

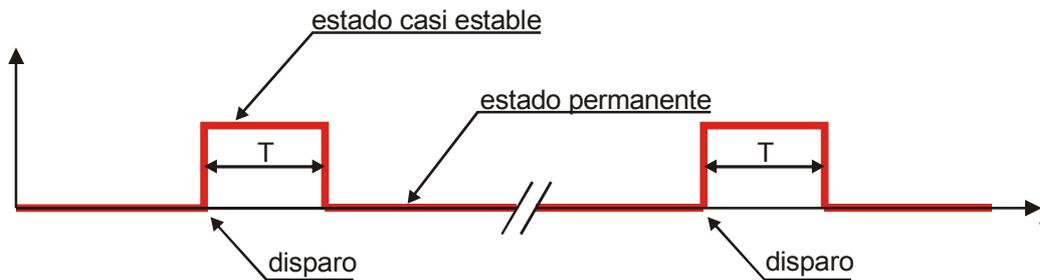


1. INTRODUCCION

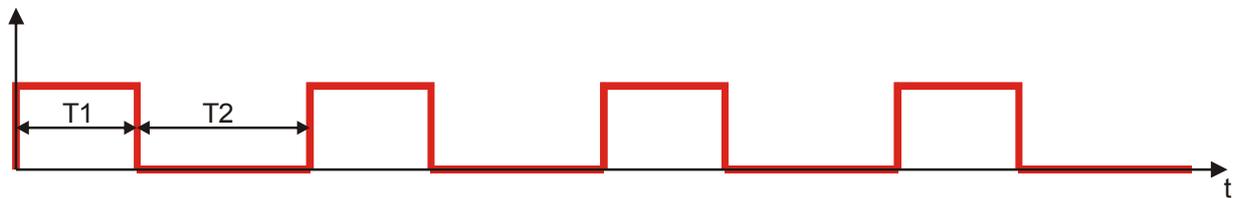
Una de las necesidades más habituales en los sistemas de control o en circuitos electrónicos en general, es la de generar “intervalos de tiempo”. Estos intervalos de tiempo se utilizan para fines varios: retrasar las variables de entrada o salida de un automatismo, para activar o desactivar una salida durante un cierto tiempo, generar una señal de reloj, etc. Para estas funciones se recurre a los circuitos denominados *temporizadores* o también *osciladores*.

Básicamente hay dos clasificaciones para los temporizadores u osciladores: *monoestables* y *astables*:

- **Temporizador Monoestable:** en el temporizador monoestable se requiere una señal de activación o disparo para generar la temporización. La salida de este temporizador posee dos estados: un estado casi estable, y un estado permanente. Esto es, en ausencia de la señal de disparo, la salida del temporizador se encuentra en su estado estable (supongamos que sea un 0 lógico). Al disparar el temporizador, la salida pasa al estado casi estable (supongamos que sea un 1 lógico), pero luego de un determinado tiempo retornará a su estado estable sin necesidad de una señal externa, y permanecerá en dicho estado hasta tanto no se aplique otra señal de disparo.

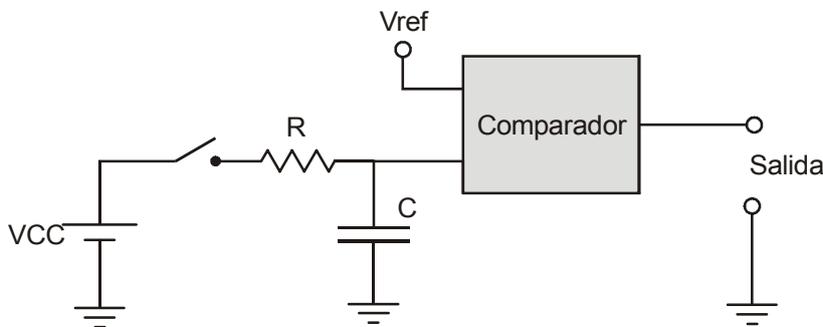


- **Temporizador Astable:** la salida del oscilador astable también posee dos estados, pero los dos son casi estables. Sin necesidad de una señal externa de disparo, el oscilador astable hará sucesivas transiciones de un estado casi estable al otro. A este tipo de oscilador se lo utiliza como generador de ondas cuadradas, o de formas de onda de reloj (clock). Los tiempos T_1 y T_2 pueden ser distintos o pueden ser iguales.



