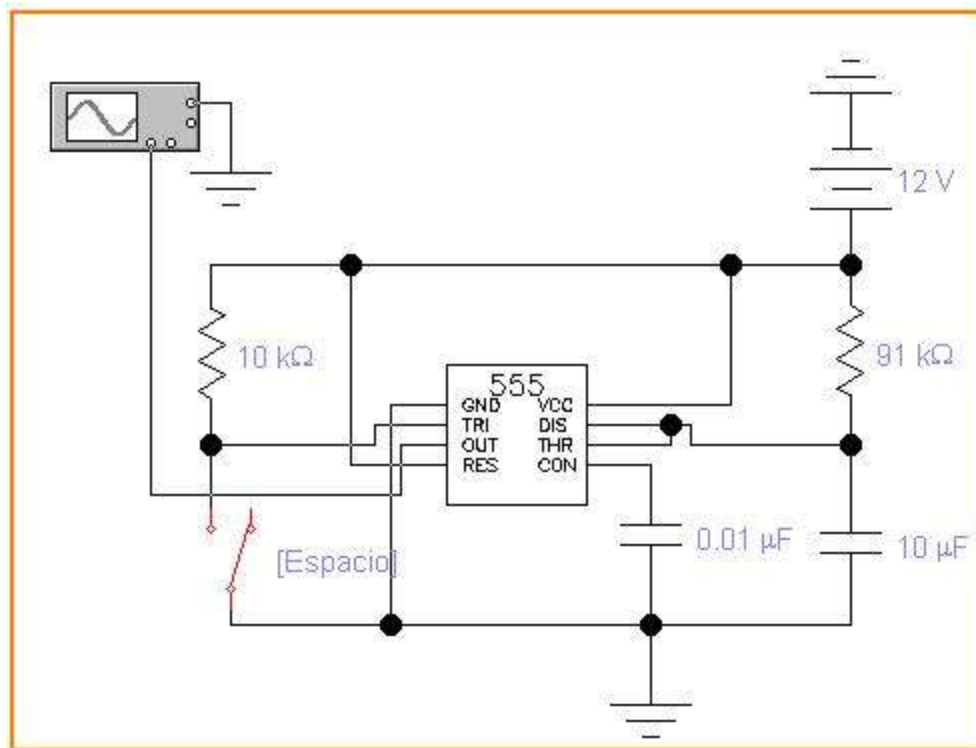
Para el diseño el fabricante nos ayuda con la gráfica de la derecha donde se nos dan los valores aproximados para obtener RA y C para tiempos de retardo entre 10 usg y 100 usg.

EJEMPLO 2:

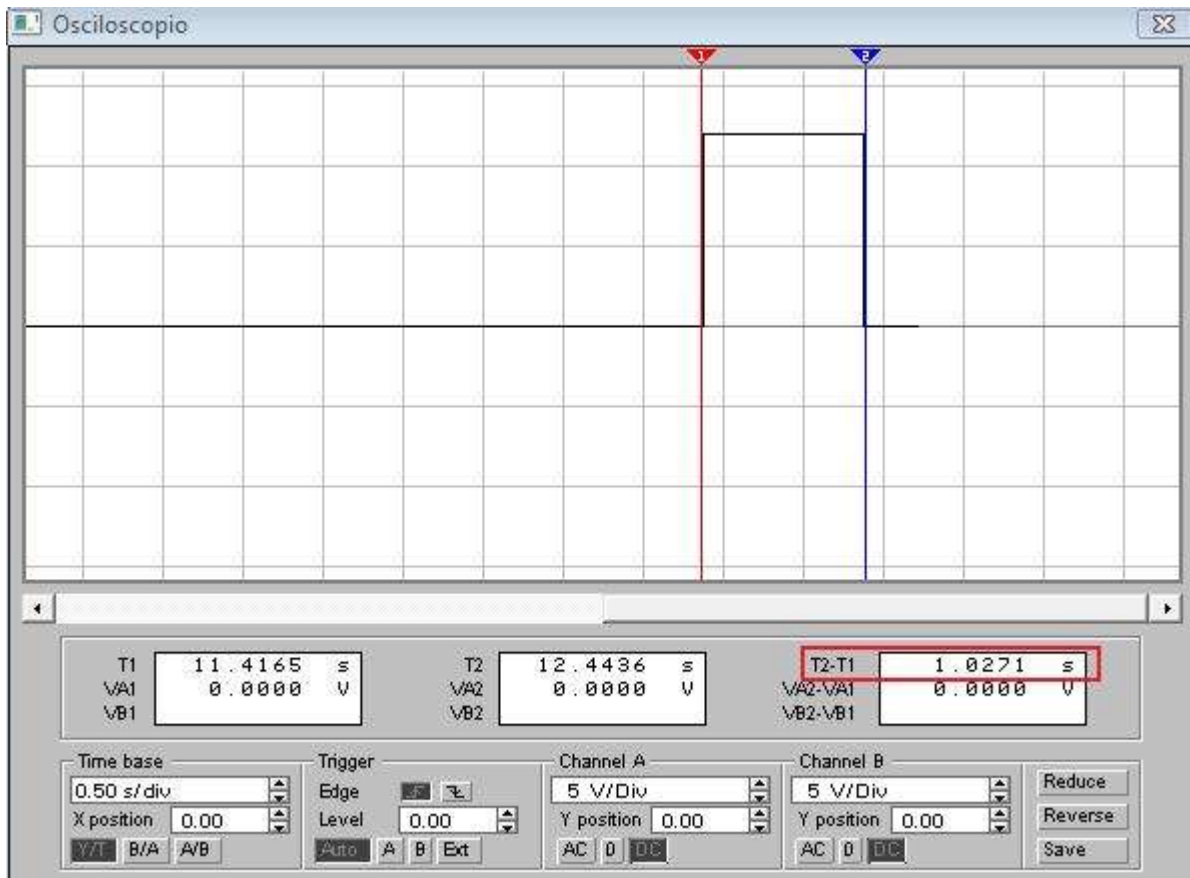
Para un retardo o temporización de 1 usg, de la gráfica se puede sacar que para un C=10 uF la resistencia RA es aprox de 100 K, su valor exacto se obtiene aplicando la ecuación anterior:

T = 1 usg, C= 10uF, despejando RA,

$$RA = 1 / (1.1 \cdot T \cdot C) = 1 / (1.1 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 10^{-6}) = 90909 \approx 91 \text{ K}\Omega$$



La señal de salida obtenida en la salida del pin 3 (Out) es la que se muestra a continuación, donde se observa el pulso con una duración aproximada de 1.0 usg.



