

# Control de Motores Sin Escobillas (BLDC) y con Sensores Usando el Microcontrolador ARM CORTEX3 con 32 Bits de Lpcxpresso. (Febrero 2013)

Oscar Saigua<sup>(1)</sup>, Emerson Chang<sup>(2)</sup>, Carlos Valdivieso<sup>(3)</sup>  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación<sup>(1)(2)(3)</sup>  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)<sup>(1)(2)(3)</sup>  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral, Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador<sup>(1)(2)(3)</sup>  
osaigua@fiec.espol.edu.ec<sup>(1)</sup>, echang@fiec.espol.edu.ec<sup>(2)</sup>, cvaldiv@fiec.espol.edu.ec<sup>(3)</sup>

## Resumen

*Este artículo tiene como objetivo mostrar el control de un motor BLDC (sin sensores ) ajustando parámetros tales como su velocidad, sentido de rotación, encendido y apagado del motor, por medio de 4 botoneras que permiten la interacción con el usuario, además de esto contamos con una pantalla led que nos ayuda a visualizar el gráfico de forma de onda de la velocidad que adquiere el motor con el paso del tiempo.*

*Para la realización del proyecto utilizaremos las tarjetas LPCXPRESSO 1769 y 1114 así como el Motor Control Board que es una plataforma universal para control de motores con microcontroladores desarrollados por la compañía NXP, estos dispositivos fueron programados con la ayuda de una herramienta de programación llamada LPCXPRESSO 4.*

**Palabras claves:** LPCXPRESSO, Motor Control Board

## Abstract

*This article will demonstrate how to control a BLDC motor (sensorless) through the modification of some parameters such as speed, sense of rotation, power on and power off using 4 buttons that will allow the interaction with the user, additionally we have a led screen that will show the motor's speed waveform chart that acquires over time.*

*For the development of this project we will use the LPCXpresso 1769 and 1114 boards and the motor control board that is a universal platform to control motors with microcontrollers designed by NXP Corporation, all devices were programmed using a programming tool called LPCXPRESSO 4.*

**Keywords:** LPCXPRESSO, Motor Control Board.

## I. INTRODUCCION

Nuestro proyecto tiene como objetivo el uso de técnicas utilizadas en el control de motores BLDC sin sensores usando el microcontrolador ARM Cortex3 con 32 bits de LPCXPRESSO poniendo en práctica los conocimientos aprendidos durante el seminario de graduación de Microcontroladores Avanzados. Se usará el software LPCXPRESSO 4 con lenguaje de programación C para el desarrollo de los programas que controlen nuestro proyecto. Con esto buscamos demostrar la utilidad y la importancia que tienen los sistemas embebidos así como las grandes ventajas que nos ofrecen en nuestra vida diaria, además de obtener gran cantidad de conocimientos acerca del funcionamiento de este tipo de sistemas y lo determinantes que pueden ser para el desarrollo de la tecnología.

## II. DESCRIPCIÓN

La realización de nuestro proyecto se basa en mantener el control sobre un motor BLDC en parámetros tales como velocidad y sentido de rotación, utilizando dispositivos tales como el Motor Control Board y la tarjeta LPC1114. Nuestro principal problema se basa en como nuestros compañeros podrán interconectar sus prototipos con los nuestros ya que en su caso utilizan una tarjeta LPC1769 en conjunto con otros dispositivos para de esta manera mantener el control sobre el motor BLDC, por lo que será necesaria la implementación de algún sistema que nos permita la interconexión y a su vez la interacción entre ambos prototipos.

Al ser presionada una de nuestras botoneras se envía una señal (bajo) hacia la tarjeta LPC1769 que a su vez se encarga de enviar las señales hasta la LPC1114 la cual conjuntamente con nuestro Motor Control Board permite que el motor realice una determinada función.

## III. TARJETA LPCXPRESSO 1769

La tarjeta LPC1769 es un ARM Cortex M3 basado en microcontroladores para sistemas embebidos con un alto nivel de integración. El ARM Cortex M3 es la siguiente generación de procesadores usados en un sinnúmero de aplicaciones estándar.

