

TRABAJO PRACTICO DE ELECTRONICA DE POTENCIA

*Tema: Control de Velocidad para motor
de CC Lazo Abierto*

Integrantes:

Astigarraga, Nicolás Leg: 54.146

Montes, Andrés Leg: 48.135

Segovia, Franco Leg: 60085

Valdez, Carlos Leg: 59845

Curso: 5R1

Año:2019

INTRODUCCIÓN

1. Diseñar y construir un circuito que controle un motor de CC (Ej. Mabuchi de 12V sin el regulador interno) en los cuatro cuadrantes con PWM y llave H con transistores MOSFET IRF830 con protección contra sobre corrientes en el driver de compuerta, o en la llave H. El circuito será a lazo abierto. Tensión de referencia: +/- 5V (puede ser otro valor) Frecuencia de conmutación: 15khz, y contador de revoluciones con MOC70U1 (o equivalente)
2. Efectuar las siguientes mediciones:
 - a) Graficar las RPM del motor en función de la tensión de referencia.
 - b) Verificar funcionamiento del sistema de protección contra sobre corrientes.

MARCO TEÓRICO

Para poder controlar en los cuatro cuadrantes un motor de corriente continua, es necesario poder aplicar al motor tensión y/o corriente en ambas polaridades. Para realizar esta tarea se utiliza un circuito compuesto por 4 transistores, denominado puente H (Figura 1). El puente propiamente dicho está constituido por 4 transistores MOSFET de potencia que trabajan de a pares (diagonal) dependiendo del ciclo de trabajo de la señal de control. Los transistores se conmutan aplicando el ciclo de trabajo alternativamente a las diagonales (S1-S2, S3-S4). De esta manera, un ciclo de trabajo del 50% implica que el motor está detenido. Con un $D > 0.5$ el motor gira en un sentido, y $D < 0.5$ en el sentido opuesto.

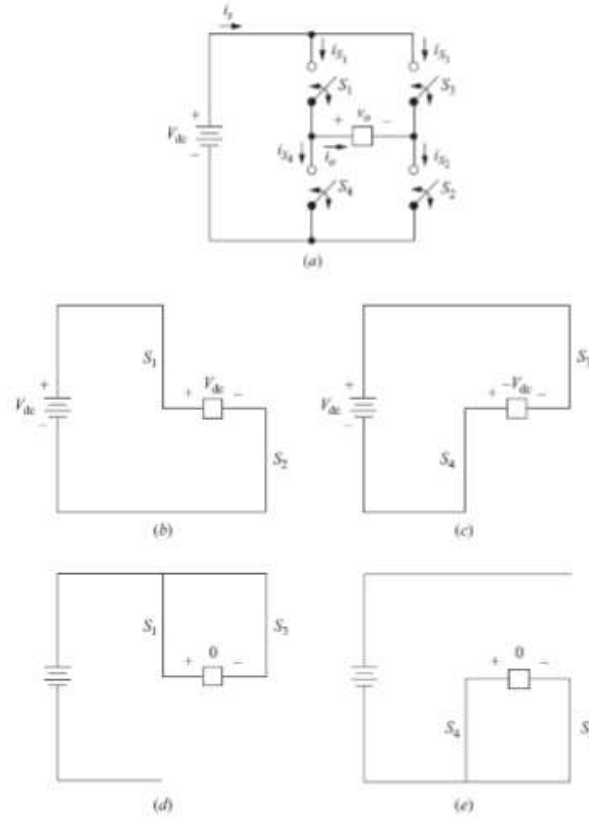


Figura 1: Inversor puente H

ETAPA DE DISEÑO

Puente H En la Figura 2 se puede ver el circuito del puente H implementado donde se eligieron los transistores MOSFET IRF840 (Figura 3).