Estos circuitos son muy utilizados para construir retardadores o temporizadores electrónicos para controlar equipos para que se enciendan un tiempo determinado y luego se apaguen automáticamente.

B. MULTIVIBRADOR ASTABLE

El astable diseñado mediante el circuito integrado 555 se presenta en la figura siguiente. El condensador C se carga (salida alta) a través de RA + RB y se descarga (salida baja) a través de RB. El ciclo de trabajo dependerá de estas resistencias. Estos tiempos son iguales a:

$$t_1 = 0.693(RA+RB)C$$

$$t_2 = 0.693(RB)C$$

El periodo de la señal generada es,

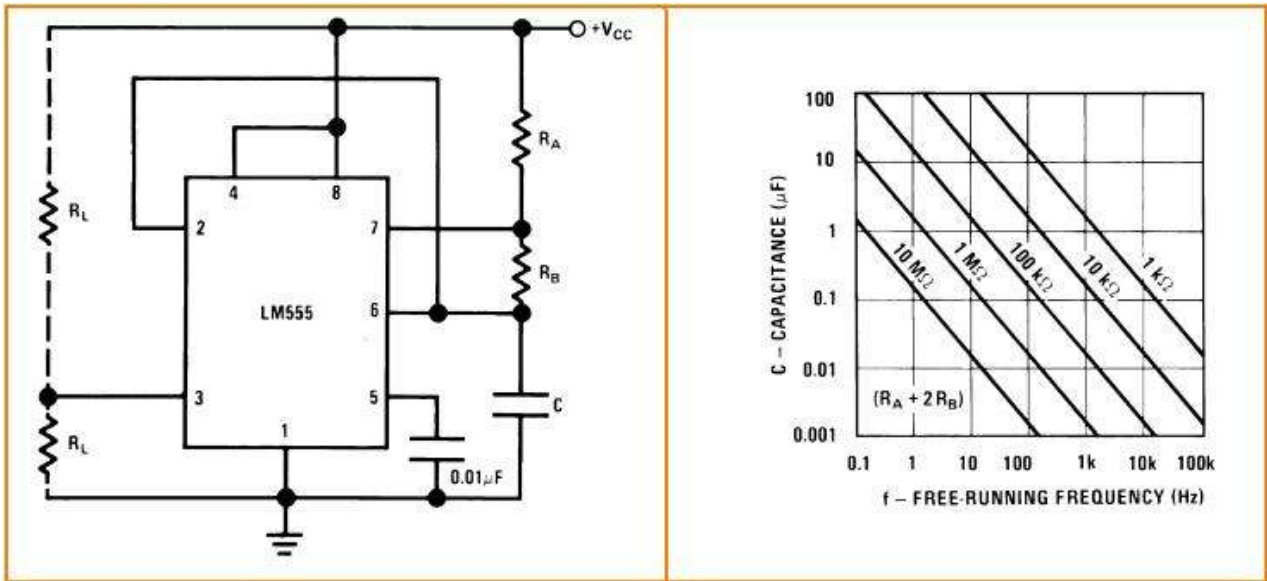
$$T = t_1 + t_2 = 0.693(R_A + 2R_B)C$$

La frecuencia de oscilación es el inverso del periodo igual a,

$$f = 1/T \quad f = 1.44/(R_A + 2R_B)C$$

El ciclo de trabajo (Duty) es,

$$D = R_B/(R_A + 2R_B)$$



EJEMPLO 3:

Se quiere diseñar un oscilador astable que genere una frecuencia de 10 KHz, o sea, un periodo de $0.1 \text{ ms} = 100 \text{ μs}$, de tal forma que el tiempo de nivel bajo ($=0\text{V}$) sea de 40 μs y el nivel alto ($=12\text{V}$) de 60 μs .

$$t_1 = 40 \text{ μs} = 0.693 R_B \cdot C$$

De las curvas del fabricante para 10 KHz se puede escoger un condensador de $C=0.1 \text{ μF}$,

$R_B = 40 \text{ usg} / (0.693 * 0.1 \mu\text{F})$, $R_B = 40 \text{e-}6 / (0.693 * 0.1 \text{e-}6) = 577$, se escoge un valor comercial de $R_B = 560 \Omega$

$t_2 = 60 \text{ usg} = 0.693(R_A + R_B) * C$, despejando,

$R_A + R_B = 60 \text{ usg} / (0.693 * C)$

$R_A + R_B = 60 \text{e-}6 / (0.693 * 0.1 \text{e-}6) = 865$,

$R_A = 865 - R_B = 865 - 560 = 305$, se escoge un valor de $R_A = 330 \Omega$

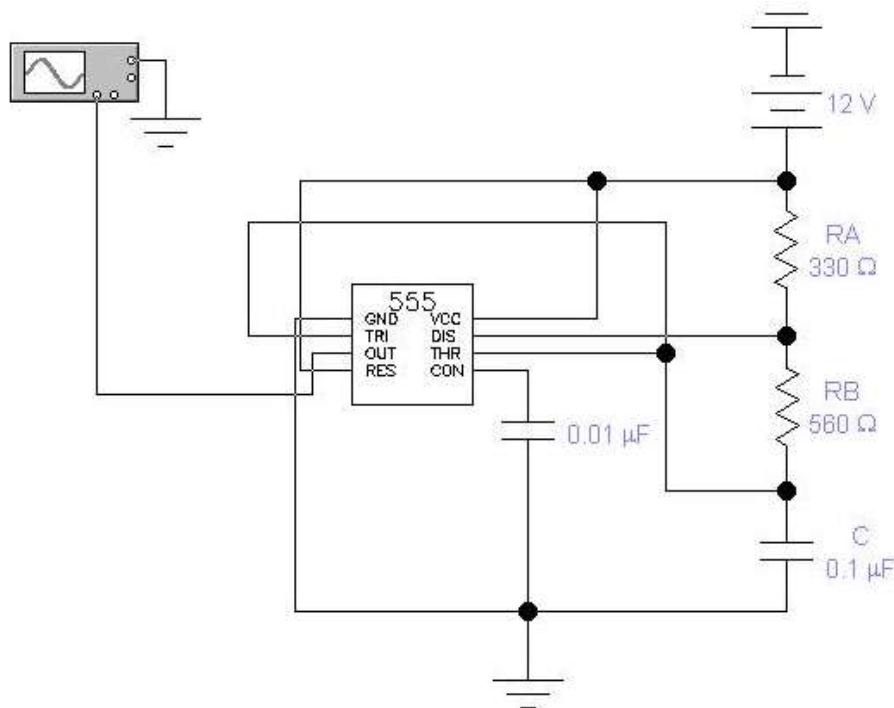
El ciclo de trabajo es:

$D = R_B / (R_A + 2R_B) = 560 * 100\% / (330 + 2 * 560) = 38.6\%$

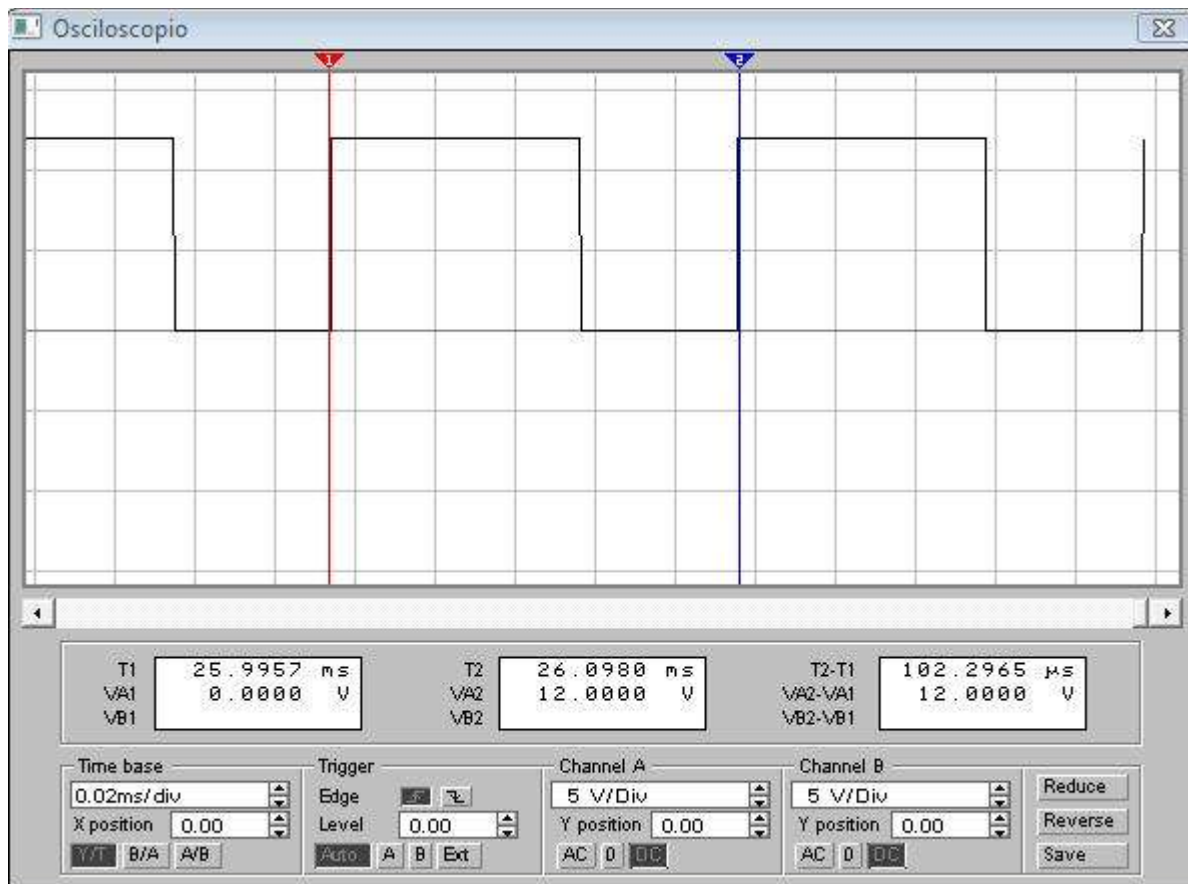
Teóricamente el ciclo de trabajo sería igual a:

$D = 40 \text{ usg} / (40 \text{ usg} + 60 \text{ usg}) = 40 \text{ usg} / 100 \text{ usg} = 40\%$

El circuito a implementar es el siguiente:



La señal generada se muestra a continuación,

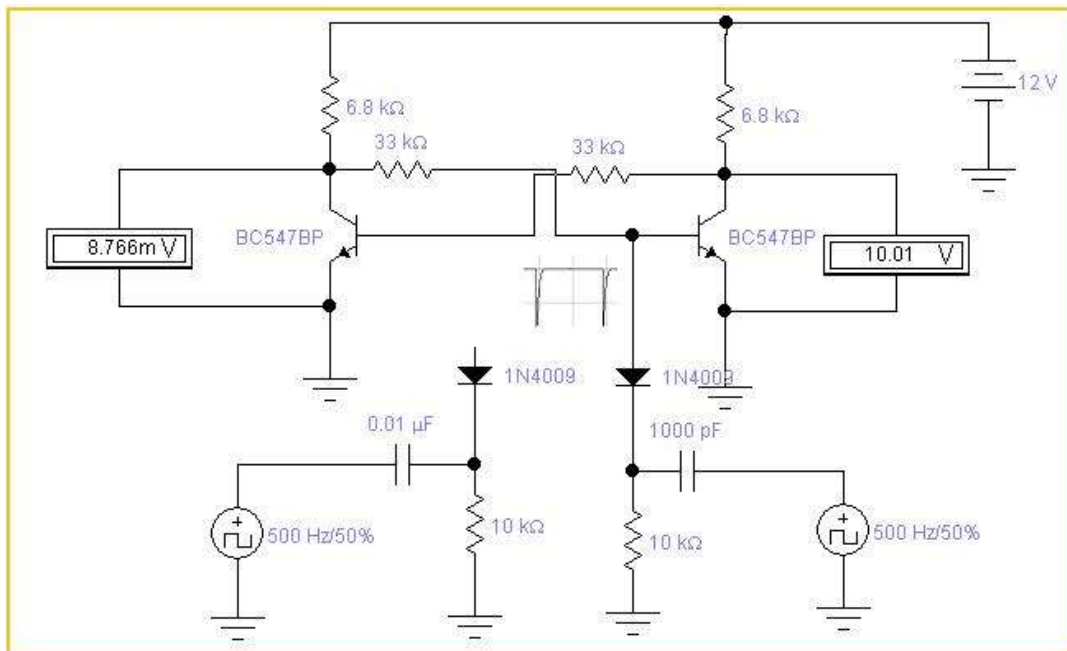


CURSO: ELECTRÓNICA BÁSICA

UNIDAD 4: MULTIVIBRADORES - SIMULACIÓN

PASO 1: MULTIVIBRADOR BISTABLE

En el simulador workbench implemente el multivibrador bistable acoplado por colector y disparado por la base.



Coloque los voltímetros en los colectores y circuito de disparo en la base del transistor T2, anote las mediciones de los voltajes de colector emisor:

VCE1 = VCE2 =

Indique el estado estable de los transistores.

T1 : CORTE o SATURACIÓN, T2 : CORTE o SATURACIÓN

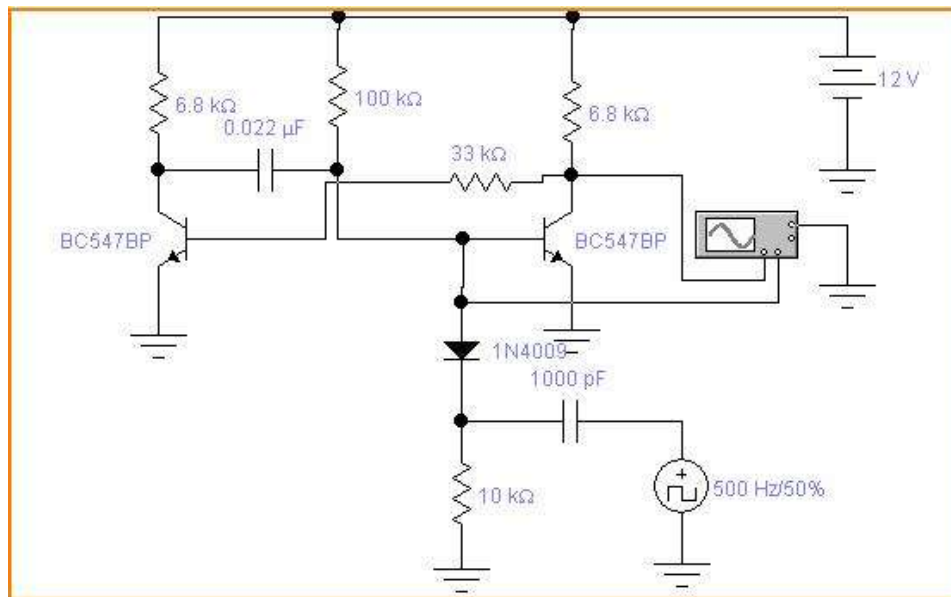
Haga el disparo por la base de T1 y repita lo anterior.

VCE1 = VCE2 =

T1: CORTE o SATURACIÓN, T2: CORTE o SATURACIÓN

PASO 2: MULTIVIBRADOR MONOSTABLE

Implemente el circuito monostable acoplado por colector de la figura. $R_B=100K$, $C=0.022\mu F$



(a) Calcule el tiempo de retardo producido por el circuito al hacer el disparo por la base del transistor T2 por una fuente de pulsos generados a una frecuencia de 500 Hz. Observe la señal en el osciloscopio conectado en el colector del transistor T2 en el canal A. Compare esta señal con la observada en la base conectada en el canal B del osciloscopio.

T =

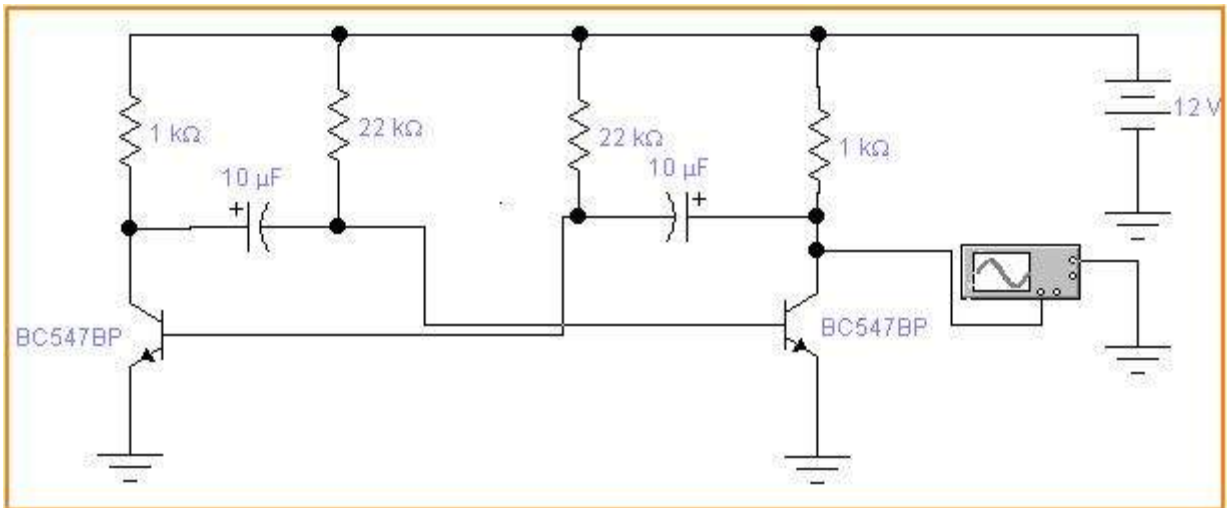
(b) Repita paso (a) con otro valor de condensador y recalcule el retardo generado.