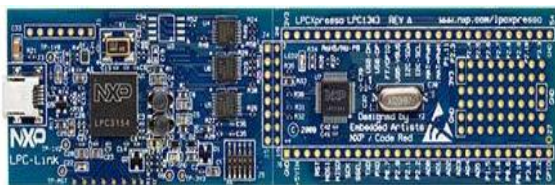


Figura 1. Tarjeta LPCxpresso 1769.

## A. CARACTERÍSTICAS DE LA TARJETA LPCXPRESSO 1769

Entre las principales características de la tarjeta LPC1769 tenemos:

- Posee un procesador ARM Cortex M3 operando a velocidades de hasta 120Mhz.
- Registros de transmisión y recepción independientes
- Memoria flash tiene una capacidad de 512 Kb.
- Memoria SRAM de 64 Kb.
- Posee interfaces de comunicaciones: SPI, RS232, I2C, Ethernet.
- Cuenta con comunicación USB OTG [1].

## IV. TARJETA LPCXPRESSO 1114

El LPC1114es un procesador basado en ARM Cortex-M0, de bajo costo de 32-bit, diseñado para aplicaciones de microcontrolador8/16-bit, que ofrece buen rendimiento, bajo consumo de potencia, simple conjunto de instrucciones y fácil direccionamiento de memoria, junto con el tamaño de código reducido en comparación con arquitecturasexistentes8/16-bit. EILPC1114opera en frecuencias de la CPU de hasta 50MHz.



Figura 2. Tarjeta LPCxpresso 1114

## A. CARACTERÍSTICAS DE LA TARJETA LPCXPRESSO 1114

- Microcontrolador NXP LPC1114 Cortex M-0 de hasta 50 Mhz
- Posee 32Kb de memoria flash y 8Kb de SRAM.
- Memoria flash tiene una capacidad de 512 Kb.
- Tiene un I2C de alta velocidad.
- Dos conexiones SSP y SPI.
- Cuenta con 4 timer/Contadores.
- Un convertidor ADC de 10 bits.
- Posee 42 pines de entrada/ salidas de propósito general [2].

## V. MOTOR CONTROL BOARD

Se trata de una plataforma universal para el control de baja tensión del motor basado en microcontroladores de NXP. Con esta plataforma es posible controlar BLDC, BLAC, motores de paso y motores de corriente continua. El motor control LPCXpresso tiene una estructura tal como se indica en la figura 4. El lado derecho contiene la electrónica de potencia para la conducción de las fases del motor.

El lado izquierdo es el lado de control con zócalos para tarjetas de LPCXpresso diferentes, así como una toma de control del procesador PLCC434. También contamos con un OLED y una palanca de mando que puede servir como una interfaz de usuario para el sistema.



Figura 3. Motor Control Board.

### A. CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR CONTROL BOARD

- Zócalo para LPCXpresso LPC1114, LPC11C24 and LPC1343.
- 12-30V voltaje de entrada, 17A máxima corriente (max 300W salida).
- 15W fuente de alimentación (+11V, +5V, +3.3V).
- Joystick de 5 posiciones.
- Dimensiones de 200 x 150 mm.
- Pantalla OLED de 96x64 pixeles [3].

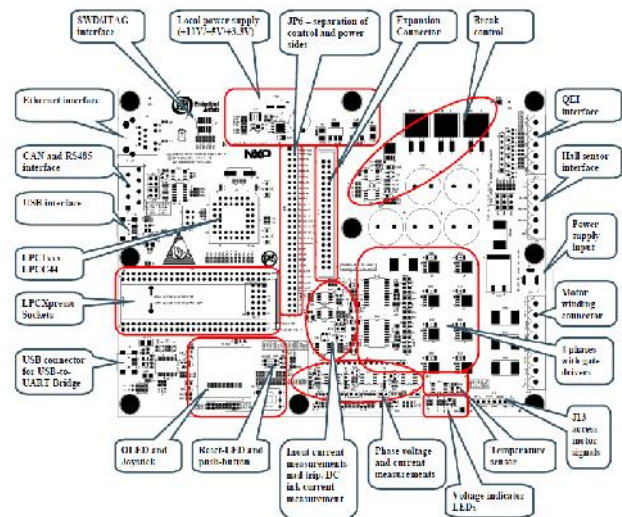


Figura 4. Vista de los componentes del Motor Control Board.

