

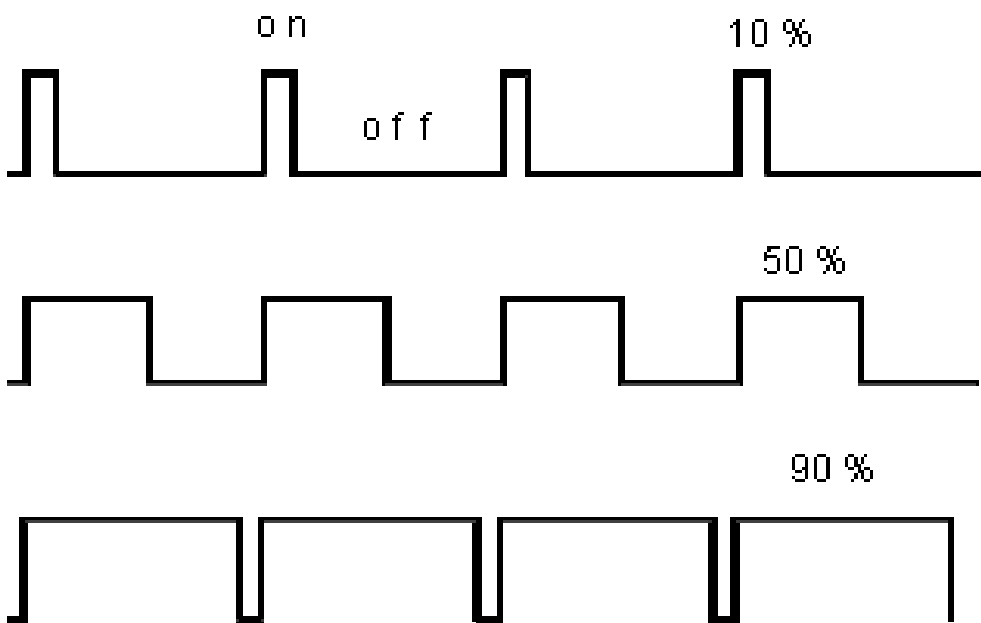
## Control de motores de CC

### Control por modulación de ancho de Pulso (PWM) (versión 1-8-11) Aportes propios y de Internet

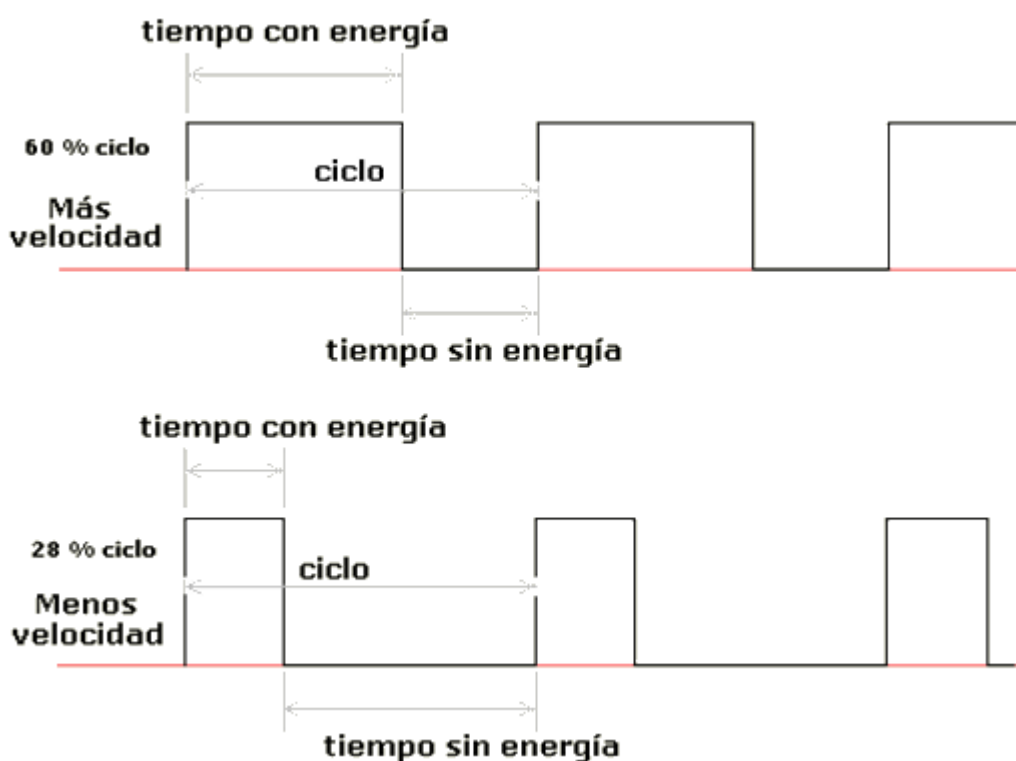
Uno de los problemas más fundamentales de la robótica es el control de la velocidad del motor de corriente continua. El método más común de control de velocidad se conoce como **PWM** o **modulación por ancho de pulso**.

