

## Driver para motor de corriente continua sin escobillas

Luis A. Urbani, Marcelo J.Kelm, Diego A. Kelm\*, Gabriel Y. Aguirre, Mathias E. Yasnikowski

*LABSE, FI-UNaM, Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina*

e-mails: ctt.urbani@gmail.com, marcelomw21@gmail.com, kelmdiego@gmail.com, gabrielaguirre@fio.unam.edu.ar, yasnikowski.m@gmail.com

---

### **Resumen**

Se presentan de forma resumida los principios de funcionamiento de los motores sin escobillas y se comparan sus ventajas respecto de los motores de CC tradicionales. Se propone un diseño de driver basado en notas de aplicación de fabricantes de semiconductores. Por último, se construye y se ensaya un prototipo de driver basado en este diseño.

*Palabras Clave – BLDC motor, driver, motor de corriente continua sin escobillas.*

### **1. Introducción**

El motor de corriente continua sin escobillas (BLDC, por las siglas en inglés BrushLess Direct Current) es un tipo de motor DC con imanes permanentes en el cual la conmutación del campo se realiza de forma electrónica. En los motores DC con imanes tradicionales, los imanes permanentes se ubican en el estator, mientras que el rotor es bobinado. El bobinado del rotor se conecta a la tensión de alimentación mediante un mecanismo de escobillas y delgas convenientemente dispuestas de forma tal que, al girar el rotor, el campo magnético en el mismo sea siempre opuesto al de los imanes permanentes del estator. Este efecto es el que mantiene al rotor en un estado de giro indefinidamente. No obstante el rozamiento entre las escobillas y las delgas trae aparejados inconvenientes como desgaste mecánico, arqueo y caídas de potencial en los puntos de contacto.

El motor sin escobillas, en cambio, posee imanes permanentes en el rotor y un bobinado en el estator similar al de un motor de inducción trifásico [1]. Energizando las bobinas del estator en la secuencia adecuada, puede obtenerse un campo rotante que arrastra al rotor. No obstante, el par producido en el eje aumenta si el campo estator se encuentra en cuadratura con el campo producido por los imanes del rotor. Para asegurar esto, es necesario conocer la posición del rotor y energizar las bobinas correspondientes. Esta conmutación del campo de estator se realiza de forma electrónica. Debido a esto, se eliminan los inconvenientes de la conmutación mecánica: se tiene un motor con mayor vida útil y rendimiento y menores emisiones de interferencia electromagnética. El inconveniente de la conmutación electrónica radica en que se requieren varios componentes adicionales tales como llaves electrónicas, una lógica de control para el comando de las mismas y supervisión de la posición del rotor. De forma genérica, se llama driver a la electrónica encargada de tomar la tensión de la fuente y aplicarla a las bobinas del estator según la posición del rotor. Recientemente, el costo de los componentes electrónicos ha disminuido a tal punto que los motores sin escobillas se han empezado a utilizar para gran cantidad de aplicaciones en las que aventajan a los motores con escobillas y motores de inducción.

\*Autor en correspondencia.

El presente trabajo muestra los avances realizados en la construcción de un driver para motores sin escobillas.

## 2. Diseño general del driver

El driver se compone de un inversor trifásico con seis transistores bipolares de compuerta aislada (IGBT). Estas conectan la tensión del bus o barra de continua a las bobinas del motor en la secuencia indicada por el control electrónico. Este último decide que bobinados se deben energizar dependiendo de la posición del rotor. Esta variable es obtenida mediante tres sensores dispuestos de forma equiespaciada alrededor del rotor. En la Fig. 1 se muestra un esquema simplificado del driver conectado al motor.