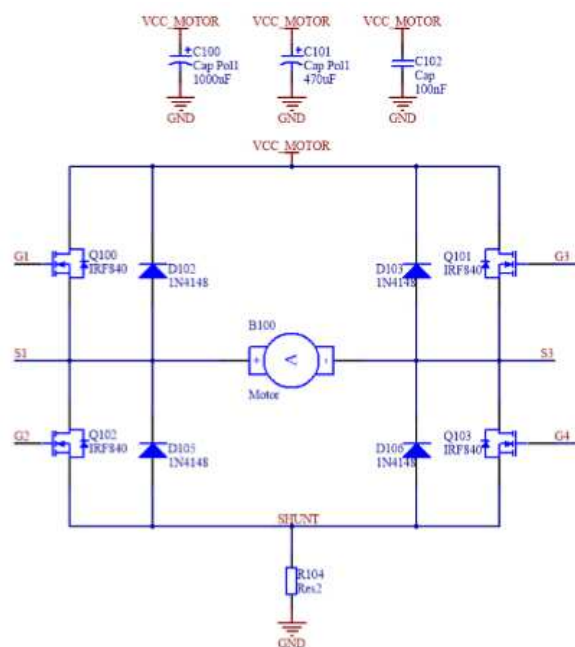


Figura 2: Circuito implementado puente H.

Como se puede ver se colocó una resistencia censora de la que se hablara más adelante.

PRODUCT SUMMARY		
V_{DS} (V)	500	
$R_{DS(on)}$ (Ω)	$V_{GS} = 10\text{ V}$	0.85
Q_g max. (nC)	63	
Q_{gs} (nC)	9.3	
Q_{gd} (nC)	32	
Configuration	Single	

Figura 3: Valores nominales del IRF840.

Driver

El driver elegido para esta aplicación es el IR2110. Este IC integra la mayoría de las funciones requeridas para manejar un MOSFET de potencia high-side y uno low-side, y con la adición de algunos componentes, provee velocidades de conmutación rápidas y baja disipación de potencia. El circuito propuesto para una rama se puede ver en la Figura 4, se implementó el mismo circuito para la otra rama de transistores intercambiando las señales de HIN y LIN para lograr el patrón de encendido y apagado correcto (diagonal activa).

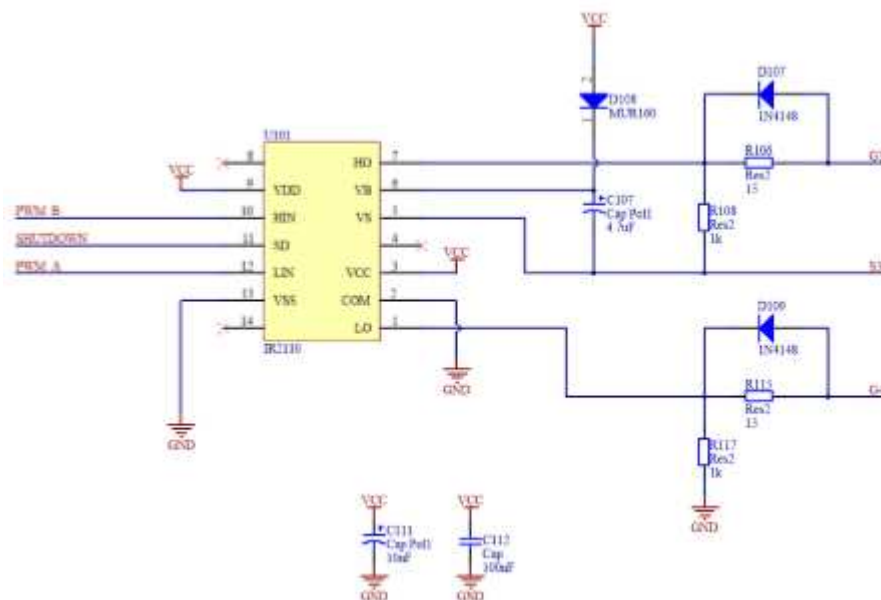


Figura 4: Circuito implementado para controlar los MOSFET de potencia.

Además de las dos señales de control, se encuentra la señal SHUTDOWN que permite inhabilitar el driver. Esta señal la utilizaremos más adelante para deshabilitar los drivers ante una sobre corriente.