La Regulación por Ancho de Pulso de un motor de CC está basada en el hecho de que si se recorta la CC de alimentación en forma de una onda cuadrada, la energía que recibe el motor disminuirá de manera proporcional a la relación entre la parte alta (tiempo en 1) y la parte en baja (tiempo en 0) del ciclo de la onda cuadrada. Controlando esta relación se logra variar la velocidad del motor de una manera bastante aceptable.

El siguiente diagrama muestra las formas de onda en el caso de 10%, 50% y 90% de la señal propuesta.



La siguiente figura muestra como sería esto en término de la energía entregada al motor y la velocidad del mismo:



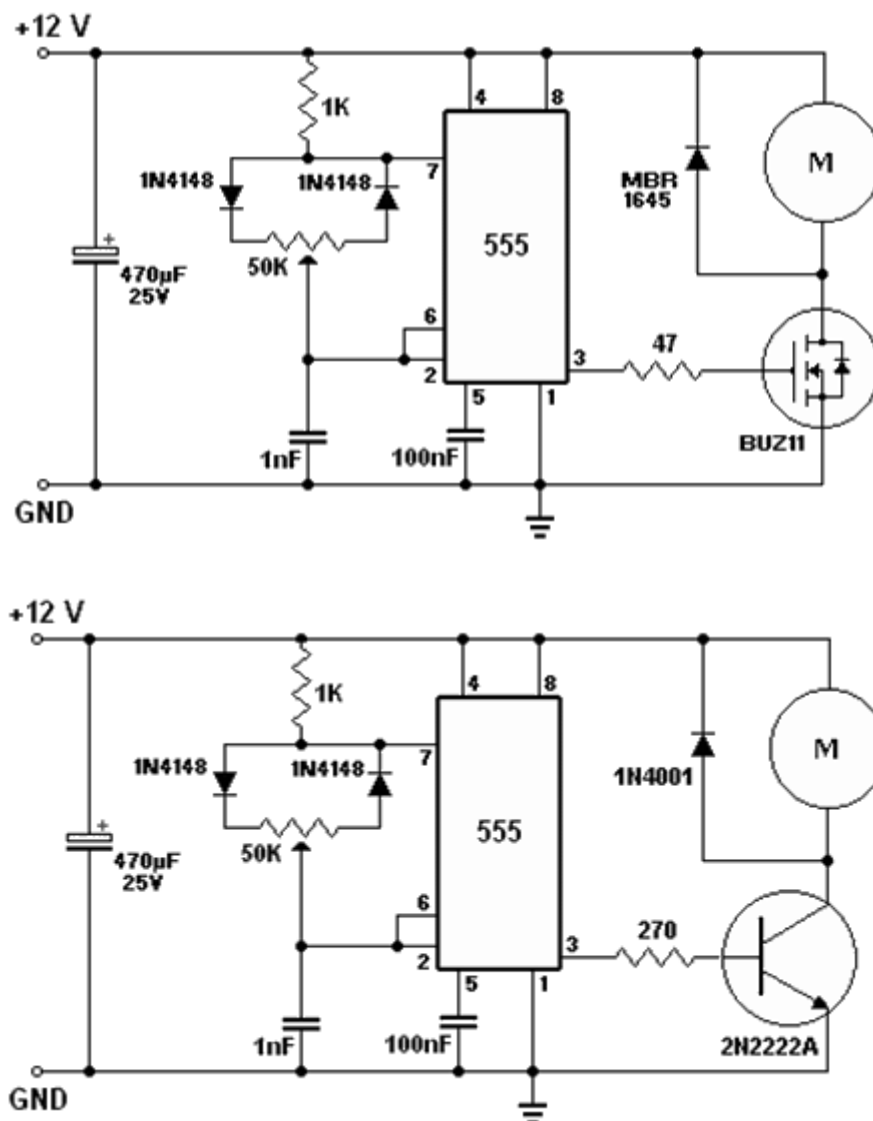
Estas señales se envían al motor a una determinada frecuencia. El resultado final del proceso de PWM es que la potencia total enviada al motor se puede ajustar desde x % ciclo de trabajo a casi 100% del ciclo de trabajo con un buen rendimiento y un control estable.