C =

T =

PASO 3: MULTIVIBRADOR ASTABLE

(a) Simule el circuito astable acoplado por colector de la figura. $R_{B1}=R_{B2}=22K$, $C_1=C_2=10\ \mu F$



Calcule los valores de los tiempos T_1 y T_2 , la frecuencia de la oscilación y el ciclo de trabajo.

$T_1 =$ $T_2 =$ $T =$ $f =$ $D =$

(b) Varíe los condensadores y repita paso anterior (a)

$C_1 =$ $C_2 =$

$T_1 =$ $T_2 =$ $T =$ $f =$ $D =$

PASO 4: CIRCUITO INTEGRADO 555

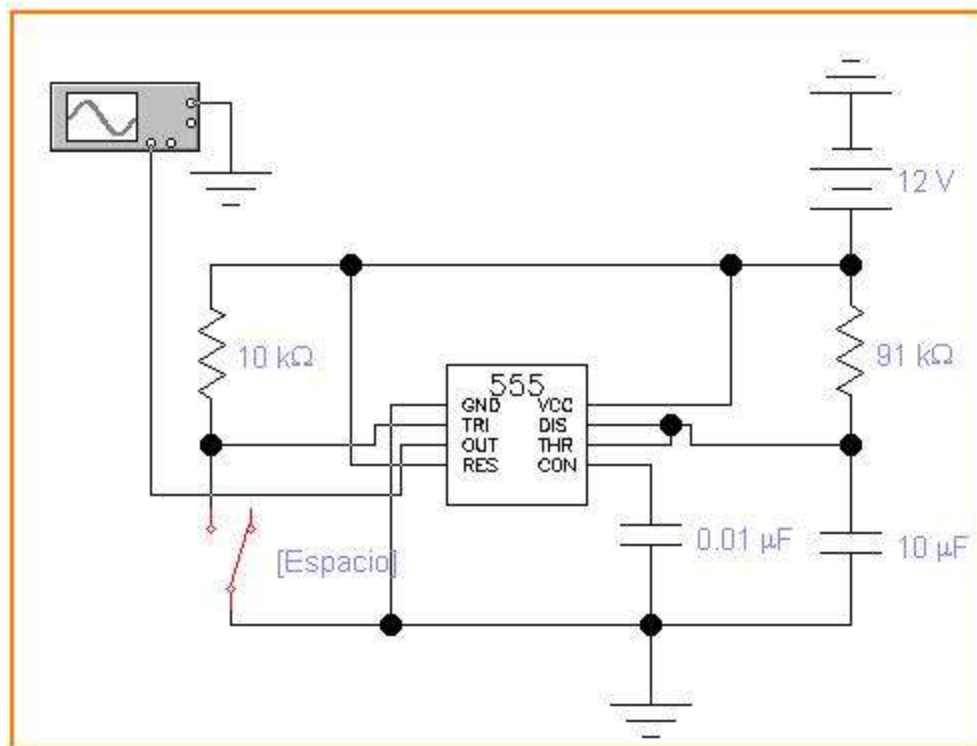
(a) Simule el siguiente circuito monostable con $R_A=91\ k\Omega$ y $C = 10\ \mu F$. Observe la señal de salida con el osciloscopio conectado en el colector del transistor T2. Conecte como circuito de dispar una resistencia de $10K$ y un pulsador o interruptor. Este interruptor está normalmente abierto y se simula cerrándolo con la

barra espacio del teclado del computador, debe estar activa (en rojo como se aprecia en la figura). Calcule el tiempo de retardo.

T =

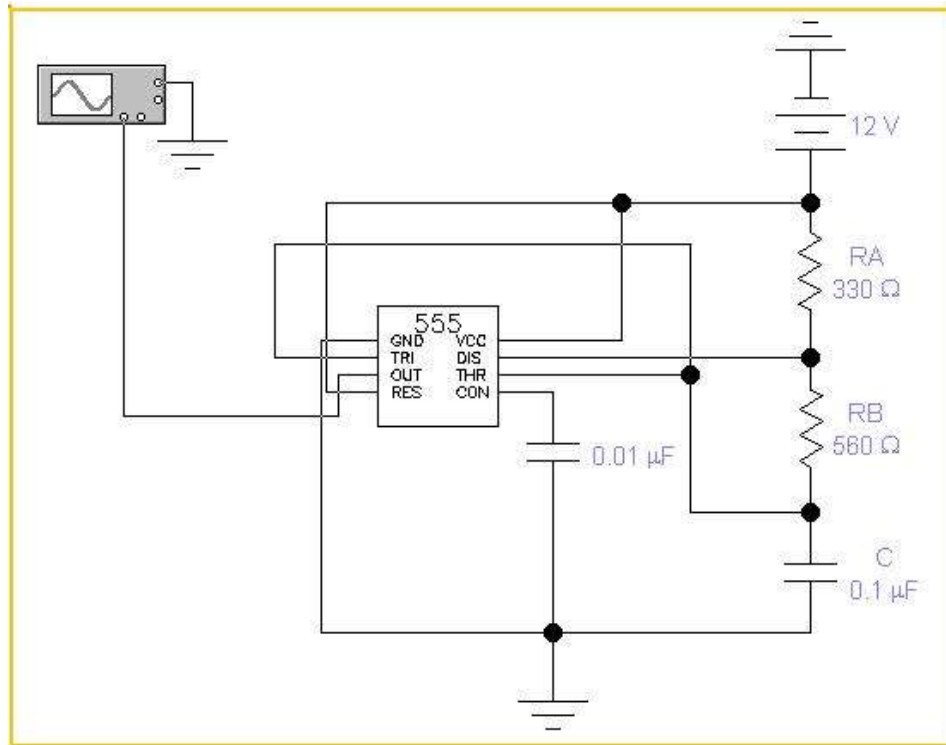
(b) Utilizando las curvas dadas por el fabricante y la ecuación para calcular el retardo, encuentre los valores de RA y C para tener un retardo de 100 ms.