## VI. MOTOR BRUSHLESS DC (BLDC)

Un motor DC sin escobillas, conocido más comúnmente como motores BLDC por sus abreviaturas en inglés: BRUSHLESS DIRECT CURRENT, en los últimos años estos motores tienen una gran demanda por sus beneficios.

La palabra brushless se puede traducir como "sin escobillas", las escobillas son los elementos que hacen contacto en el colector de un motor común que en los motores DC más pequeños, son de una aleación de cobre y en motores más grandes son de un compuesto a base de carbón.

Los motores brushless han derivado de los motores de los CD ROM, los DISCOS RIGIDOS y los ventiladores de computación, son motores trifásicos de alto rendimiento y bajo peso. Estos motores carecen de colector y escobillas o carbones, entonces en vez de funcionar en DC funcionan en AC, la mayoría se alimentan con una señal trifásica, esta señal idealmente debería ser sinusoidal, pero en la práctica son pulsos, haciendo que la señal sea un continuo pulsante o bien una continua con mucho componente de AC sin embargo se los clasifica como de DC porque al igual que los motores comunes tienen imanes permanentes, estos imanes son atraídos por la polaridad de un campo magnético generado en las bobinas, las cuales como decíamos reciben pulsos en un patrón específico, si queremos que el motor gire más rápido, simplemente hacemos girar el campo magnético secuencial a mayor velocidad o lo que sería lo mismo aumentar la frecuencia de los pulsos.



Figura 5. Motor BLDC.

#### A. VENTAJAS DEL USO DE MOTORES BRUSHLESS DC (BLDC)

- Mayor rendimiento.
- Mayor eficiencia (menos pérdida por calor).
- Alta eficiencia sin caída de tensión.
- Requieren menos mantenimiento al no tener escobillas.
- Mejor disipación de calor.
- Rango de velocidad elevado al no tener limitación mecánica.
- Menor ruido electrónico (menos interferencias en otros circuitos).

#### B. DESVENTAJAS DEL USO DE MOTORES BRUSHLESS DC (BLDC)

- Mayor costo de construcción.
- El control es mediante un circuito caro y complejo.
- Siempre hace falta un control electrónico para que funcione, lo que a veces duplica el costo del aparato [4].

### VII. MOTORES BLDC SIN SENSORES DE EFECTO HALL

En los motores BLDC se miden la fuerza contra electromotriz FEM en las bobinas para deducir la posición del rotor, eliminando la necesidad de sensores separados de efecto Hall, y por lo tanto a menudo se llaman los reguladores “sensorless”. Como un motor de CA, el voltaje en las bobinas es sinusoidal, pero sobre una conmutación entera la salida aparece trapezoidal debido a la salida de la C.C. del regulador. El regulador contiene 3 bidireccionales para conducir potencia de CC. De gran intensidad, que son controladas por un circuito lógico. Los reguladores simples emplean comparadores para determinarse cuando la fase de salida debe ser de avanzada, mientras que reguladores más avanzados emplean a microcontroladores para manejar la aceleración, la velocidad del control y eficiencia. Los reguladores que detectan la posición del rotor basada en la back FEM tienen desafíos del suplemento en iniciar el movimiento porque no se produce ningún back-FEM cuando el rotor es inmóvil. Esto es lograda generalmente comenzando la rotación a partir de una fase

arbitraria, y después saltando a la fase correcta si se encuentra para ser incorrecto. Esto puede hacer el motor funcionar brevemente al revés, agregando aún más complejidad a la secuencia de lanzamiento.

