



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y TECNOLOGICA



# Control mediante Joystick de tarjeta AVR Butterfly usando módulos de radiofrecuencia para comunicación con tarjeta LPCXpresso controladora de motor BLDC y presentación en display de mensajes de operación (Diciembre 2012)

Ana Jiménez<sup>(1)</sup>, Xavier López<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>  
anesjime@fiec.espol.edu.ec<sup>(1)</sup>, xlopez@fiec.espol.edu.ec<sup>(2)</sup>, cvaldiv@fiec.espol.edu.ec<sup>(3)</sup>

## Resumen

*El presente proyecto describe el funcionamiento de la comunicación UART mediante radiofrecuencia entre las tarjetas de desarrollo AVR Butterfly, LPCXpresso 1769 y tarjeta controladora "Motor control Kit".*

*El control de un motor BLDC se lo realiza a través de un joystick de la tarjeta AVR Butterfly, la cual envía las instrucciones al módulo inalámbrico HM-TR para transmitir los datos obtenidos a través del puerto UART de la misma tarjeta. Para la recepción de los datos se hace uso de un módulo similar al del transmisor, el cual convierte la señal modulada en bits, que son enviadas a la tarjeta LPCXpresso1769, las cuales son procesadas y sus salidas son las instrucciones programadas para el control del motor BLDC las cuales son recibidas por la tarjeta controladora del motor LPCXpresso1114.*

**Palabras claves:** AVR Butterfly, Comunicación UART, LPCXpresso1114, LPCXpresso1769.

## Abstract

*The present project describes the operation of the UART communication via radio frequency between AVR Butterfly, 1769 LPCXpresso development boardcards and controller boardcard "Motor Control Kit".*

*The control of a BLDC motor is done through a joystick of the AVR Butterfly card, which sends instructions to the wireless module HM-TR to transmit the data obtained through the UART port of the same card. For the reception of the data makes use of a module similar to the transmitter, which converts the modulated signal in bits, that are to be sent to the LPCXpresso1769 card, which are processed and their outputs are programmed instructions for the control of the BLDC motor which are received by the motor controller boardcard LPCXpresso1114.*

**Keywords:** AVR Butterfly, UART Communication, LPCXpress1114, LPCXpresso1769.

## I. ANTECEDENTES

La importancia de las comunicaciones seriales, su aplicación en el campo de la industria, ha expandido de una manera acelerada el desarrollo e implementación de dispositivos capaces de transmitir y recibir datos cada más rápido y sin distorsión. Uno de los medios actualmente más utilizados es la radiofrecuencia, debido a su versatilidad y facilidad para la instalación de los equipos de transmisión.

Para la realización del proyecto se utilizó las tarjetas de desarrollo AVR Butterfly, LPCXpresso 1769 y “Motor Control Kit”, las cuales servirán de y control para un motor BLDC con sensores. La comunicación empleada entre ambas tarjetas de desarrollo es la UART, pero con una variación en la transmisión y recepción de datos; ya que se utiliza módulos inalámbricos de radiofrecuencia para dicha función.

La función de receptor la cumple la tarjeta AVR Butterfly, que por medio del joystick permite al usuario interactuar con las funciones de posición que son mostradas en la pantalla LCD que esta posee. Dichas funciones se transmiten por radiofrecuencia, y son recibidas por la tarjeta LPCXpresso, posteriormente son procesadas y enviadas a la tarjeta “Motor Control Kit” como instrucciones para el control al motor que esta tiene acoplado.

## II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Los motores de corriente continua sin escobillas (BLDC) son uno de los tipos de motores que más popularidad ha ganado en los últimos años. Actualmente, los motores BLDC se emplean en sectores industriales tales como: Automóvil, Aeroespacial, Médico, equipos de automatización e instrumentación.



Fig. 1. Vista lateral de un motor BLDC. [10]

Estos motores carecen de colector y escobillas o carbones, 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. En la figura 1 se muestra una vista lateral de un motor BLDC. [10]

### *CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES*

Los motores BLDC tienen muchas ventajas frente a los motores DC con escobillas y frente a los motores de inducción. Algunas de estas ventajas que presentan son una mejor relación velocidad-par motor, la relación par motor-tamaño es mucho mayor, lo que implica que se puedan emplear en aplicaciones con una mayor respuesta dinámica, mayor eficiencia mejorando la vida útil, reduciendo el ruido y permitiendo mayores rangos de velocidad. [10]

### *PROPAGACION POR RADIO FRECUENCIA*

Las ondas electromagnéticas son aquellas que son capaces de viajar a través del vacío, a diferencia de las ondas mecánicas que necesitan un medio material para poder propagarse. Como su nombre indica, la radiación electromagnética consta de carga eléctrica y magnética. Existe un enorme rango de ondas electromagnéticas y se diferencian por su frecuencia. [14]

### *CARACTERÍSTICAS DE LA RADIOFRECUENCIA*

Dos características importantes de las radiaciones electromagnéticas son: la energía fotónica y la velocidad de propagación.