Circuito PWM

El manejo del puente H se hace por medio de una señal PWM de ciclo de trabajo variable. El mismo debe poder variar de aproximadamente el 5% al 95% y el circuito elegido para tal propósito es el TL494 con la siguiente configuración:

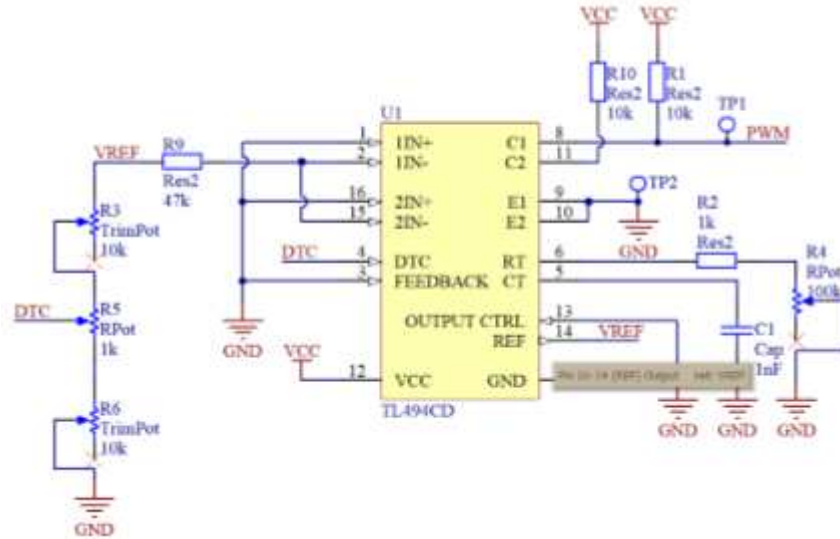


Figura 5: Circuito implementado para controlar los MOSFET de potencia

El potenciómetro R4 permite modificar la frecuencia del PWM y junto al capacitor C1 se han elegido para una frecuencia de 15kHz, para ello se hizo uso de la formula indicada en la hoja de datos del integrado.

$$f_{osc} \cong \frac{1,1}{R_T C_T}$$

El potenciómetro R5 permite variar el ancho del pulso de la salida. Las resistencias R3 y R6 se utilizan para limitar la tensión de referencia entre 0,319V y 2,7V , lo que es igual a un ciclo de trabajo entre 89% y 11%.

Generación tiempos muertos

Para el control de los transistores es necesario generar dos señales moduladas en ancho de pulso invertidas, que además incluyan un tiempo muerto entre el apagado de un transistor y el encendido del otro para evitar que entren en conducción al mismo tiempo dos transistores de la misma rama (shoot-through). El circuito generador de tiempos muertos se puede ver en la Figura 7 y funciona como sigue: Cuando en la entrada PWM hay un 0 lógico, a la salida de la primera compuerta aparece un 1 que carga el capacitor rápidamente a través del diodo, lo que pondrá un 1 en la entrada de la segunda compuerta y un 0 a la salida. Por otro lado, cuando a la entrada hay un 1, en la salida del primer inversor habrá un 0 que descargara el capacitor luego de un tiempo dado por el ajuste de la resistencia y el capacitor. Esto hará que la segunda compuerta demore en detectar el 0 retardando la aparición del 1 lógico a su salida.

Para determinar la duración del tiempo muerto es necesario conocer el tiempo de apagado del transistor elegido, este dato se encuentra en la hoja de datos del transistor como Turn-Off Delay Time y Fall time (Figura 6). Debido a que el tiempo especificado en la hoja de datos esta determinado para un circuito y condiciones especificas dadas por el fabricante, es necesario incluir un factor de seguridad para garantizar una operación segura. En el caso del IRF840, el $t_{off} = t_d(off) + t_f = 69ns$, con un factor de seguridad de 10 obtenemos un tiempo muerto de aproximadamente 690ns.

Turn-On Delay Time	$t_{d(on)}$	$V_{DD} = 250\text{ V}, I_D = 8\text{ A}$ $R_{DS(on)} = 9.1\text{ }\Omega, R_{DS(off)} = 31\text{ }\Omega$, see fig. 10	-	14	-	ns
Rise Time	t_r		-	23	-	
Turn-Off Delay Time	$t_{d(off)}$		-	49	-	
Fall Time	t_f		-	20	-	

Figura 6: Tiempos de conmutación IRF840

El tiempo muerto viene dado por: $\tau = RC = 690ns$

Fijando $C = 1nF$ tenemos que $R = 690\Omega \approx 680\Omega$.