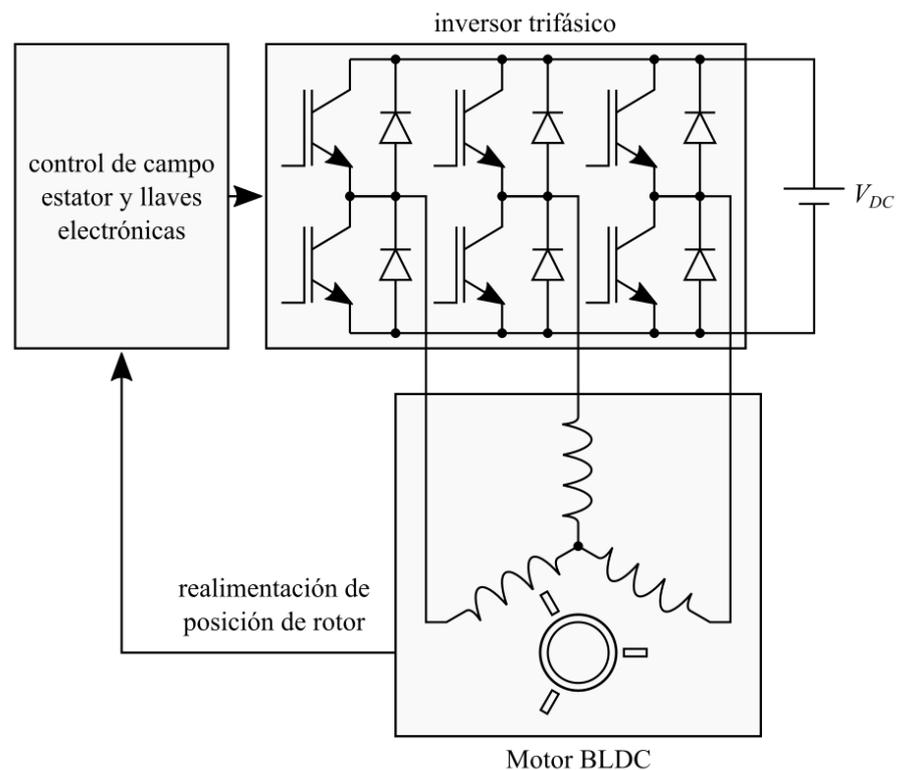
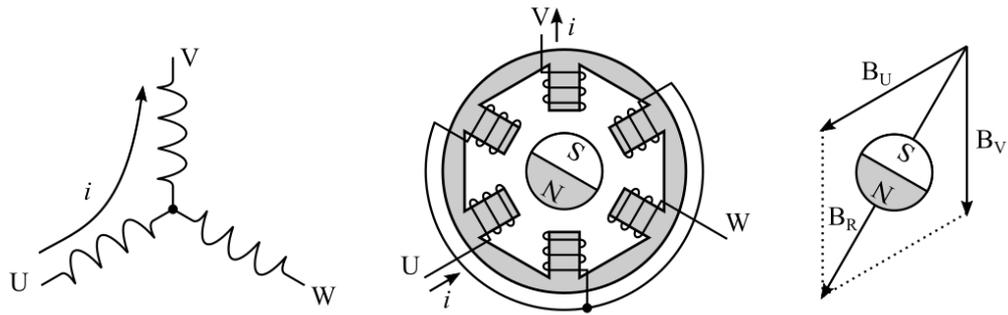


Fig. 1. Esquema genérico del driver conectado al motor.

El bloque indicado como 'control de campo estator y llaves' engloba un procesador digital de señales (DSP) TMS320F28335 de Texas Instruments y circuitos auxiliares para el comando de las compuertas de los transistores.

### 2.1. Orientación de campo estator

Como puede apreciarse en la Fig. 1, los bobinados del estator se conectan en estrella, lo que deja acceso a tres conductores. Si se hace circular una corriente entre dos de ellos (dejando al tercer terminal sin conectar) se tiene un campo en el estator que tiende a orientar al eje en una posición determinada por la geometría de la construcción del motor. La interacción entre este campo y los imanes del rotor hace que este tienda a orientarse en la misma dirección. Este fenómeno se grafica en la Fig. 2.

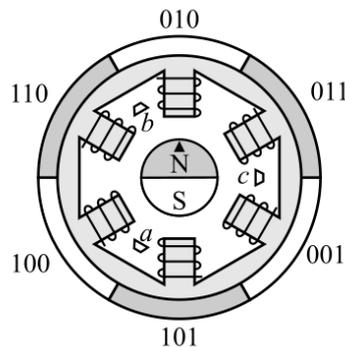


**Fig. 2. Orientación de campo estator para el caso en que la corriente entra por el borne U y sale por el V. El rotor tiende a alinearse con el campo resultante.**

Siendo que son posibles seis variantes de la conexión descrita, el campo estator puede tener solamente seis direcciones diferentes.