La velocidad de transmisión de estas radiaciones es siempre la misma, 300.000 Km/s. (velocidad de la luz), sin importar su frecuencia o energía. La radiación electromagnética es un transporte de energía mediante partículas (cuantos) a través del espacio. Estas partículas se desplazan siguiendo un movimiento ondulatorio que da lugar a una onda y son portadoras de energía eléctrica y energía magnética. [14]

## III. HERRAMIENTAS DE HARDWARE

Se enunciará el hardware utilizado para la implementación de los ejercicios de prueba y el proyecto de graduación, las tarjetas AVR Butterfly, LPCXpresso y los módulos inalámbricos.

### *UART DE LA AVR BUTTERFLY*

El AVR Butterfly tiene incluido un convertidor de nivel para la interfaz RS-232, para reprogramar al AVR Butterfly utilizando la característica “auto-programación” del ATmega169.

La AVR Butterfly tiene un pequeño joystick como entrada para el usuario. Este opera en cinco direcciones, incluyendo el centro. La línea común para todas las direcciones es GND. Esto significa que la resistencia de compensación interna deberá estar habilitada en la ATmega 169 para detectar la entrada desde el joystick. [1]

### ASIGNACION DE LOS PINES PARA LA COMUNICACIÓN CON LA PC

La comunicación con la PC requiere de tres líneas: TXD, RXD y GND. TXD es la línea para transmitir datos desde la PC hacia el AVR Butterfly, RXD es la línea para recepción de datos enviados desde el AVR Butterfly hacia la PC y GND es la tierra común. [1]

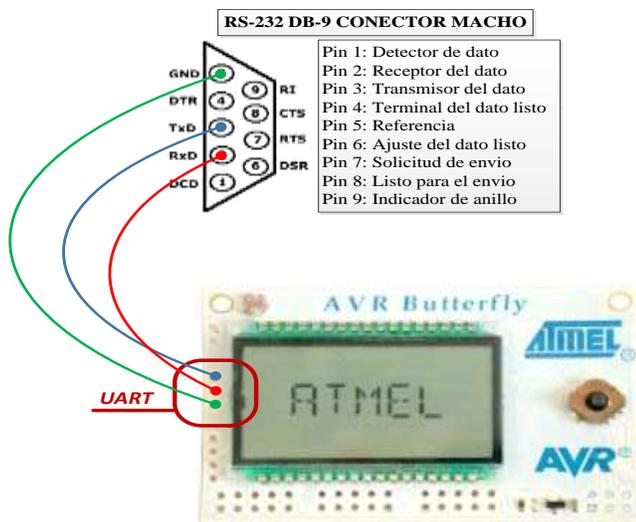


Figura 2. Conexiones para comunicación UART del AVR Butterfly. [1]

Puertos en AVR Butterfly UART	Puerto en PC (RS232)
Pin 1 (RXD)	Pin 3
Pin 2 (TXD)	Pin 2
Pin 3 (GND)	Pin 5

Tabla I Asignación de pines, AVR Butterfly Vs. PC.[1]

En la Figura 2 se observa cómo se debe realizar el cableado para la comunicación, a través de la interfaz serial RS-232, entre el AVR Butterfly y la PC. A la izquierda se aprecia un conector DB9 hembra soldado a los cables que se conectan a la interfaz UART del AVR Butterfly (derecha). En la tabla I se

muestra la asignación de pines de la AVR Butterfly para la comunicación con la PC. [1]

### UART EN LA LPCXPRESSO 1769

El LPCXpresso es un conjunto de herramientas completo para evaluación y desarrollo con microcontroladores de NXP. Esta compuesta por: LPCXpresso IDE y herramientas de desarrollo, IDE basado en Eclipse, Compiler y linker GNU, GDB debugger, LPCXpresso target board (stick), BaseBoard o hardware adicional (opcional). [6]

### MÓDULOS INALÁMBRICOS HM-TR232

El módulo de enlace inalámbrico de datos, series HM-TR es desarrollado por Hope microelectronics Co. Ltd., dedicado para aplicaciones que necesiten transmisión inalámbrica de datos. Esta característica permite una alta tasa de datos, una amplia distancia de transmisión.