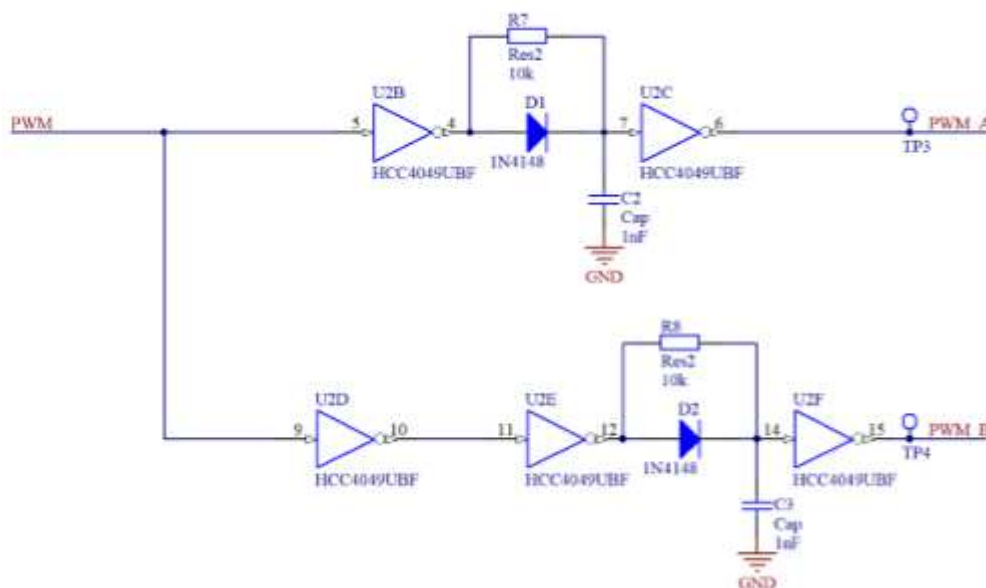


Figura 7: Circuito para generar los tiempos muertos y salidas complementarias del PWM.

Circuito de protección de sobre corriente

Para proteger el circuito de sobre corrientes es necesario censar la corriente del motor. Se colocó una resistencia censora de valor 33Ω de 5W en serie con el motor, la caída de tensión de dicha resistencia es comparada con una tensión de referencia ajustable en un amplificador operacional.

Cuando la corriente a través del motor aumenta llega un punto en el que la tensión en la resistencia censora supere la de referencia y de esta manera produzca un cambio en la salida del comparador. De esta forma se obtiene un señal digital que cambia de estado cuando se produce un exceso de corriente. Ajustando la tensión de referencia se puede ajustar la corriente a la que se produce el cambio. Cuando la salida del comparador esta en alto se dispara el SCR (MCR100) poniendo en conducción el transistor (BC327) y conectando el pin SHUTDOWN de los drivers a

V CC (lógica negativa) derivando en una inmediata interrupción de la alimentación de los motores. Para poner de nuevo en funcionamiento el motor es necesario llevar la corriente del SCR por debajo de la corriente de mantenimiento, para ello se hace uso de un pulsador normal cerrado que abre el circuito y vuelve a habilitar los drivers.