RA = C = T =



(d) Simule el circuito astable de la figura. Calcule los tiempos t1 y t2, el periodo T, la frecuencia f y el ciclo de trabajo D.

t1 = t2 = T = f = D =



(e) Repita paso anterior para obtener una señal de 1 KHz con ciclo de trabajo del 50%

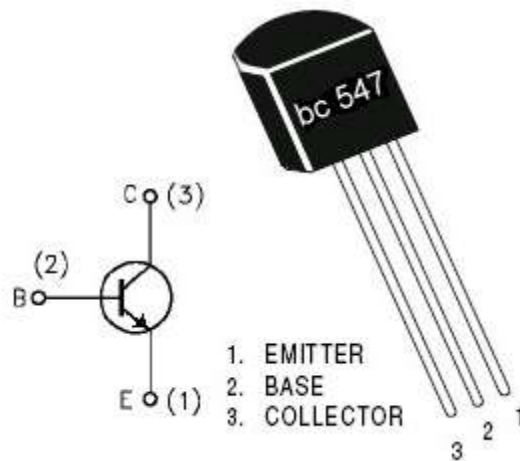
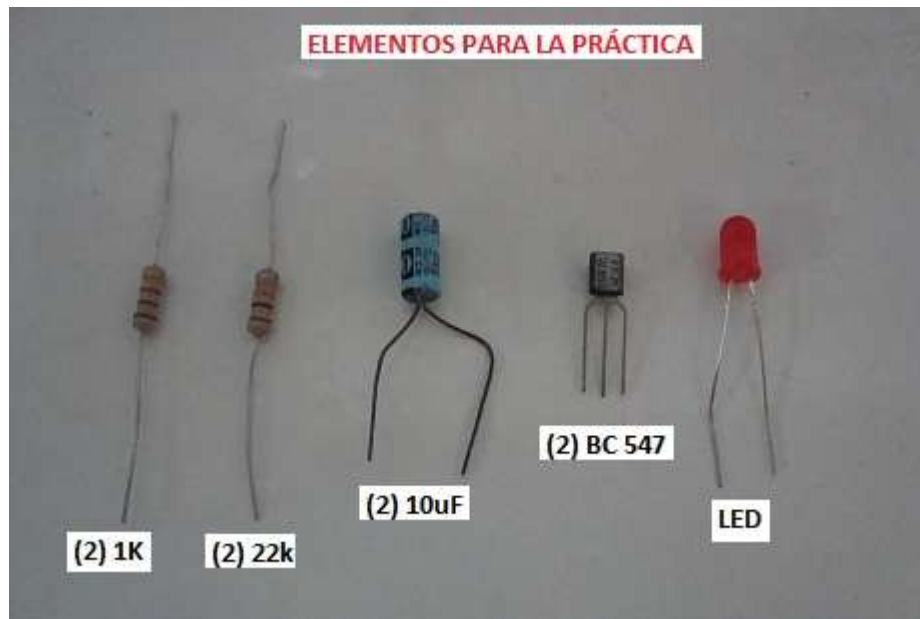
C = RA = RB =