### 2.2. *Sensado de posición de rotor*

La posición del rotor debe ser conocida para determinar qué dirección de campo debe aplicarse. Para ello, se emplean sensores de posición de efecto Hall con salida digital con cerrojo (latch). Estos reaccionan ante campos magnéticos y se ubican tres alrededor del rotor. Al pasar el polo norte del rotor frente a uno de ellos, este entrega una salida lógica 1 y mantiene este estado hasta que pase el polo sur, momento en que la salida conmuta a 0. No es posible que los tres sensores tengan el mismo estado durante el funcionamiento normal, lo que permite solo seis combinaciones o códigos de salida diferentes. La misma disposición de los sensores hace que cada código de salida se corresponda con una sección de 60° del giro completo como se observa en la Fig. 3.



**Fig. 3. Códigos de salida de los sensores y los segmentos de arco correspondientes.**

Así, dado un determinado código de salida, la posición angular del rotor se encuentra dentro del arco correspondiente a dicho código.

### 2.3. *Secuencia de conmutación y modulación de tensión aplicada*

Se produce el par máximo en el eje cuando el campo de estator se encuentra a 90° respecto del campo de los imanes del rotor. El DSP en el bloque de control se programa para leer de forma continua el código de salida de los sensores y encender las dos llaves que producirían un campo estator (aproximadamente) en cuadratura con la posición angular actual del rotor.

Si bien, la determinación de la posición es más bien grosera, se debe recordar que solo es posible orientar el campo estator en seis direcciones diferentes. Por ende, es suficiente con una resolución similar (seis pasos) para que el control decida en qué dirección orientar el campo para mantener girando al rotor con el máximo par posible. Esta conmutación en seis pasos asegura que el ángulo entre el campo de los imanes del rotor y el campo estator este comprendido entre  $60^\circ$  y  $120^\circ$  (o  $90 \pm 30^\circ$ ).

El inversor propiamente dicho consta de seis transistores FGY75N60SMD. Para proveer el impulso de corriente necesario para activar estos transistores, se emplean drivers integrados IR2110. Además, se utilizan optoacopladores 6N137 para mantener la aislación galvánica entre las salidas del DSP y el inversor.

Utilizando modulación de ancho de pulso (PWM) es posible variar la tensión efectiva aplicada al motor y de esta forma, regular la velocidad del mismo. Las ecuaciones (1) y (2) describen un modelo aproximado del comportamiento del motor BLDC.

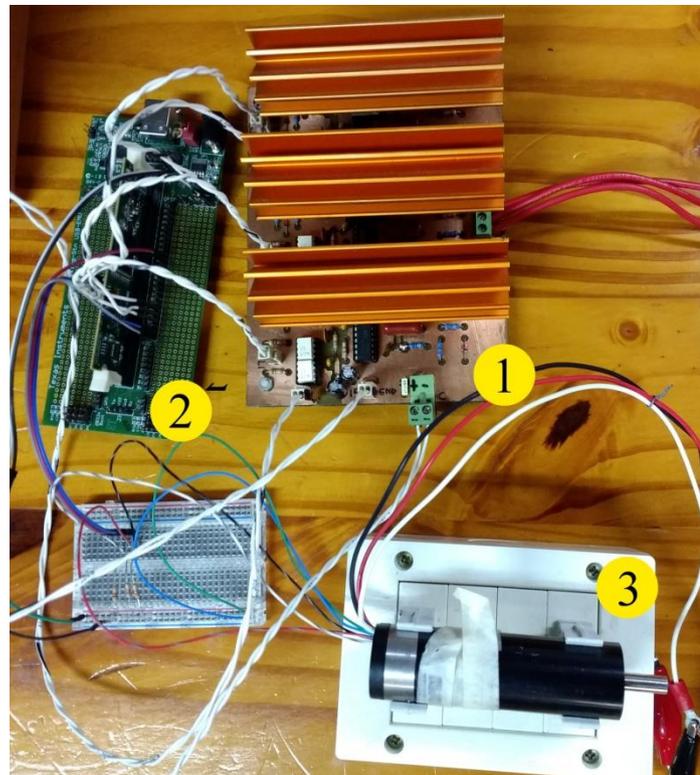
$$u = iR + \frac{di}{dt}L + k_v\omega \quad (1)$$

$$\tau = ik_\tau + b\omega \quad (2)$$

Estas ecuaciones son semejantes a las que correspondieran a un modelo de motor DC convencional, del que se sabe, la velocidad es aproximadamente proporcional a la tensión aplicada [2].