Los temporizadores anteriores, desde el punto de vista de su construcción y tratamiento de las variables a temporizar, pueden clasificarse en analógicos y en digitales:

- **Temporizadores analógicos:** basan su funcionamiento en la carga o descarga de un capacitor con una determinada constante de tiempo, y de un circuito comparador de tensión:



Cuando el contacto se cierra, el capacitor comienza a cargarse con una constante de tiempo $T = R \times C$. El comparador es un circuito que detecta un nivel fijo de tensión V_{ref} , cuando la tensión en el capacitor alcance el valor de V_{ref} , la salida del comparador cambiará bruscamente su valor (de 1 a 0 o viceversa). Para este caso, la tensión en el capacitor esta dada por:

$$V_c(t) = V_{cc} \left(1 - e^{-t/RC} \right)$$



El tiempo T de temporización será el que transcurra desde que se cierra el interruptor hasta que $V_c(t) = V_{ref}$, entonces:

$$V_{ref} = V_{cc} \left(1 - e^{-T/RC}\right)$$

Entonces, despejando T :

$$T = RC \times \ln\left(\frac{V_{cc}}{V_{cc} - V_{ref}}\right)$$

Podemos ver en la expresión anterior que el tiempo de temporización dependerá:

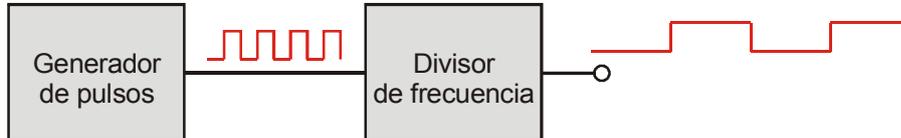
- De los valores de los componentes R y C .
- De la tensión de referencia o comparación V_{ref} .
- De la tensión de alimentación V_{cc} .

En la práctica se ajusta el tiempo T de temporización mediante la selección de los valores de R y C , manteniendo constante las otras variables V_{ref} y V_{cc} . La exactitud de este tipo de temporizadores dependen de las tolerancias de R y C (valores típicos son 1% de error debido a tolerancia de R , y no menos de 5% de error respecto a C), aunque también dependerá de las variaciones de tensión que pueda tener la fuente de alimentación V_{cc} , por lo que en estos temporizadores es aconsejable el uso de fuentes de alimentación reguladas que entreguen una tensión lo mas estable posible. La exactitud de estos temporizadores también es bastante afectada por las variaciones de las condiciones ambientales (humedad y mayormente temperatura ambiente).

En el modo monoestable, estos temporizadores no se utilizan para tiempos mayores a 5 minutos, ya que mayores tiempos son inestables debido a las pérdidas propias del capacitor. En el modo astable, se pueden utilizar para generar señales de reloj de no más de 1 MHz.

• **Temporizadores digitales:**

Los temporizadores digitales se utilizan para generar tiempos precisos ya sea en intervalos de tiempo de corta o larga duración. Básicamente están conformados por un generador de pulsos de buena precisión, y un divisor de frecuencia a base de flip flops.



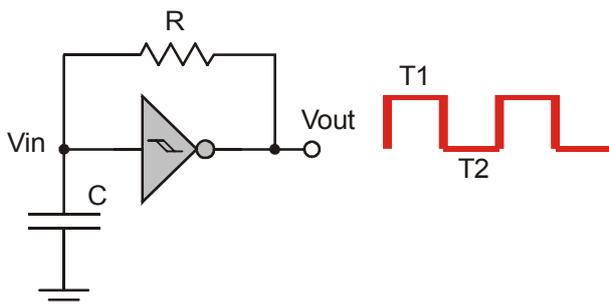
Para el generador de pulsos se suelen utilizar resonadores cerámicos para frecuencias de hasta 1 MHz, y cristales de cuarzo para frecuencias de 30 KHz a 200 MHz. En estos se aprovechan las propiedades piezoeléctricas del cuarzo, y, según el corte que se efectúe al cristal, se obtiene la frecuencia de oscilación deseada.