Entre las características principales que posee los módulos inalámbricos HM-TR232 son: Tecnología FSK, modo half dúplex, robusto a la interferencia. Banda ISM, no requiere aplicar una licencia de frecuencia para su uso. [5]

En la figura 3 se muestra el esquema de la asignación de cada uno de los pines del módulo inalámbrico HM-TR232.

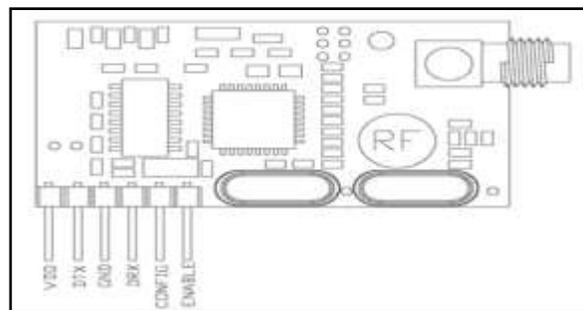


Figura 3. Modulo inalámbrico HM-TR. [5]

## IV. HERRAMIENTAS DE SOFTWARE

Se enunciará brevemente sobre los recursos de software utilizados en el presente trabajo, AVR Studio 4, PROTEUS y LPCXpresso Eclipse como los medios de programación de las tarjetas y simulación de los circuitos implementados.

### SOFTWARE AVR STUDIO 4

Adicionalmente, ATMEL también proporciona en línea el entorno de software AVR estudio 4 que permite editar, ensamblar y simular el código fuente. Una vez ensamblado y depurado el código fuente del programa, se transferirá el código máquina a la memoria flash del microcontrolador para

esto se debe disponer de otro entorno de desarrollo para programar en forma serial o paralelo la memoria flash. [12]



Figura 4. Ventana Principal IDE. [12]

## PROTEUS

Proteus es una aplicación CAD, compuesta de tres módulos:

- ISIS (Intelligent schematic input system): Es el módulo de captura de esquemas.
- VSM (Virtual sistema modelling): Es el módulo de simulación incluyendo Prospice.
- ARES (Advanced routing modelling): Es el módulo para la realización de circuitos impresos (PCB).

El modulo ISIS es un programa que nos permite dibujar sobre un área de trabajo un circuito que posteriormente podremos simular.

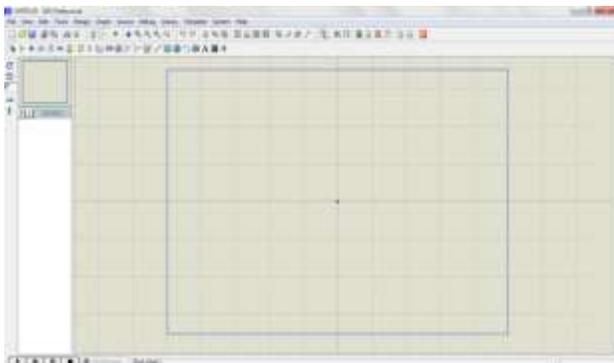


Fig. 6. Ventana de Trabajo de Proteus

PROTEUS posee la aplicación ISIS permite generar circuitos reales, y comprobar su funcionamiento en un PCB (printed circuit board) tarjeta de circuito impreso. Entorno de diseño gráfico de esquemas electrónicos fácil de utilizar e implementar al momento de realizar un circuito electrónico. Proteus cuenta con una gran cantidad de funciones para trabajar con circuitos electrónicos.