t1 = t2 = T = f = D =

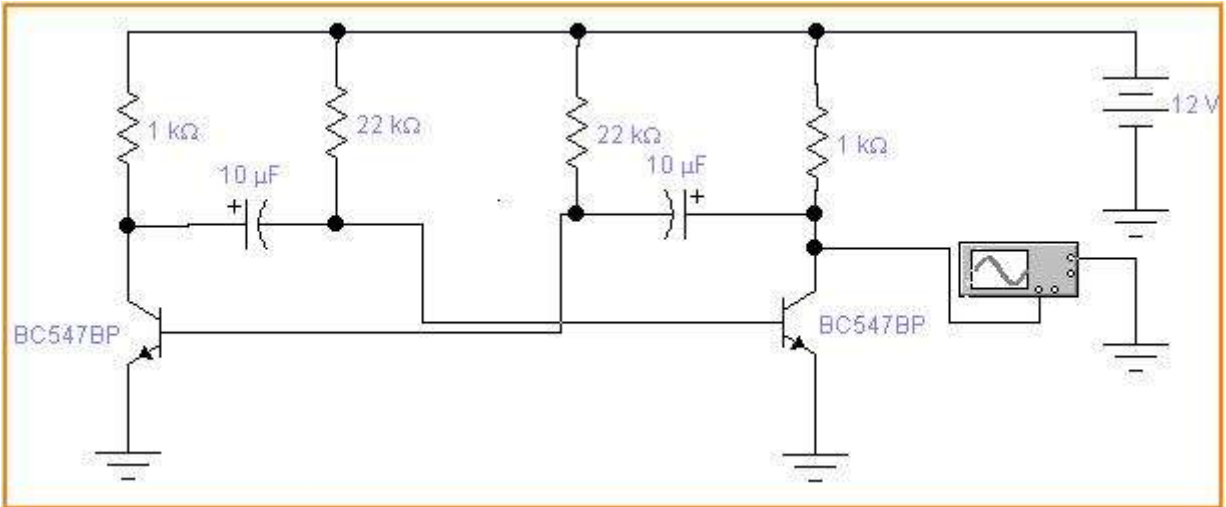
CURSO: ELECTRÓNICA BÁSICA

UNIDAD 4: MULTIVIBRADORES - LABORATORIO

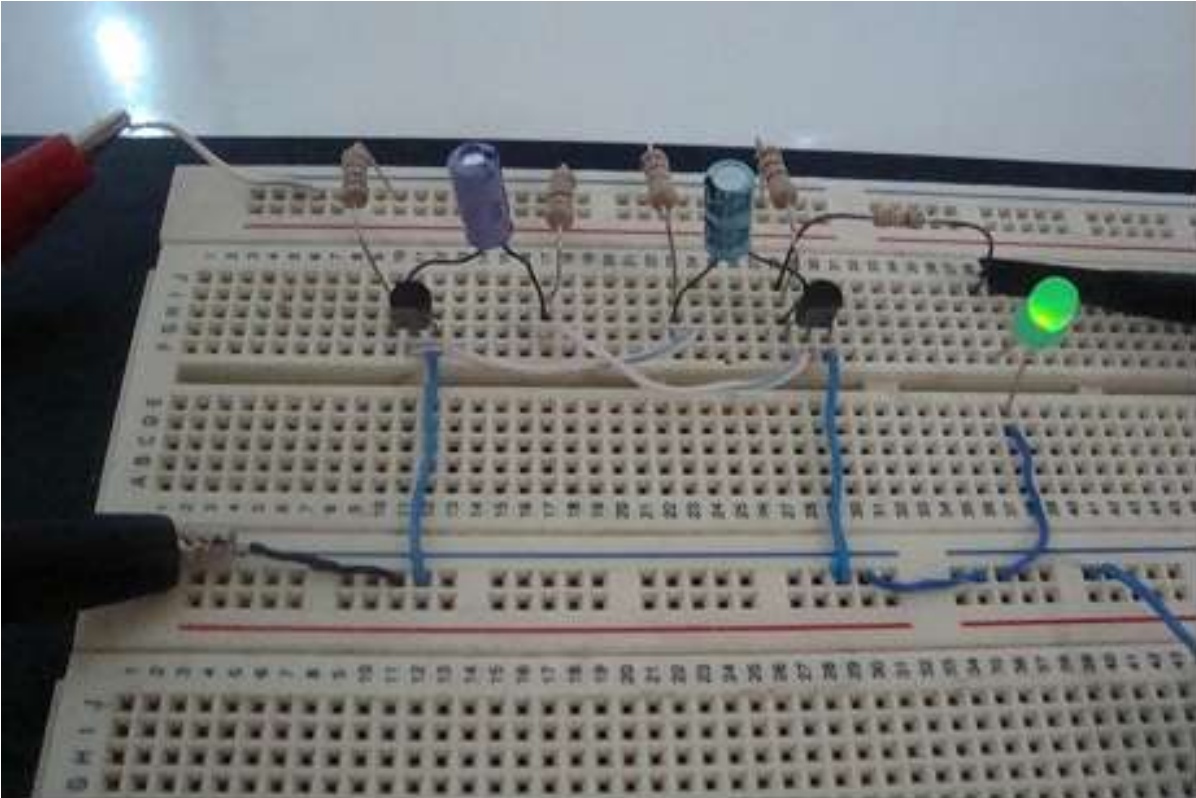
PASO 1: MULTIVIBRADOR ASTABLE



Realice el montaje del circuito astable acoplado por colector de la figura. $R_{B1}=R_{B2}=22K$, $C_1=C_2=10\text{ uF}$, $V_{CC}=12V$, transistores BC547



A la salida de nuestro circuito agregamos una resistencia y un led para observar las oscilaciones



Calcule los valores de los tiempos T1 y T2, la frecuencia de la oscilación y el ciclo de trabajo.

T1 = T2 = T = f = D =

Compare con los resultados prácticos y concluya.

(b) Varíe los condensadores y repita paso anterior (a)

C1 =

C2 =

T1 =

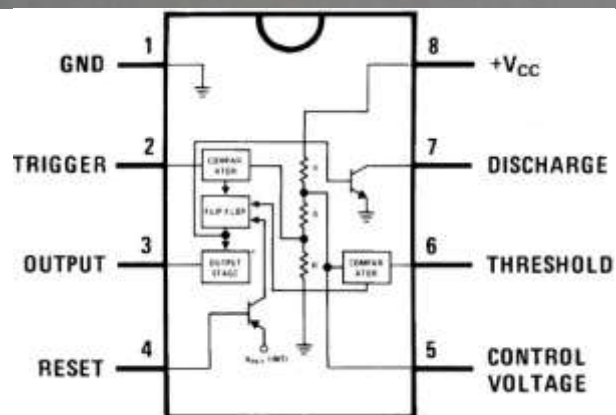
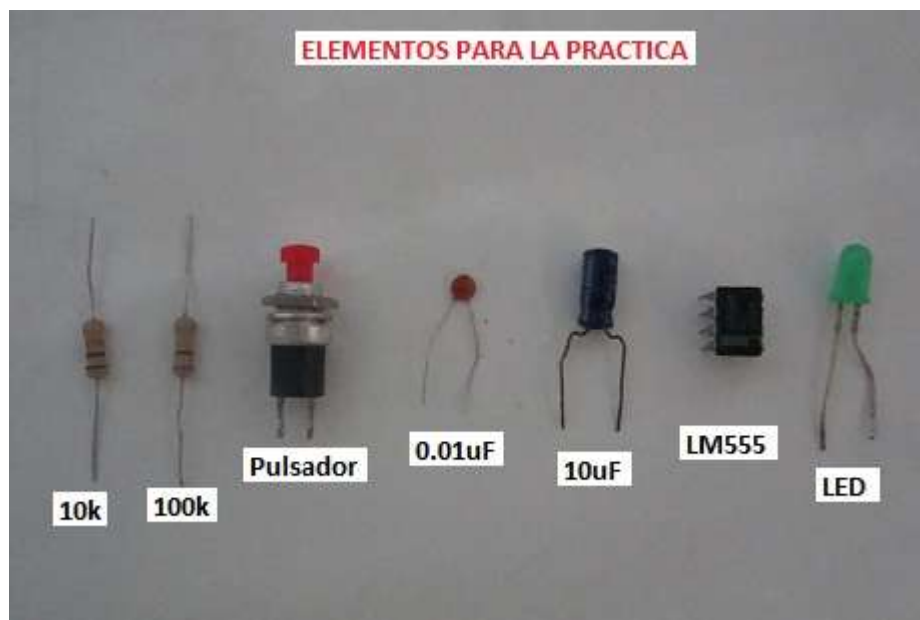
T2 =