Los osciladores en base a cristal poseen una muy buena estabilidad en frecuencia (valores típicos son no mas de 50 ppm o partes por millón), y también presentan una buena estabilidad con respecto a la temperatura ambiente.

2. EJEMPLOS DE CIRCUITOS TEMPORIZADORES

2.1. Oscilador RC con compuerta

Este es uno de los osciladores más sencillos de realizar. Se basa en una compuerta inversora a la que se le adiciona una resistencia y un capacitor. El circuito típico es el siguiente:





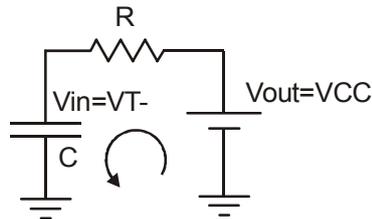
Este oscilador genera una señal de reloj cuyo período T es la suma de T_1 y T_2 . Para calcular estos tiempos, debemos considerar los siguientes parámetros:

- Valores de R y C .
- Características de la compuerta.
- Tensión de alimentación.

Supongamos que como compuerta utilizamos una Schmitt - Trigger con una tensión de alimentación de 5V. De la hoja de datos, obtenemos que para 5V de alimentación las tensiones de histéresis de la compuerta son:

- $V_{T+} = 3,6V$
- $V_{T-} = 1,4V$

Analicemos ahora el circuito. Consideremos al capacitor inicialmente cargado a un valor V_{T-} , por lo que en la entrada V_{in} de la compuerta tenemos un 0 lógico. Al ser una compuerta inversora, en la salida V_{out} tendremos un 1 lógico o 5V. Resulta entonces que el capacitor se comenzará a cargar desde V_{out} a través de la resistencia R :



La tensión V_{in} evolucionará con el tiempo según la siguiente expresión:

$$V_{in}(t) = V_{cc} + [(V_{T-}) - V_{cc}] e^{-t/RC}$$

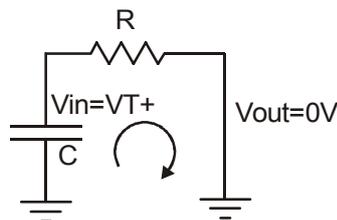
Pero el capacitor no se cargará indefinidamente, sino que lo hará hasta el momento en que $V_{in}(t)$ alcance la tensión de histéresis V_{T+} , hecho que ocurrirá en el tiempo T_1 . Es decir, cuando $V_{in}(t)$ sea igual a V_{T+} , el tiempo será igual a T_1 . Reemplazando en la expresión de carga del capacitor:

$$V_{T+} = V_{cc} + [(V_{T-}) - V_{cc}] e^{-T_1/RC}$$

Despejando T_1 :

$$T_1 = RC \times \ln \left(\frac{(V_{T-}) - V_{cc}}{(V_{T+}) - V_{cc}} \right)$$

A partir de este momento T_1 , la entrada de la compuerta pasa a ser un 1 lógico, por lo que la salida V_{out} pasa a ser un 0 lógico o 0V. En esta situación, el circuito equivalente resulta ser el de un capacitor cargado a una tensión V_{T+} , que se está descargando a través de la resistencia R :



En este caso, la ecuación que representa la descarga del capacitor es:

$$V_{in}(t) = (V_{T+}) \times e^{-t/RC}$$

La tensión $V_{in}(t)$ del capacitor irá decayendo, pero no hasta 0V sino hasta el punto en que se alcance la tensión de histéresis V_{T-} , cosa que ocurrirá en el tiempo T_2 . Es decir, cuando $V_{in}(t)$ decaiga hasta V_{T-} , el tiempo será igual a T_2 . Reemplazando en la expresión:

$$(V_{T-}) = (V_{T+}) \times e^{-T_2/RC}$$

Despejando T_2 :

$$T_2 = RC \times \ln \left(\frac{V_{T+}}{V_{T-}} \right)$$

En este punto, la entrada de la compuerta pasa a ser un 0 lógico, con lo que la salida V_{out} pasa a ser un 1 lógico, y vuelve a repetirse el ciclo de carga-descarga del capacitor.