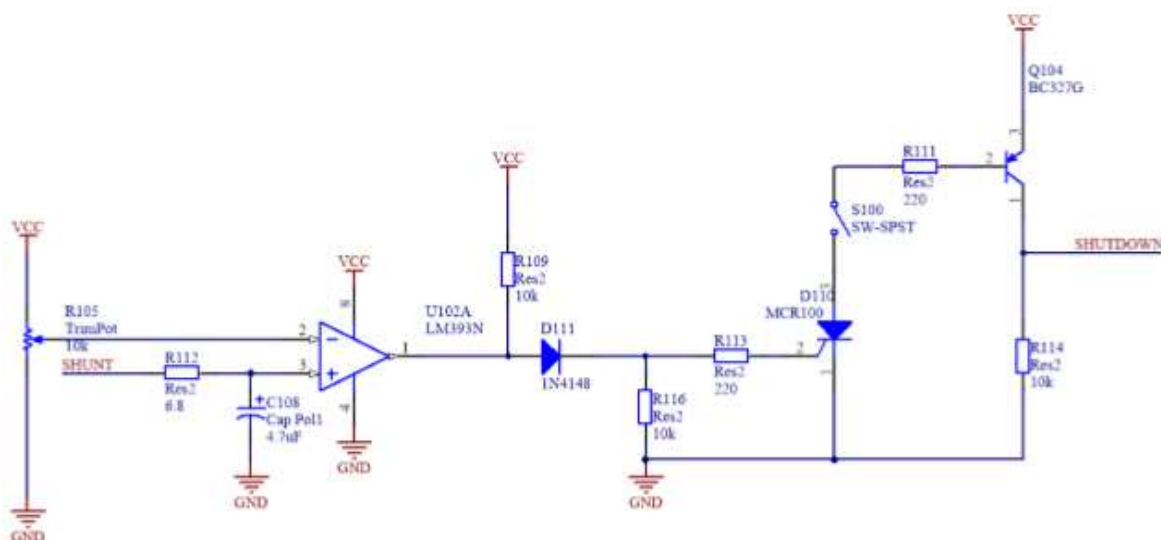


Figura 8: Circuito de protección de sobre corriente.

Circuito de medición de velocidad

Para medir las RPM del motor se utilizo un opto acoplador ya disponible y se realizo el montaje de la Figura 9.

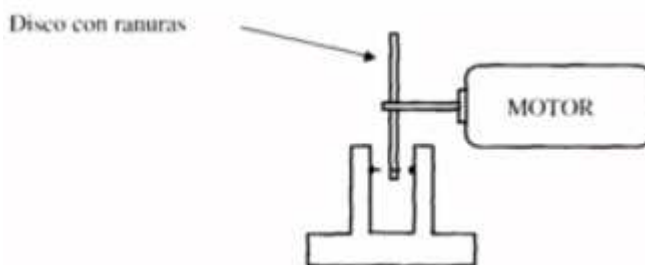


Figura 9: Montaje del opto acoplador para medición de velocidad.

Donde al eje del motor se le acopla un elemento que bloquee el camino de la luz una vez por vuelta. Cuando el motor da una vuelta se produce un pulso en el pin digital, por lo tanto, midiendo el tiempo entre pulsos se puede estimar la velocidad total del motor mediante la siguiente relación.

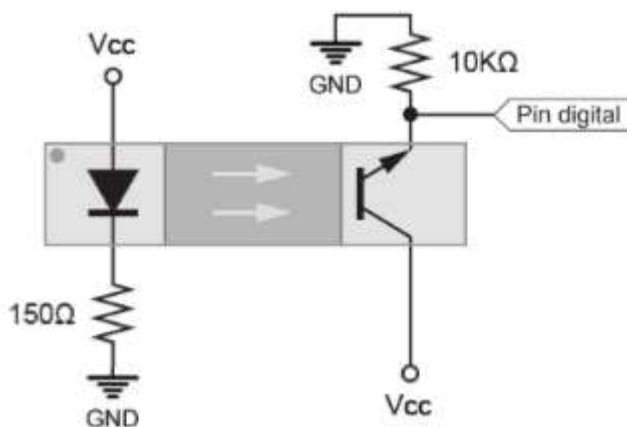


Figura 10: Circuito del opto acoplador para medición de velocidad

$$v[\text{rpm}] = f * 60$$

MEDICIONES

Una vez implementado el circuito se obtuvieron las siguientes mediciones.