### VIII. LPCXPRESSO V 4.1.5

Es una herramienta de desarrollo para programar tarjetas creadas por la compañía LPCXpresso en la cual la programación se la realiza en el lenguaje C/C++ entre sus características principales podemos mencionar que posea un compilador paso a paso que nos permite ir observando línea por línea el desarrollo del programa.

El LPCXpresso IDE ha sido desarrollado por CodeRed junto a NXP. El mismo incluye un entorno de Eclipse específicamente adaptado para interactuar con la tarjeta.

Eclipse utiliza algunos conceptos comunes a otros programas de desarrollo por lo que vamos a ver algunos detalles.

Workspace es donde se encuentran nuestros proyectos. Estos proyectos pueden ser aplicaciones y/o bibliotecas. También almacena todas las configuraciones del entorno por lo que se puede mover muy fácilmente de computadora en computadora con solo almacenar una copia del workspace.

El Proyecto puede ser de dos tipos. Biblioteca estática o una aplicación ejecutable. Aquí se contiene archivos de código fuente (.c), encabezados (.h) y cualquier otro archivo que se desee.

El workspace se encuentra ubicado en la parte encerrada en el cuadro de color rojo y el área encerrada en el rectángulo en azul corresponde a los proyectos [5].

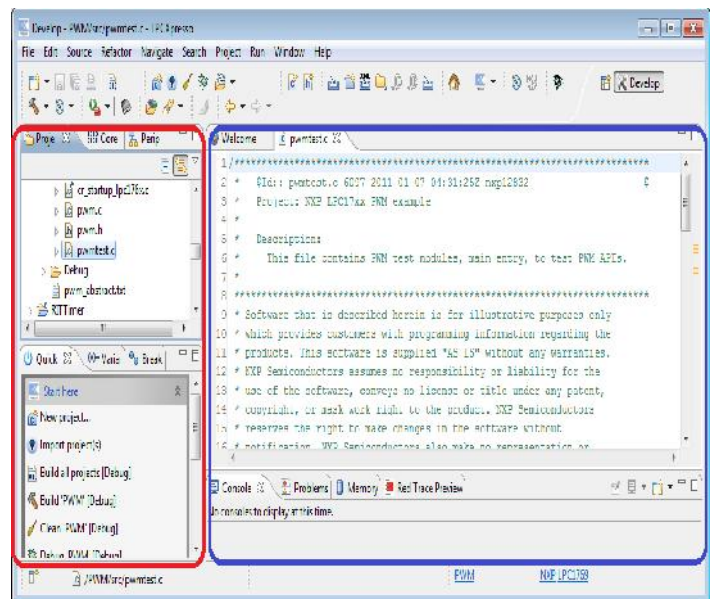


Figura 6. Vista del programa LPCXpresso



## IX. DESARROLLO DEL PROYECTO

### A. DESCRIPCIÓN

La tarjeta LPC1114 es el dispositivo que se encarga de controlar el motor BLDC, ya sea para controlar su velocidad, sentido de giro, para iniciar o detener su movimiento. La tarjeta LPC1769 es la aquella que se encarga de procesar las señales que llegan desde el exterior ya sea de un joystick o de un conjunto de botoneras, dicha tarjeta envía las señales de voltaje para de esta manera lograr alguna respuesta inmediata en el motor BLDC. El motor control board trabaja conjuntamente con la tarjeta LPC1114 para mantener un control constante sobre el motor, controlando parámetros básicos como la velocidad máxima, velocidad mínima, temperatura, cabe recalcar que ambas tarjetas LPC trabajan con lógica negativa, podremos también observar que en nuestro motor control board se encuentra acoplada una pantalla oled que nos va a permitir la visualización del gráfico de forma de onda del movimiento del motor así como una pequeña presentación inicial, además de esto nos mostrará la temperatura del motor, lo cual es muy importante para el cuidado del mismo.