## LPCXPRESSO IDE (ECLIPSE)

El LPCXpresso IDE fue desarrollado por “CodeRed” junto a NXP. El mismo incluye un entorno de Eclipse específicamente adaptado para interactuar con el target board. En la figura 5 se muestra el entorno del LPCXpresso IDE. [6]

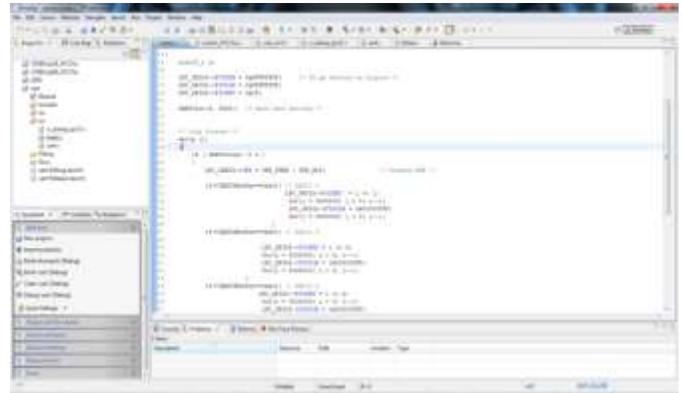


Figura 5. Entorno LPCXpresso IDE [6]

Cuando se tienen todos los archivos .o, se puede proceder al enlace de los archivos para generar un archivo ejecutable. La salida generalmente es un archivo .axf o .elf que contienen el código ejecutable. Luego se puede pasar a un archivo .hex.

## V. DESARROLLO DEL PROYECTO

### DISEÑO Y DESARROLLO DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO

Es un conjunto de tarjetas, componentes electrónicos y fuentes de alimentación DC. Su implementación física se muestra en la figura 7. La estación de trabajo consta de dos partes: La transmisión que el encargada de enviar el dato, la parte receptora que consta de dos componentes las tarjetas LPCXpresso 1769 y “Motor Control Kit”.

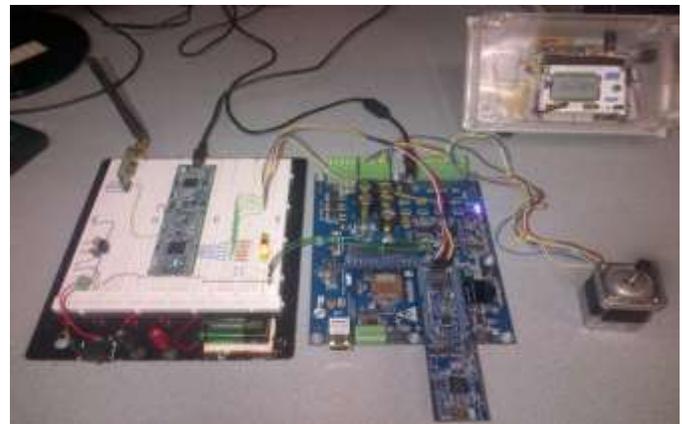


Figura 7. Estación de trabajo

### TRANSMISOR: TARJETA AVR BUTTERFLY

La transmisión del dato es realizada por la tarjeta AVR Butterfly, la fuente de alimentación DC para energizar el módulo inalámbrico HM-TR232, un inversor de señal, que es el encargado de invertir la señal, para que esta llegue con lógica positiva al pin TX del módulo inalámbrico HM-TR232. Cuando esta señal llega al pin TX, el modulo la convierte en una modulación angular de amplitud constante (modulación FSK).



Figura 8. Transmisor: Tarjeta AVR Butterfly y módulo HM-TR232

En la figura 9 se puede ver el detalle de los componentes del transmisor.

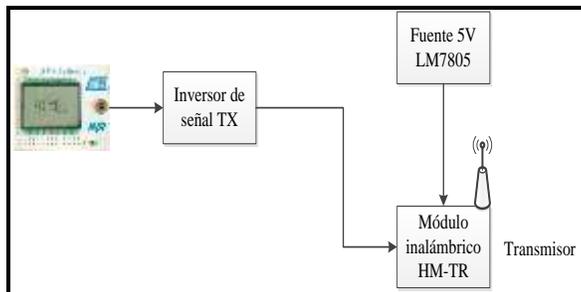


Figura 9. Detalle de componentes del transmisor.

### RECEPTOR: LPCXPRESSO1769 Y "MOTOR CONTROL KIT"

El receptor está constituido de la tarjeta de desarrollo LPCXpresso1769, una fuente de alimentación DC de 5V para energizar el módulo HM-TR232, similar al usado en el receptor, el módulo inalámbrico antes mencionado y el "Motor Control Kit" (MCK). La recepción del dato a través del módulo inalámbrico, el cual realiza la desmodulación de la señal transmitida, que consiste en saber distinguir las dos diferentes frecuencias de entrada para poder generar la onda original. Una vez que la señal es como la enviada por la AVR Butterfly, el módulo inalámbrico lo envía al puerto UART3 de la tarjeta LPCXpresso 1769 por el pin TX3, los datos son procesados y se convierten en las instrucciones para el control

del motor, que a su vez son las entradas para el "Motor Control Kit" efectuó las operaciones previamente programadas.