Mientras que muchos diseñadores utilizan un microcontrolador para generar las señales necesarias PWM, el circuito con un 555 que se explica es muy útil para muchas aplicaciones y para comprender el concepto.

El temporizador 555 en el circuito de PWM está configurado como un oscilador astable. Debe quedar claro que siempre deberemos usar alguna interfaz entre el circuito del 555 y el motor que deseamos manejar, la razón principal es la corriente requerida por el motor, sobre todo con carga mecánica en su eje. También podemos necesitar adaptar tensiones.

### Ejemplos de circuitos

El primer circuito —con el MOSFET de potencia BUZ11— permite controlar motores medianos y grandes, hasta 10 A de corriente. El segundo circuito —con el transistor 2N2222A— es para motores pequeños, que produzcan una carga de hasta 800 mA. Otros TBJs que podemos emplear son TIP41 o 2N3055.

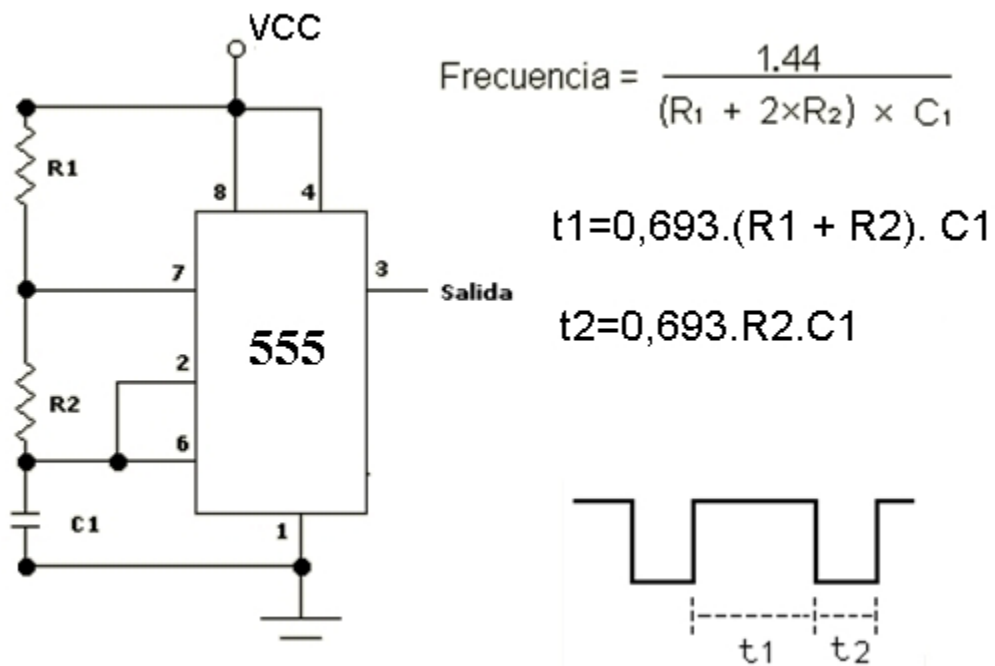


En ambos circuitos podemos notar las siguientes características, el capacitor de 470uf tiene la función de bypass, es decir el motor produce fluctuaciones en la tensión de la alimentación cuando funciona, estas fluctuaciones afectan a la electrónica de control (555), el capacitor tendería a disminuir esas fluctuaciones. Si esto no lo soluciona, se debería pensar una alimentación alternativa para el motor.