### B. DIAGRAMA DE BLOQUES

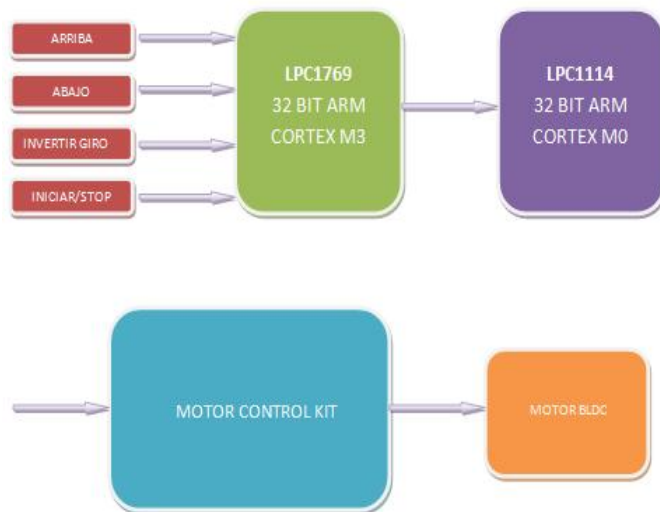


Figura 7. Diagrama de bloques Control de Motor BLDC.



Figura 8. Control de Motor BLDC.

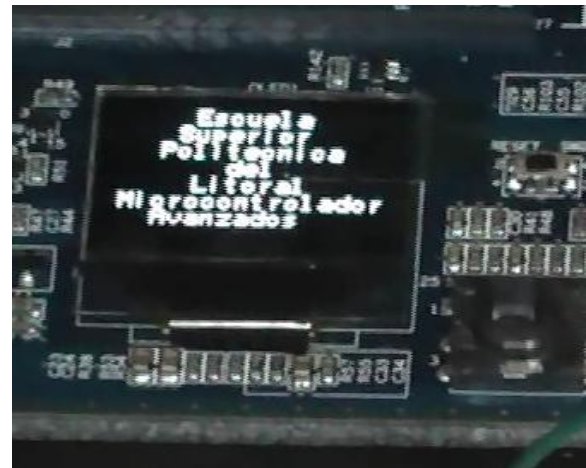


Figura 9. Pantalla Oled.

### C. DISTRIBUCIÓN DE PINES DE LA TARJETA LPC1769

A continuación se detalla los pines utilizados en el microcontrolador LPC1769 para el ingreso de las señales provenientes de las botoneras.

Puerto	Pin	Descripción	Salida
P2[0]	J6-46	Inicio/Pausa	Con1
P2[1]	J6-47	Invertir Giro	Con2
P2[2]	J6-48	Incremento de velocidad	Con3
P2[3]	J6-49	Disminución de velocidad	Con4

Tabla 1. Conexiones LPC1769.

#### D. DISTRIBUCIÓN DE PINES DE LA TARJETA LPC1114

Aquí se detallan los pines utilizados en el microcontrolador LPC1114.

Puerto	Pin	Descripción
P3[0]	J6-25	Con1
P3[1]	J6-26	Con2
P3[2]	J6-27	Con3
P3[3]	J6-53	Con4

Tabla 2. Conexiones LPC1114.