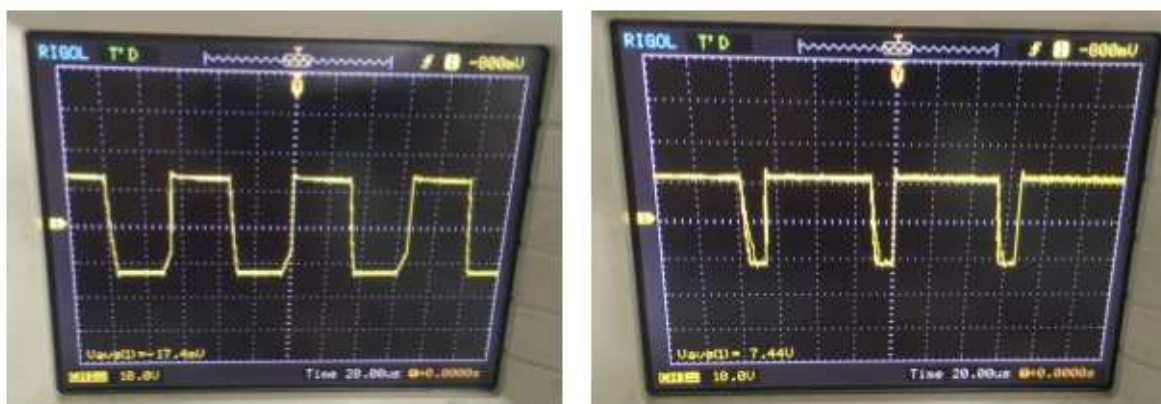


Figura 11: Tensión en el motor al 50% y 100% con medición de tensión promedio

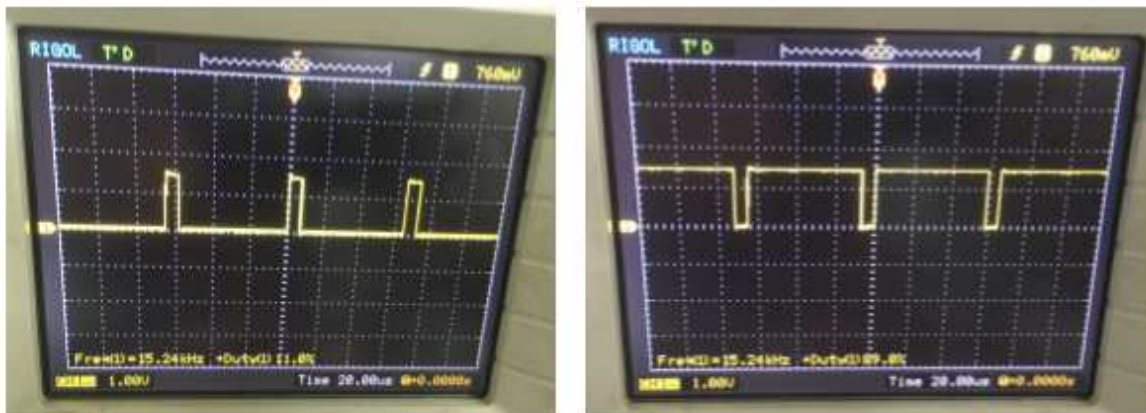


Figura 12: Salida PWM al mínimo y al máximo.

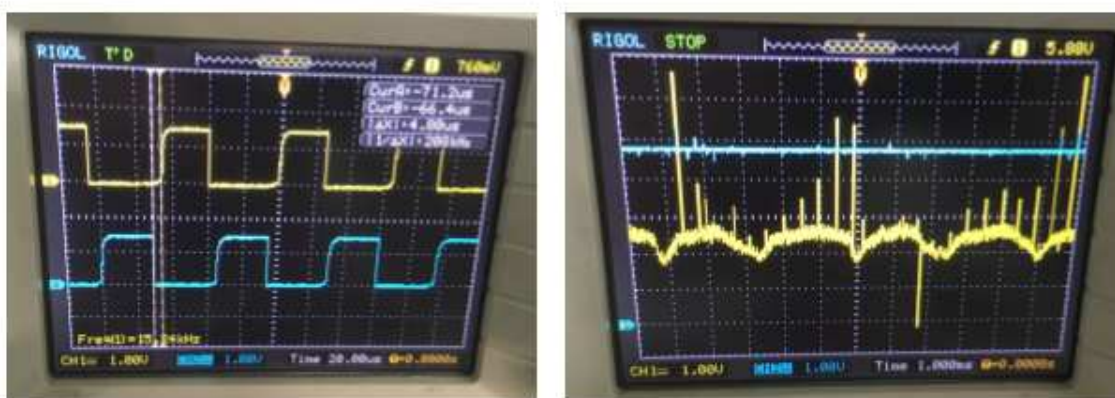


Figura 13: Tiempos muertos y tensión en la resistencia censora vs tensión de referencia.