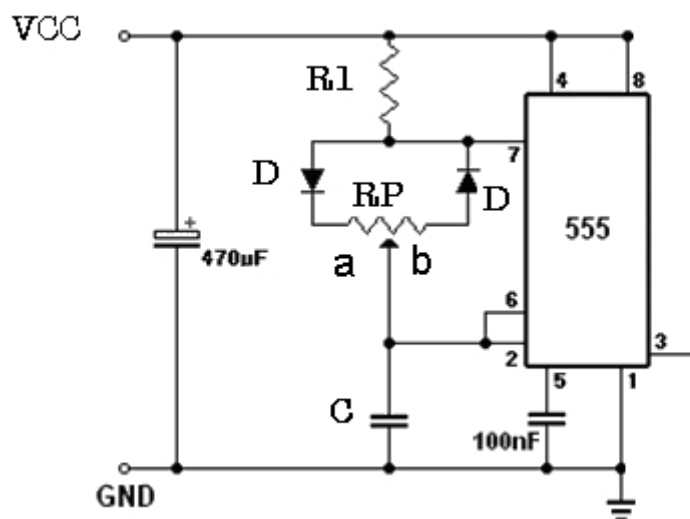
Notemos también que el motor se encuentra en el **colector** (TBJ) o **drain** (MOSFET), con lo cual la señal de salida del 555 es invertida. No pasaría esto si el motor se encuentra en el **emisor** (TBJ) o en **source** (MOSFET).

Los diodos aíslan el tiempo de carga del de descarga del capacitor de oscilación del 555 y permiten regular con un solo potenciómetro TON y TOFF en forma opuesta, cuando aumenta uno disminuye el otro.

Como se menciona anteriormente, el 555 está configurado en astable, cuyo circuito es:



Podríamos imaginar que **R2** la reemplazamos con un potenciómetro (descartamos la influencia de los diodos)



El potenciómetro lo podemos pensar como:

$$R_P = a \cdot R_P + b \cdot R_P \quad (R_P \text{ representa el valor total del potenciómetro})$$

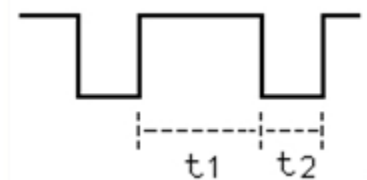
Donde siempre:

$$a + b = 1 \quad (\text{ó } 100\%)$$

De este modo las fórmulas de los tiempos  $t_1$  y  $t_2$  quedarían:

$$t_1 = 0,693 \cdot (R_1 + a \cdot R_P) \cdot C$$

$$t_2 = 0,693 \cdot b \cdot R_P \cdot C$$



La fórmula de frecuencia es la misma antes vista donde **R2 = RP**

## RECOMENDACIONES PARA LA ELECCION DE LA FRECUENCIA

La frecuencia debe ser suficientemente alta para que:

No provoque ruido audible, o sea mayor a 15...20 KHz

No se anule la corriente en el motor. Puede pasar en motores chicos, en los grandes por la gran inductancia propia del motor no es importante. También se puede solucionar agregando inductor en serie con el motor. A bajas velocidades (ciclo de trabajo pequeño) puede ser necesario aumentar la frecuencia de **PWM** para no entrar en conducción discontinua. En otras palabras, mayores frecuencias de **PWM** nos permitirán regular velocidades más bajas usando el mismo algoritmo de control, sin que el motor esté arrancando/parando constantemente.

Pero tampoco queremos la frecuencia de **PWM** muy alta porque se genera más ruido eléctrico en el sistema.

El rango de 5Khz hasta 15Khz es muy bueno para cargas de **torque** constante, se recomiendan frecuencias de 5 Khz por dejado, pero con el sacrificio del ruido audible. Si se van usar frecuencias por encima de 10 Khz y tiempos de desaceleración muy cortos (por debajo de 5 seg) se requiere un sistema de frenado dinámico por resistencia para mitigar la regeneración de voltaje generada por el motor que puede causar daños en la etapa de potencia de tu circuito, el diodo en inversa limitaría en parte este efecto.