En la figura 10 se muestra la implementación del circuito receptor, la tarjeta de desarrollo LPCXpresso1769, la fuente de alimentación para el módulo inalámbrico HM-TR232 y "Motor control kit".



Figura 10. Receptor: Tarjeta LPCXpresso, MCK y módulo HM-TR232

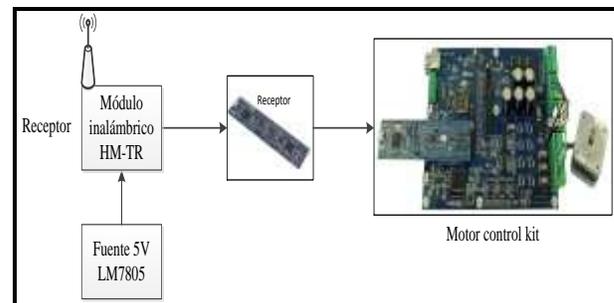


Figura 11. Detalle de componentes del receptor.

### CONTROL DE UN MOTOR BLDC

En este ejercicio se programa, diseña e implementa el proyecto de graduación, el cual consiste en el control de un motor BLDC, las instrucciones de operación para el control son enviadas por el joystick de la AVR Butterfly y se muestra en la pantalla LCD de la misma el envío de dicha instrucción se emplea la radiofrecuencia haciendo uso de los módulos inalámbricos, tanto para transmisión y recepción, una vez que se desmodula señal esta, la recibe la tarjeta de desarrollo LPCXpresso por el puerto RX3 y luego las instrucciones son procesadas y enviadas a las salidas de la misma tarjeta. Estas salidas son las instrucciones para el "Motor Control Kit" que tiene acoplado el motor BLDC.

Para habilitar las instrucciones del joystick, se presiona el botón de arriba, inmediatamente se mostrara en la pantalla el mensaje "ANA JIMENEZ - XAVIER LOPEZ". Las instrucciones asignadas para el control del motor BLDC son las siguientes:

- Botón arriba**, pertenece a la instrucción incrementa velocidad del motor
- Botón abajo**, pertenece a la instrucción reduce la velocidad del motor
- Botón izquierda**, pertenece a la instrucción encendido y apagado del motor.
- Botón derecha**, pertenece a la instrucción cambio de giro del motor.
- Botón centro**, no realiza operación alguna.

## VI. IMPLEMENTACION DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

Se hará uso de la estación de trabajo, el programa de simulación PROTEUS, el AVR Studio 4 y el LPCXpresso IDE. El objetivo principal de los ejercicios es demostrar el funcionamiento de la comunicación UART y los recursos que esta posee.

### SIMULACIONES

En diseño de la AVR Butterfly realizado en PROTEUS se carga el archivo Ejercicio\_3T.hex creado en el programa AVR Studio 4 al compilar el .C. Se muestra en la figura 12 los nombres de los integrantes del proyecto de graduación.

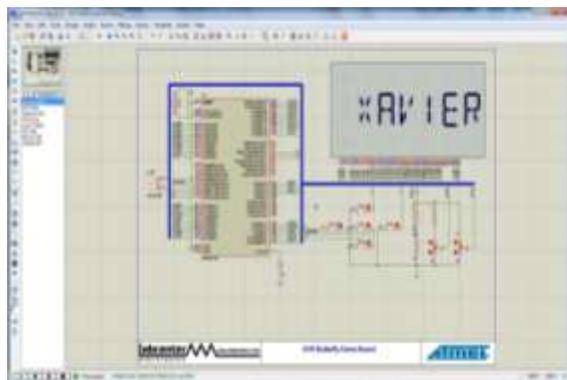
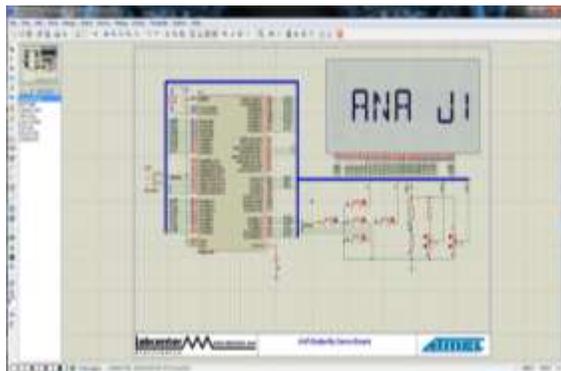


Figura 12. Nombres de los integrantes del proyecto.