El tiempo total de oscilación resulta entonces $T = T1 + T2$, entonces:

$$T = \left[RC \times \ln \left(\frac{(VT-) - V_{cc}}{(VT+) - V_{cc}} \right) \right] + \left[RC \times \ln \left(\frac{VT+}{VT-} \right) \right]$$

Trabajando la ecuación anterior, resulta:

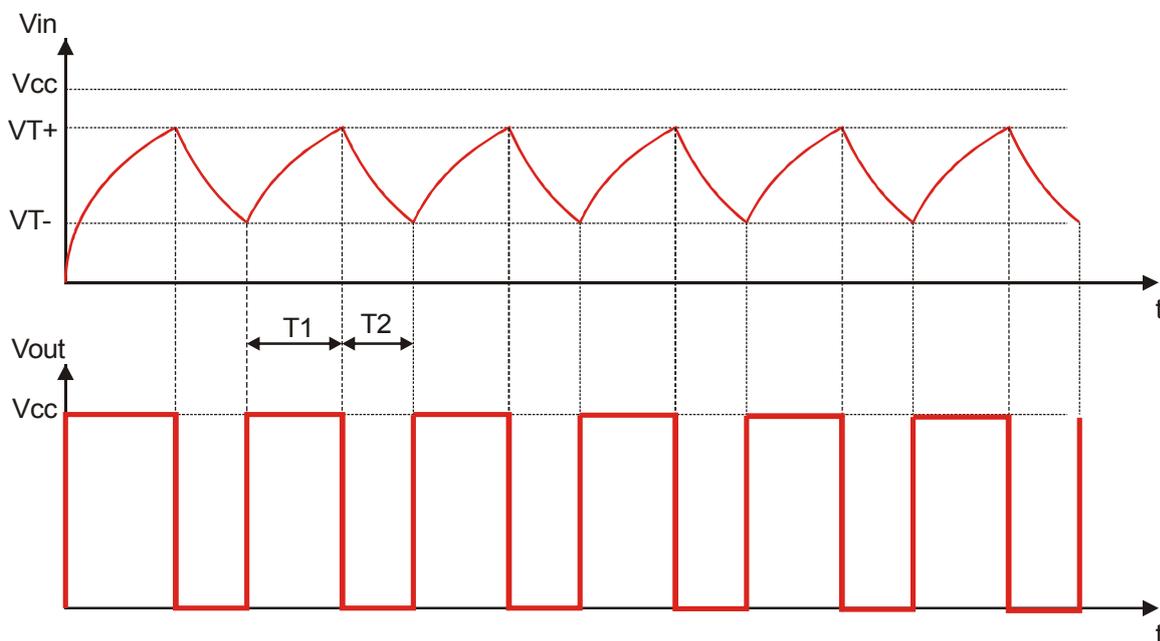
$$T = RC \times \ln \left[\frac{(VT+) \times [(VT-) - V_{cc}]}{(VT-) \times [(VT+) - V_{cc}]} \right]$$

Si suponemos que en el circuito colocamos una resistencia de $1K\Omega$ y un capacitor de $10\mu F$, el periodo de oscilación resultaría:

$$T = 1000 \times 0,00001 \times \ln \left[\frac{3,6 \times [1,4 - 5]}{1,4 \times [3,6 - 5]} \right] = 18,88ms$$