*El **torque** es la fuerza que producen los cuerpos en rotación, recordemos que el motor produce fuerza en un eje que se encuentra girando, (**torque o par motor**).*

*Se llama **Torque máximo** a la mayor cantidad de fuerza de giro que puede hacer el motor. Esto sucede a cierto número de revoluciones*

*El par motor es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia.*

*La potencia desarrollada por el par motor es proporcional a la velocidad angular del eje de transmisión, viniendo dada por:*

$$P = M \cdot W$$

donde:

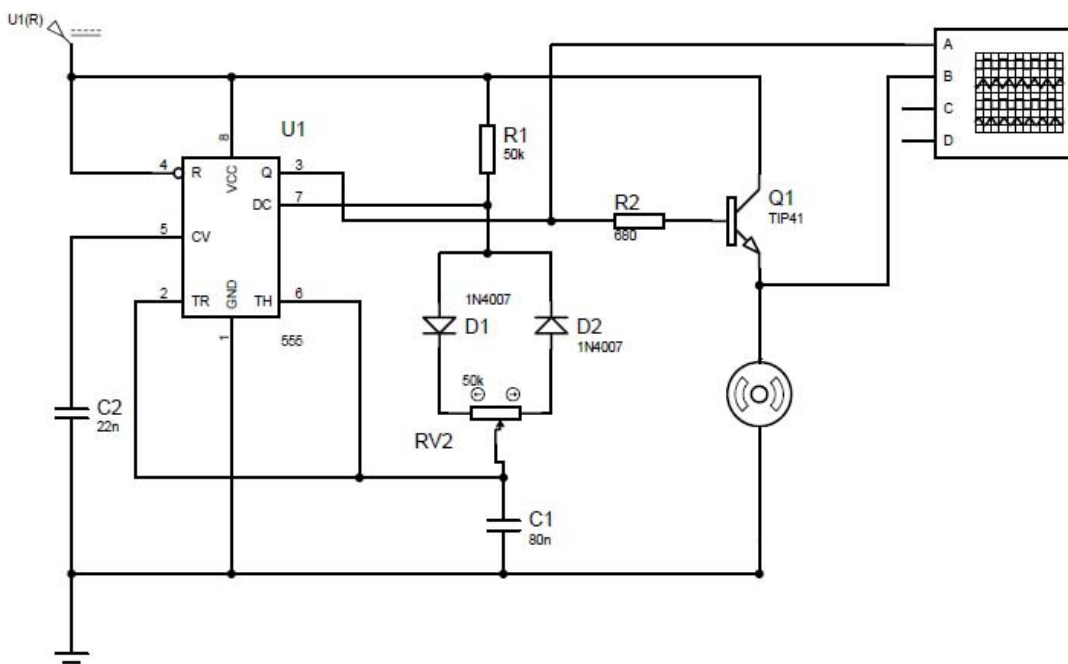
*P es la potencia (en W)*

*M es el par motor (en N·m)*

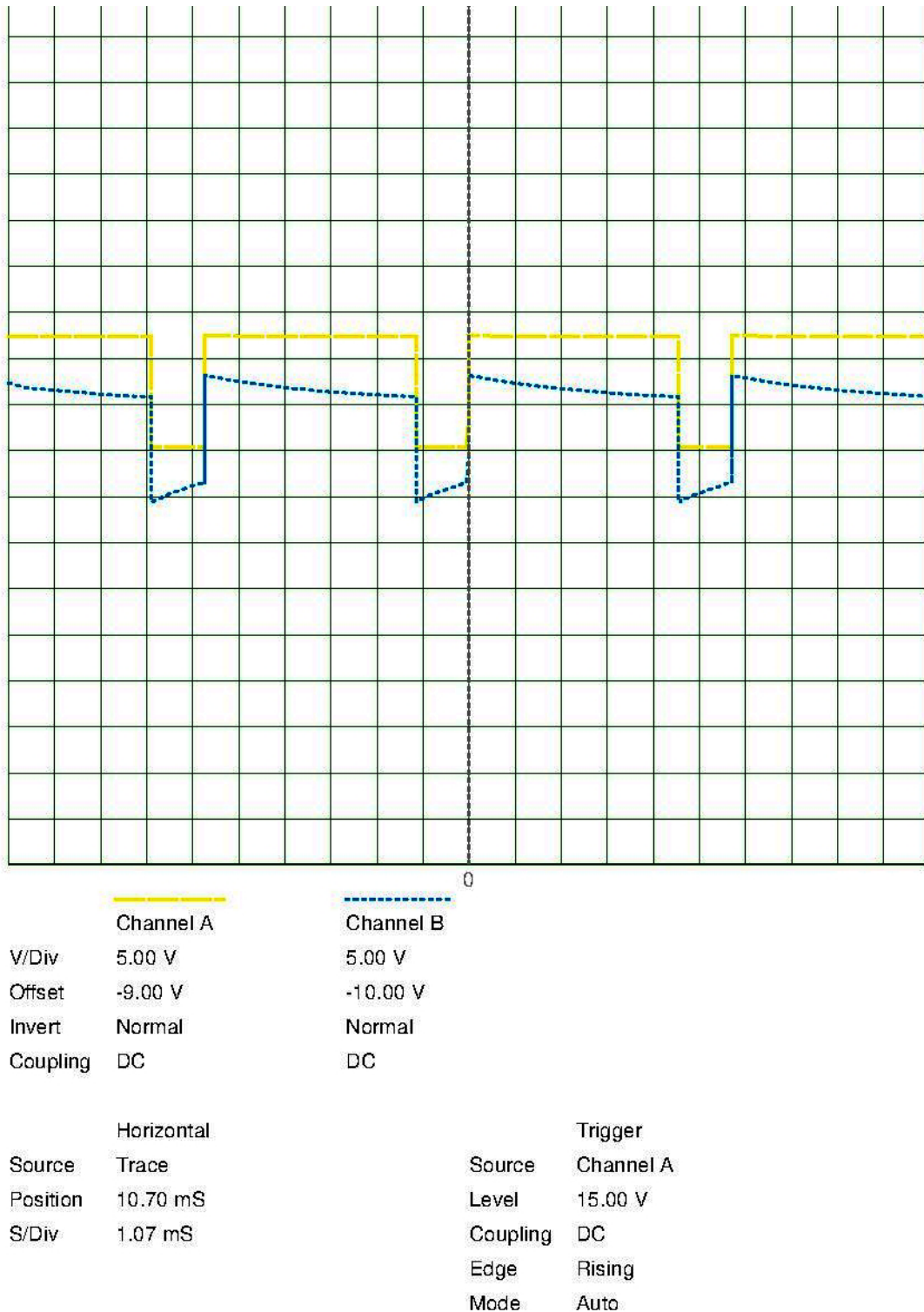
*W es la velocidad angular (en rad/s)*

*Mientras mayor sea el torque máximo de un motor, más fuerte este es. Esto es interesante al momento de comparar motores ya que sin importar el tamaño, un motor tendrá más fuerza que otro cuando su torque máximo sea mayor.*

## CIRCUITO CON TBJ Y MOTOR EN EL EMISOR (Simulación en Proteus).



Presentaremos ahora los oscilogramas correspondientes a distintas posiciones del potenciómetro.