En la Figura 14 se puede ver como varia la velocidad del motor en RPM en función de la tensión de referencia DTC del TL494 que controla el ciclo de trabajo.

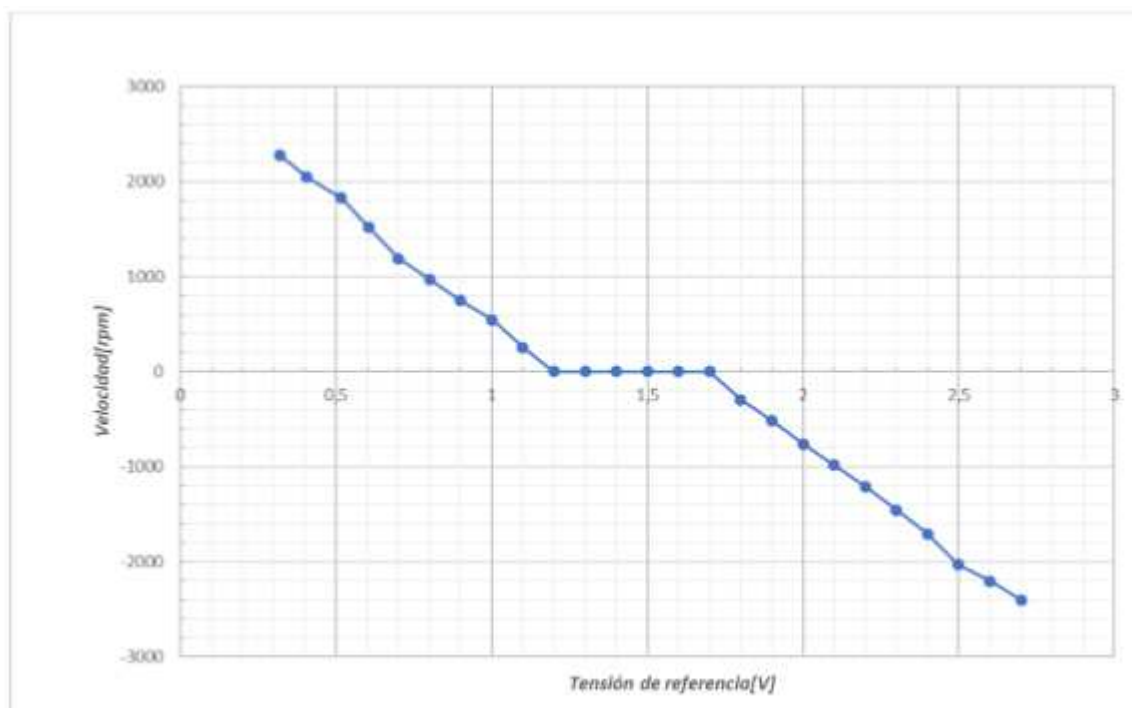


Figura 14: Tiempos muertos y tensión en la resistencia censorsa vs tensión de referencia.

CONCLUSIÓN

Del siguiente práctico se pueden mencionar las siguientes conclusiones:

Con respecto al puente H se puede decir que es una manera simple y eficiente de controlar la velocidad del motor sin variar el torque. En la Figura 15 se puede ver la curva torque/velocidad para distintos ciclos de trabajos y se ve que para la misma carga la velocidad depende del ciclo de trabajo.

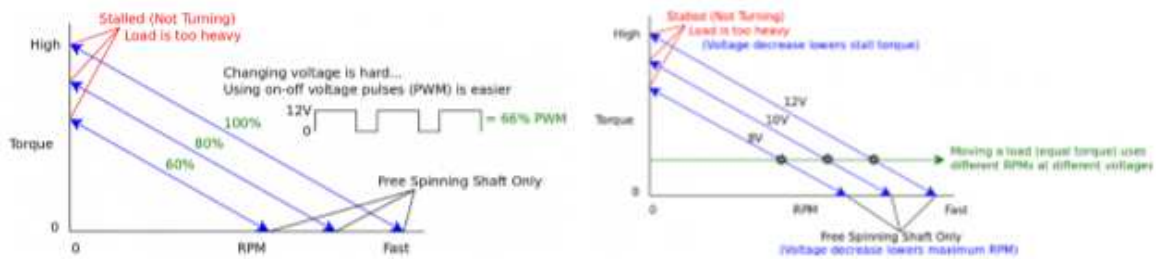


Figura 15: Curva torque/velocidad a distintos ciclos de trabajo.