### 3. Implementación y resultados

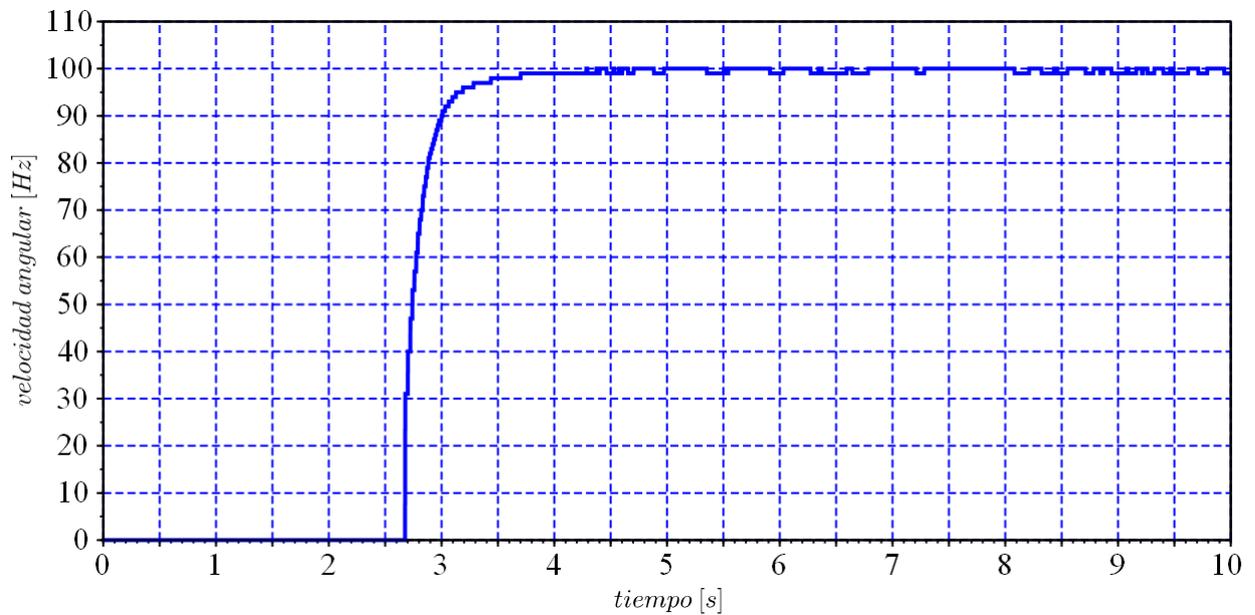
La electrónica de potencia del driver se montó en una placa de circuito impreso construida de forma artesanal. El control se implementó en un kit de desarrollo de Texas Instruments. Este consiste en una placa de circuito impreso con el DSP TMS320F28335, su correspondiente herramienta de programación y terminales de conexión. El motor utilizado para el ensayo del driver es un Maxon351144. En la Fig. 4 se observa una fotografía del montaje experimental.



**Fig. 4: Montaje para la prueba del driver. 1: placa de electrónica de potencia, 2: kit de desarrollo con DSP, 3: motor brushless.**

Para el ensayo se utilizó una tensión del bus DC de 12 V. Se implementó un control de velocidad sencillo en el DSP (control PI) junto con la lógica de conmutación para mantener la frecuencia de giro del eje en un valor determinado. El control mide la velocidad de giro del eje calculando la inversa del tiempo que le toma dar una revolución. Este tiempo se toma de la salida de uno de los sensores de posición. La acción de control modula el patrón PWM aplicado a las llaves del inversor. Como se expuso en la sección anterior, esto tiene el mismo efecto que hacer variar la tensión aplicada al motor. El control se vale de este principio para mantener la velocidad en el valor consigna.

El motor utilizado tiene una velocidad nominal de 64000 RPM (a 36 V) pero para el experimento se estable una consigna de 100 Hz, equivalentes a 6000 RPM. En la Fig. 5 se observa la evolución temporal de la velocidad del eje durante el ensayo.



**Fig. 5. Resultados del experimento. Respuesta de velocidad del motor para una consigna de 100 Hz.**

Se observa que la frecuencia del eje (recíproco de la velocidad) se establece en el valor consigna de 100 Hz.

#### 4. Conclusiones

De la experimentación con el prototipo del driver, se concluye que este funciona de manera satisfactoria. Se espera que en el futuro, el conocimiento adquirido durante el diseño y construcción del prototipo evaluado se emplee en otros proyectos relacionados con el control de motores y conversión de la energía dentro del LABSE.

#### 5. Referencias

- [1] Padmaraja Yedamal, “Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals”, Microchip Technology Inc AN885.
- [2] Ward Brown, “Brushless DC Motor Control Made Easy”, Microchip Technology Inc AN857.