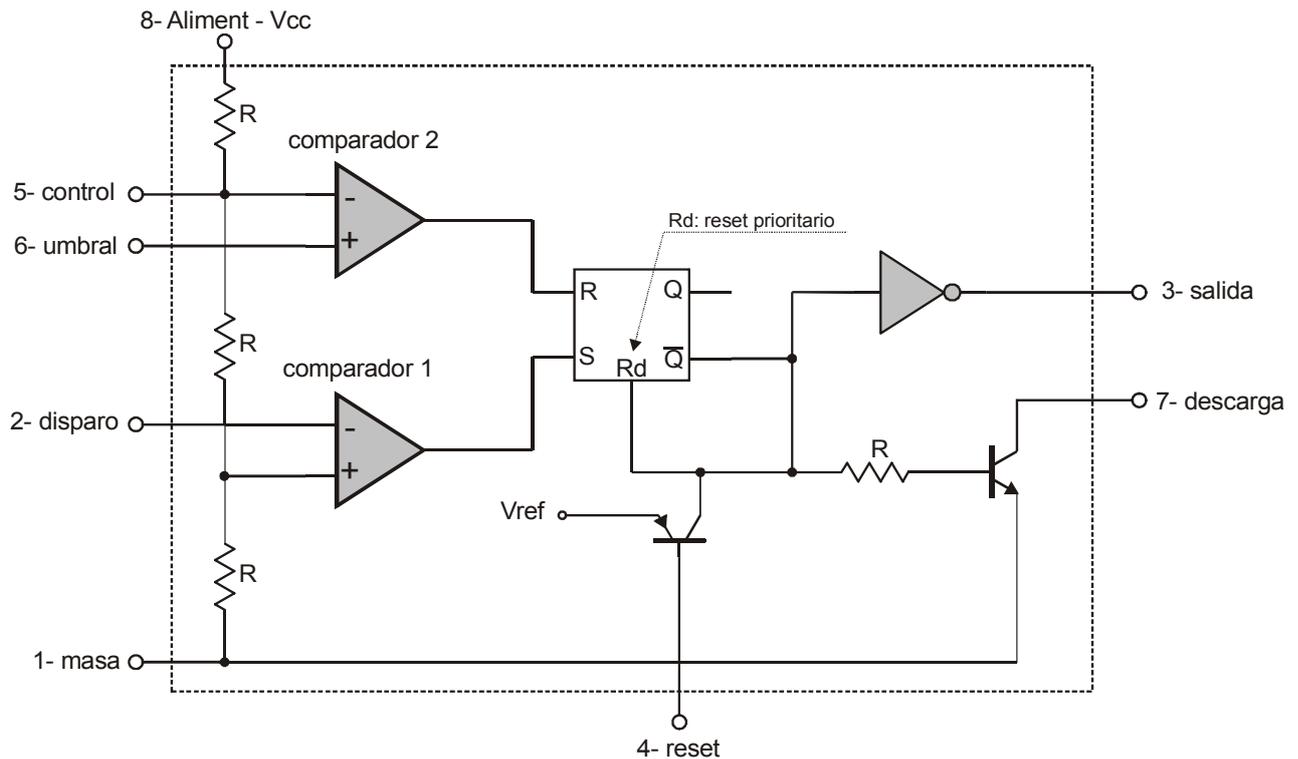
Es decir, resulta en una oscilación con un período de 18,88ms o lo que es lo mismo una frecuencia de 52,94Hz.

Las formas de ondas resultantes son las siguientes:



2.2. Circuito 555

Este circuito integrado es muy popular. Tiene aplicaciones como oscilador de relajación, generador de pulsos, oscilador monoestable, oscilador astable, etc. Trabaja con tensiones de alimentación de 5 a 18 V, lo que lo hace compatible con circuitos digitales de lógica TTL, CMOS, y amplificadores operacionales. Básicamente el conjunto funcional está compuesto por dos comparadores, dos transistores bipolares, un divisor resistivo de tres resistencias, una báscula R-S, y una etapa de salida inversora:



Los terminales o pines del 555 tienen las siguientes funciones:

Terminales 1 y 8: el terminal 1 es la masa o negativo de alimentación (GND). El terminal 8 es el positivo de alimentación o Vcc.

Terminal 3: este es el terminal de salida, la que puede tomar dos valores (0 o 1 lógico). La salida puede actuar como fuente (entrega corriente) o como sumidero (absorbe corriente). En ambos casos la corriente de salida debe limitarse a no mas de 40 mA.

Terminal 4: este es el terminal de reset o reestablecimiento. Su función es inhabilitar el control del terminal de salida (3) y del terminal de descarga (7). Cuando se aplica un 0 lógico a este terminal (GND), la salida (3) y el terminal de descarga (7) pasan a un estado bajo de tensión, independientemente de los valores de los terminales de entrada. Cuando no se lo utiliza, se lo debe conectar a Vcc.

Terminal 7: este es el terminal de descarga, se lo utiliza para descargar un capacitor externo que se utiliza para fijar los períodos de temporización. Cuando este terminal esta en un estado "alto", permite la carga del capacitor a través de una resistencia externa. Cuando el terminal está en un estado "bajo", descarga al capacitor externo. Este ciclo de carga-descarga altera la salida (3) y define el período de temporización.