* En la implementación del puente H es muy importante tener en cuenta los tiempos de conmutación de los transistores debido a que de no hacerlo se puede producir un cortocircuito y provocar la destrucción de los dispositivos.

* El circuito de protección es otra parte importante del circuito ya que si se exige mucho el motor se puede dañar el mismo, como todos los dispositivos el motor también tiene su zona segura de trabajo y es importante siempre trabajar dentro de la misma. En la Figura 16 se pueden observar las distintas zonas de trabajo.

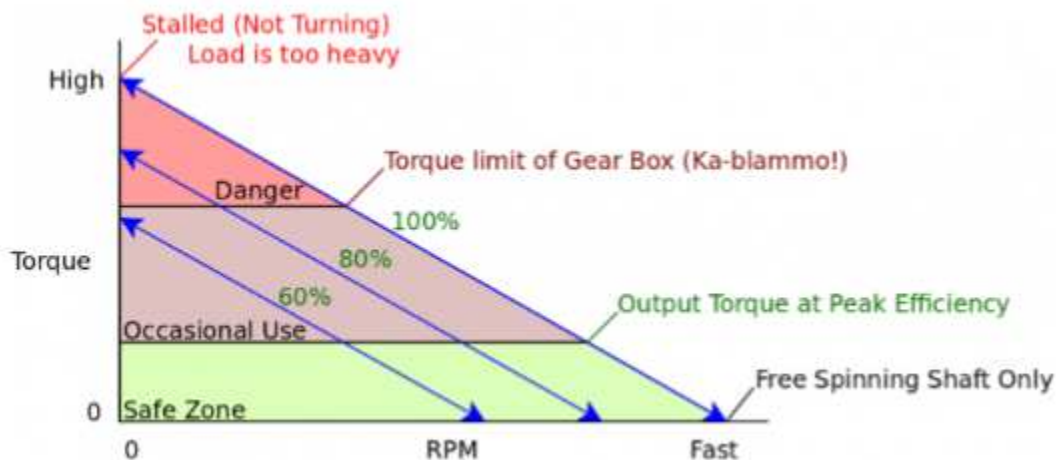


Figura 16: Curva torque/velocidad a distintos ciclos de trabajo.

* Para calibrar la protección se coloca el motor a girar a la velocidad deseada y se calibra la tensión de referencia para que, al aplicar fuerza sobre el eje (carga), la protección se active. Esto garantiza un margen de corriente en el que el funcionamiento sea normal y que al aumentar la corriente la protección se active. Teniendo en cuenta que la corriente de arranque es de hasta 5 veces la corriente nominal en un motor, consideramos que el circuito de protección debería tener en cuenta este efecto para evitar disparos indeseados de la protección, una posible solución es utilizar un termistor para lograr un arranque suave y disminuir la corriente de arranque (inrush current). También se debe tener presente que una vez establecido el límite de corriente la protección solo se activara cuando el motor este en esa velocidad y con esa carga específica, cuando la velocidad del motor disminuya por más que apliquemos una fuerza al eje la protección no funcionara. Una posible solución sería utilizar la medición de velocidad para establecer la referencia de corriente máxima permitida, de esta manera tendríamos un control de un motor por lazo cerrado.

* Al estar conmutando constantemente la tensión en el motor entre dos valores, se tiene un ripple en la corriente y por ende un ripple en la tensión de la resistencia censora, por ello es que es necesario utilizar un filtro pasa bajos para disminuir dicho ripple y que mejore el funcionamiento del circuito de protección.

* En la curva de velocidad en revoluciones por minuto en función de la tensión de referencia, se puede ver que el motor tiene un comportamiento prácticamente lineal. La parte central del gráfico coincide con un ciclo de trabajo de aproximadamente un 50%, en los alrededores se ve que una variación del ciclo de trabajo no es suficiente para vencer la inercia propia del motor y por eso no se ve un cambio en la velocidad del motor.