#### X. CONCLUSIONES

1. Luego de la realización de nuestro proyecto hemos podido completar la implementación de un control para motores BLDC usando sistemas embebidos provistos por LPCXpresso los cuales fueron las tarjetas LPC1114 Cortex M0 y LPC1769 Cortex M3 junto con el kit motor control y estos a su vez constituyeron el hardware. Y para el software usamos el programa LPCXpresso junto con las notas de aplicación de Microchip las cuales fueron de gran utilidad estas son: AN857a y AN957 obteniendo como resultado el control del motor BLDC cumpliendo con los objetivos propuestos como controlar la velocidad y el cambio de giro.
2. Se comprobó que el motor BLDC sin sensor está destinado principalmente al aeromodelismo y para aplicaciones en las cuales no se requieren un control a bajas velocidades ya que su control se torna crítico; así mismo para que el motor BLDC sin sensores opere debe existir una pequeña fuerza contra electromotriz a fin de ser medida y poder saber así la ubicación del eje del rotor para luego controlar los transistores del puente H. En cambio los motores BLDC con sensores de efecto Hall han ganado mucho terreno en el ámbito industrial y actualmente se encuentran en gran cantidad de procesos industriales como a su vez los vemos en electrodomésticos. Los motores que incluyen sensores Hall generalmente manejan gran mayor de potencia que los de aeromodelismo mientras que los BLDC sin sensores son motores pequeños y de poca potencia es decir poseen bajo HP.
3. El funcionamiento del motor BLDC es controlado por las tarjetas LPC1114 Cortex M0 y LPC1769 Cortex M3. El kit del motor control fue de gran utilidad ya que dicho kit proveía la parte del circuito de fuerza necesario para hacer arrancar el motor, lo que nos ayudó a ahorrar tiempo y dedicarnos a la programación de las tarjetas para efectuar el control del motor.

4. Logramos controlar la velocidad del motor BLDC con una velocidad máxima de 4100rpm y una mínima de 600rpm. Disminuyendo o aumentando la velocidad desde una botonera que al presionarla varía la velocidad en 50rpm, lo que permite a la persona alcanzar una determinada velocidad, incluso poseemos una pantalla que nos permite observar la curva de velocidad del motor.

#### XI. RECOMENDACIONES

1. Al usar tarjetas embebidas como las utilizadas en este proyecto se recomienda sostenerlas por los lados procurando no tocar las partes electrónicas ya que una descarga electrostática podría quemar los componentes de la misma.
2. Al momento de cargar los programas en dichas tarjetas usando el cable micro USB verificar que este correctamente conectado el cable tanto a la tarjeta como la PC para una correcta programación de la tarjeta, al mismo tiempo al retirar el cable tomarlo por la base del mismo y no halarlo lo que podría dañar la tarjeta o el cable.
3. Al realizar el cambio de giro del motor es recomendable reducir las velocidad del motor, ya que aunque el proyecto es diseñado para hacer un cambio de giro instantáneo. Al realizar se produce un movimiento brusco en el motor que podría afectar tanto al motor como a las conexiones realizadas al mismo.
4. Se debe conectar el GND de las tarjetas y el kit del motor control en un punto común para las tres referencias del GND.

#### XII. REFERENCIAS

- [1] NXP Semiconductors, LPC 1769/68/67/66/65/64/63 Product Data Sheet, [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/LPC1769\\_68\\_67\\_66\\_65\\_64\\_63.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LPC1769_68_67_66_65_64_63.pdf), fecha de consulta marzo 2012.
- [2] NXP Semiconductors, LPC 1110/12/13/14/15 Product Data Sheet, [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/LPC1769\\_68\\_67\\_66\\_65\\_64\\_63.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LPC1769_68_67_66_65_64_63.pdf), fecha de consulta marzo 2012.

[3] NXP Semiconductors, LPCXpresso Motor Control Kit User's Guide, [http://www.embeddedartists.com/sites/default/files/support/xpr/motor\\_kit/LPCXpresso\\_Motor\\_Control\\_User\\_s\\_Guide.pdf](http://www.embeddedartists.com/sites/default/files/support/xpr/motor_kit/LPCXpresso_Motor_Control_User_s_Guide.pdf), fecha de consulta marzo 2012.

[4] Master Ingenieros S.A., Motores Brushless sin Escobillas Características Fundamentales, <http://www.masteringenieros.com/master/Ficheros/File/motor.pdf>, fecha de consulta abril 2012.

[5] NXP Semiconductors, Getting Started with NXP LPCXpresso, <http://ics.nxp.com/support/documents/microcontrollers/pdf/lpcxpresso.gettingstarted.pdf>, fecha de consulta marzo 2012.