Terminal 5: terminal del voltaje de control, se utiliza para modular la forma de la onda de salida (3). Modifica las tensiones de comparación de ambos comparadores respecto a las tensiones de entrada de disparo (2) y umbral (6), las que normalmente están fijadas en $1/3$ de Vcc y $2/3$ de Vcc respectivamente. Cuando se utiliza este terminal (ya sea conectando una resistencia a masa o a Vcc) se modifica la relación de las tensiones de disparo y umbral respecto a Vcc. Cuando no se lo utiliza se lo debe conectar a masa a través de un capacitor de 10 nF.

Terminales 2 y 6: estos son el terminal de disparo (2) y el terminal de umbral (6). El 555 tiene dos estados posibles de operación y de memoria, los que están determinados por estos dos terminales. La tensión de disparo que ingresa por (2) es comparada respecto a $1/3$ Vcc mediante el comparador 1. La tensión de umbral que ingresa por (6) es comparada respecto a $2/3$ Vcc mediante el comparador 2. Si ambas entradas estan por debajo de $1/3$ de Vcc, el comparador 1 entrega un 1 en su salida, y el comparador 2 entrega un 0. Estos comparadores son las entradas R-S de la báscula, por lo que para esta condición ($R = 0, S = 1$), la salida \bar{Q} de la báscula será un 0, la salida (3) del 555 será un 1, y el terminal de descarga (7) estará desconectado.

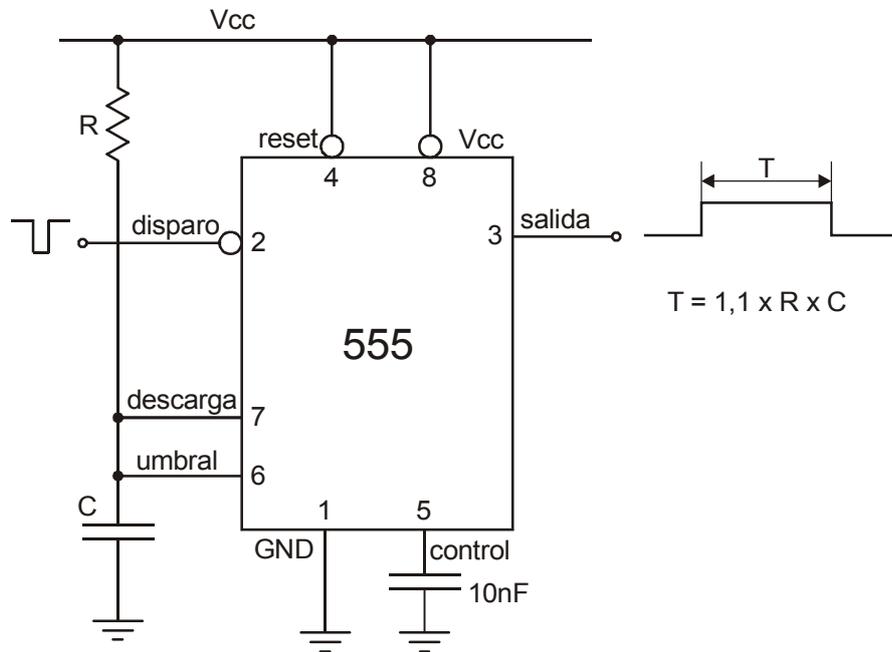
A medida que aumenten los niveles de tensión en las entradas (2) y (6), y cuando se encuentren en un valor comprendido entre $1/3$ y $2/3$ de Vcc, la salida de los comparadores será un 0, por lo que $R = S = 0$ y la salida \bar{Q} seguirá manteniendo su valor anterior (un 0).



Cuando la tensión de umbral supere los $\frac{2}{3}$ de V_{cc} , el comparador 2 dará un 1 y el comparador 1 dará un 0, con lo que $R = 1$ y $S = 0$. En esta condición, \bar{Q} valdrá un 1, la salida (3) será un 0, y el terminal de descarga (7) se conectará a masa.