T =

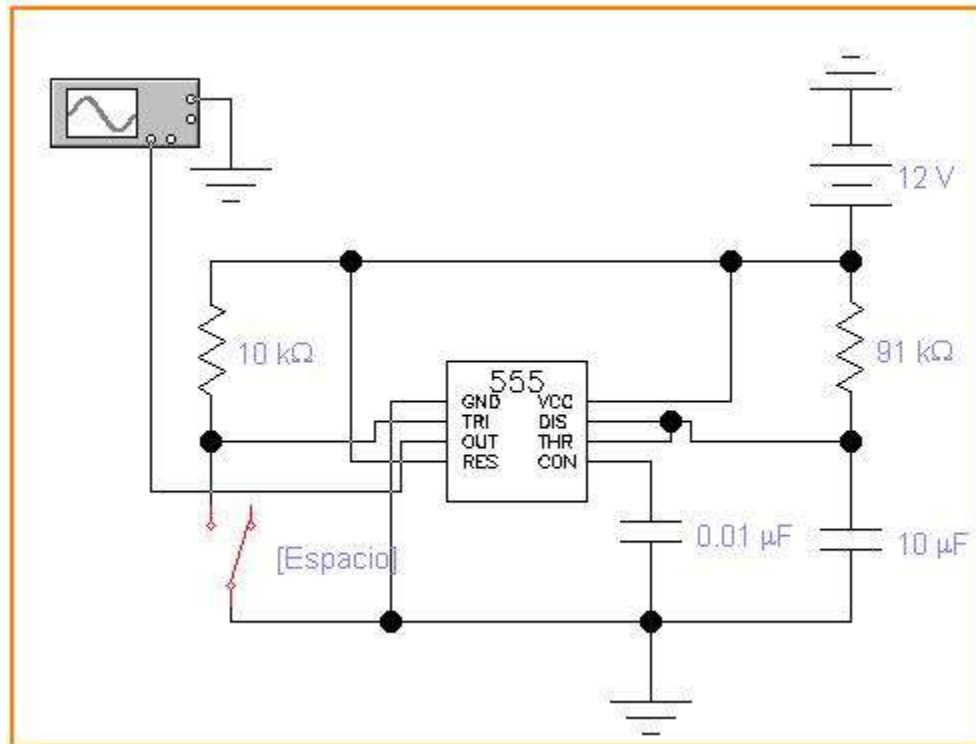
f =

D =

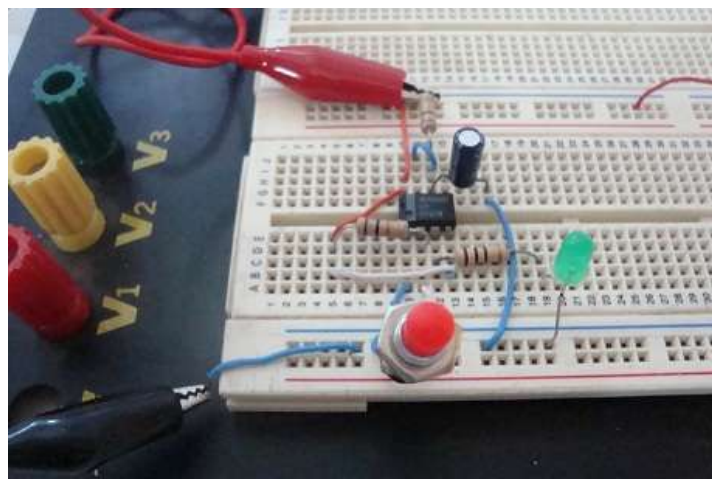
PASO 2: CIRCUITO MONOSTABLE CON EL 555



Realice el montaje del siguiente circuito monostable con $R_A=91k$ y $C = 10 \mu F$. Observe la señal de salida con un diodo led conectado en el pin 3 (out). Conecte como circuito de disparo una resistencia de $10K$ y un pulsador o interruptor.



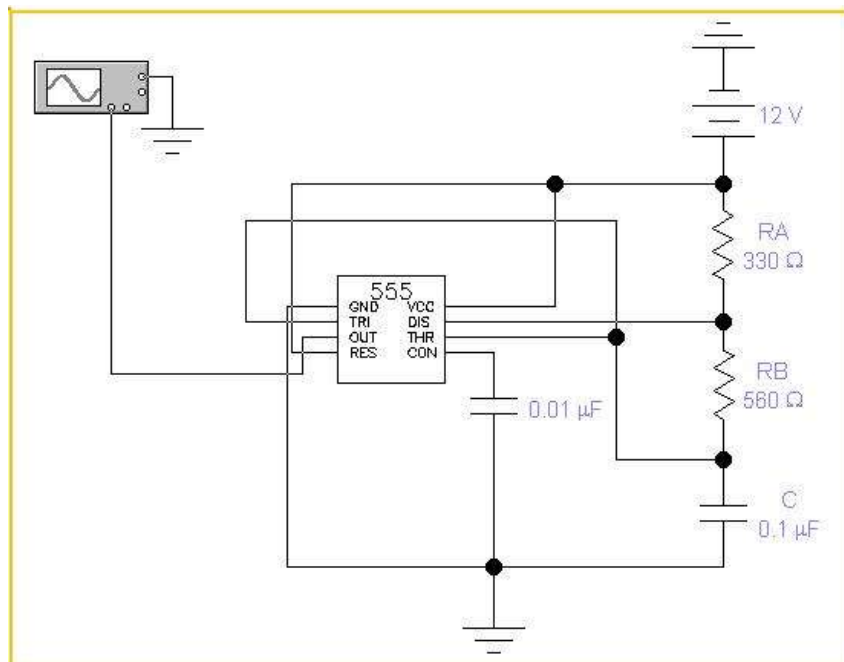
Contabilice el tiempo que dura encendido el led, varíe los valores de R y C para tener disparos de 5 segundos.



PASO : CIRCUITO ASTABLE CON EL 555

(a) Implemente el circuito astable de la figura. Calcule los tiempos t_1 y t_2 , el periodo T , la frecuencia f y el ciclo de trabajo D .

$t_1 =$ $t_2 =$ $T =$ $f =$ $D =$



(b) Repita paso anterior con los valores de $C = 100\mu\text{f}$, $R_A = 390$, $R_B = 15\text{k}$, agregue un led a la salida y note que éste alumbrará durante 1 segundo con ciclo de trabajo del 50%.