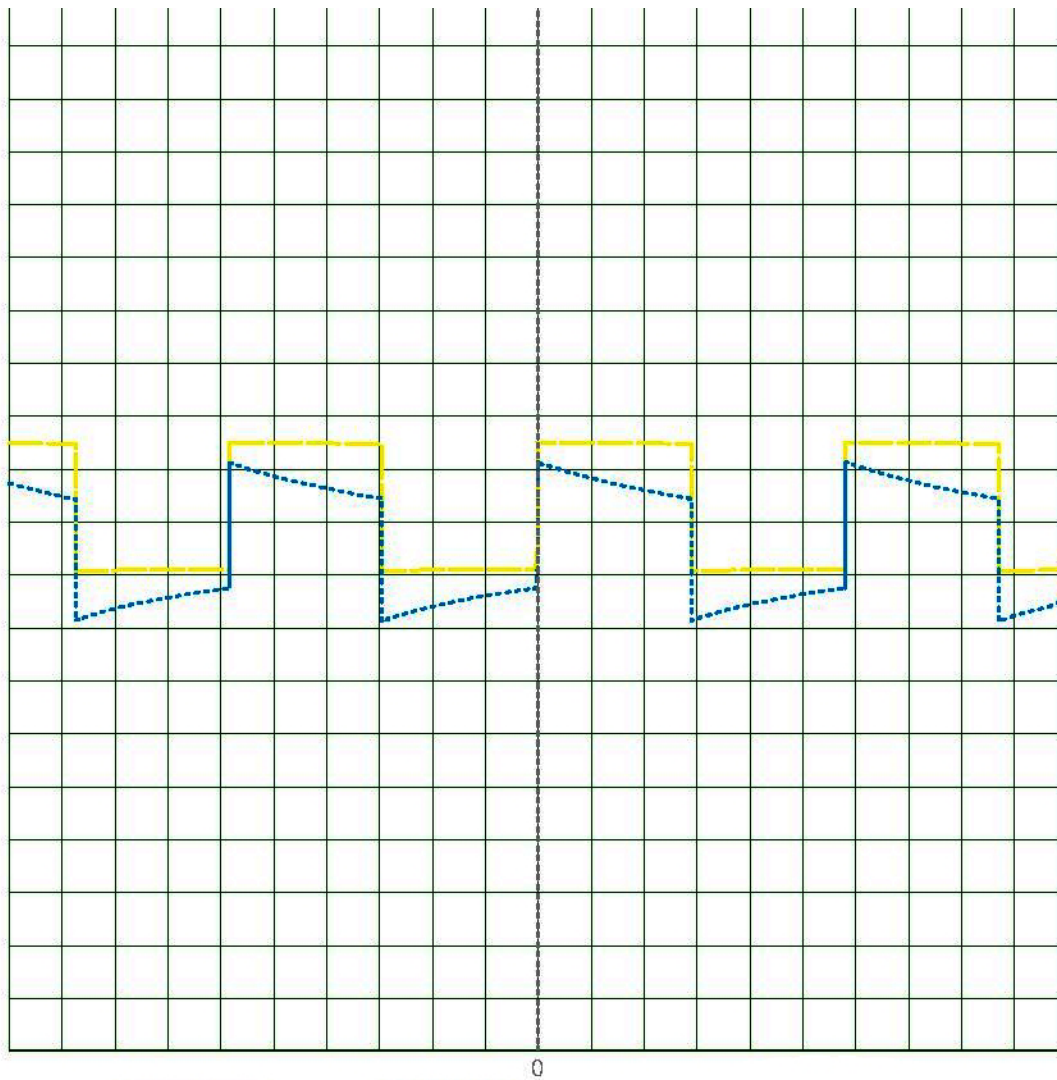


**El canal A mide la salida (PIN 3) del CI555 (Trazo azul).**

**El canal B mide la tensión sobre el motor (Trazo amarillo).**

A continuación se mostrara el oscilograma habiendo variado el potenciómetro a otra posición:

(Se recomienda realizar la simulación en el Proteus, para tener una mejor comprensión de lo que esta sucediendo. Coloque un amperímetro AC en serie con el motor para observar como cambia la corriente por el motor).



	—	- - -		
	Channel A	Channel B		
V/Div	5.00 V	5.00 V		
Offset	-9.00 V	-10.00 V		
Invert	Normal	Normal		
Coupling	DC	DC		
	Horizontal		Trigger	
Source	Trace		Source	Channel A
Position	10.70 mS		Level	15.00 V
S/Div	1.07 mS		Coupling	DC
			Edge	Rising
			Mode	Auto

Nota: Observando los gráficos, notamos que el periodo de la señal PWM no cambia, la frecuencia no cambia. Lo que varía es el tiempo en "0" y el tiempo en "1".