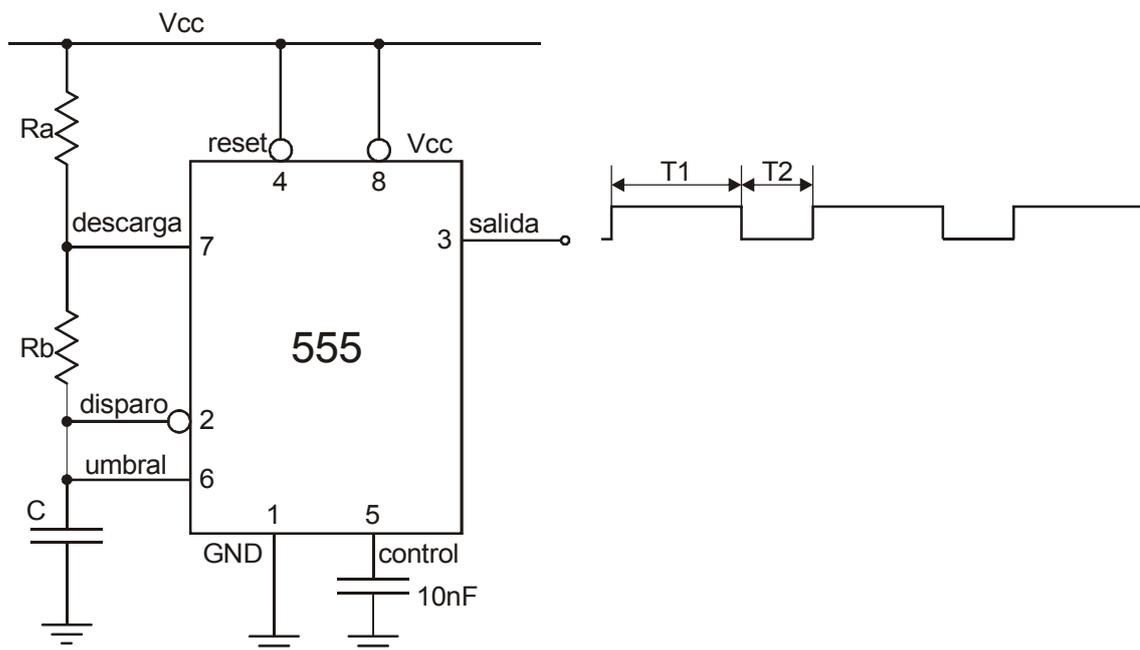
2.3. Aplicaciones del 555

Oscilador Monoestable:



Inicialmente el capacitor C se encuentra descargado y la salida está en 0, con lo cual el pin de descarga (7) esta conectado a masa y el capacitor C tiene sus dos terminales a masa. En el flanco descendente del pulso de disparo se abre el transistor que comanda el pin de descarga (7), con lo que el capacitor C se comenzará a cargar a través de R , y también se pone a 1 la salida del comparador con lo que el pin de salida (3) pasa a 1. La tensión en C es aplicada a la entrada de umbral (6), entonces cuando esta tensión llegue a $\frac{2}{3}$ de V_{cc} se activa el comparador 2, pone a 0 la báscula y termina el ciclo con la descarga de C a través del pin 7. La duración del período de temporización T es entonces el tiempo que demore la tensión en C en evolucionar de 0 a $\frac{2}{3}$ de V_{cc} .

Oscilador Astable:





Inicialmente el capacitor C se encuentra descargado, la salida se encuentra en 1, y el pin 7 esta desconectado de masa. En estas condiciones, C se irá cargando a través de Ra y Rb. Cuando la tensión en C alcance los 2/3 de Vcc, se reseteará la báscula con lo cual la salida pasa a 0, el pin 7 (descarga) pasa a masa y el capacitor C ahora se descargará a través de Rb. La descarga de C continuará hasta que la tensión en el mismo caiga hasta 1/3 de Vcc, momento en el cual la báscula se seteará y C volverá a cargarse a través de Ra y Rb, repitiéndose el ciclo. Los tiempos de carga (T1) y descarga (T2) son entonces $T1 = 0,693 \times (Ra + Rb) \times C$ y $T2 = 0,693 \times Rb \times C$, con lo cual el período total de oscilación es $T = T1 + T2 = 0,693 \times (Ra + 2 \times Rb) \times C$.