## VII. CONCLUSIONES

1. La importancia de la comunicación UART para permitir la interacción de las tarjetas de desarrollo en la transmisión y recepción de las instrucciones de control para el motor BLDC, además de uso de módulos inalámbricos que son aspecto relevante para el proyecto, lo que demuestra que la comunicación UART entre la tarjeta AVR Butterfly que es el encargado de transmitir las instrucciones dadas por usuario a través del joystick de esta tarjeta hacia la tarjeta LPCXpresso 1769 que es la que recibe estas instrucciones, es muy versátil y cual sea el dato a ser enviado, la comunicación UART nos garantiza que el dato no sufrirá ninguna alteración en su contenido.
2. Para la programación de las tarjetas de desarrollo disponemos de un entorno muy amigable al momento de escribir, compilar y ejecutar el código fuente para cada una de ellas; lo que representa un punto muy importante para el desarrollo del proyecto ya que no se requiere de un conocimiento avanzado de control de motores BLDC, lo que proporciona al usuario realizar modificaciones en el funcionamiento a su conveniencia sin ningún tipo de contratiempos, garantizando así la operatividad de la estación de trabajo bajo instrucciones previamente establecidas.
3. Los ejercicios de prueba realizados con las tarjetas AVR Butterfly, LPCXpresso 1769 muestran que, sea interactuando con la PC al transmitir un dato y mostrarlo en pantalla o en el encendido de un led, nos asegura que el dato que se envía no sufre alteraciones al momento de transmitirlo o recibirlo y más aun cuando se emplean los módulos inalámbricos para realizar la comunicación UART tampoco se ve alterada, lo cual nos indica que el sistema modular de la estación de trabajo es el indicado para realizar esta comunicación sin ningún inconveniente.
4. La pantalla grafica (Oled) que posee la tarjeta "Motor Control Kit" nos permite apreciar el funcionamiento correcto de las instrucciones de control del motor; cuando hace el arranque del mismo, la variación de su velocidad y su cambio de giro, lo que garantiza que las instrucciones enviadas desde el transmisor hacia el receptor son las mismas que el usuario selecciona cuando opera el joystick de la tarjeta AVR Butterfly, lo que indica la óptima operación de la estación de trabajo.

## VIII. RECOMENDACIONES

1. Un punto fundamental de la configuración de la comunicación UART, es tener en cuenta la velocidad de transferencia de datos (Baud Rates), el valor establecido debe ser el mismo para la parte transmisora representada por la AVR Butterfly,

como para la parte receptora, la tarjeta LPCXpresso1769 para evitar problemas al momento de realizar la comunicación.

2. En la implementación de todo proyecto o prototipo se debe tomar en cuenta que su uso por parte de otras personas, las cuales estén o no familiarizado con la operatividad del dispositivo, se debe en consideración la creación de una guía del usuario que permita el uso del mismo sea lo más fácil y sin ningún tipo de inconveniente previo que ocasione un mal funcionamiento.
3. Una revisión previa a la documentación de los dispositivos utilizados en la implementación de este proyecto, ya sean estos los manuales de usuario proporcionados por cada uno de los fabricantes de dichos dispositivos, fundamentos teóricos de control a motores BLDC, y principios de radiofrecuencia para que hacer un uso más eficiente de la estación de trabajo.
4. Un aspecto importante cuando se haga uso de módulos de radiofrecuencia es analizar su configuración de pines, la comunicación del dato que este maneja, su velocidad de transferencia de datos y modos de operación, para que al momento de realizar la comunicación UART se eviten problemas que a primera vista se asocian al cableado del proyecto, problemas de programación, etc.

## IX. REFERENCIAS

[1] ATMEL, AVR Butterfly Evaluation Kit, User Guide. [www.atmel.com/literature](http://www.atmel.com/literature); Fecha de consulta Febrero 2012.

[2] ATMEL, AVR Butterfly Quick Start, User Guide. [www.atmel.com/products/AVR/butterfly](http://www.atmel.com/products/AVR/butterfly); Fecha de consulta Febrero 2012.

[3] ATMEL, 8-bit AVR Microcontroller with 16k Bytes In-System Programmable Flash. [www.atmel.com/literature](http://www.atmel.com/literature); Fecha de consulta Marzo 2012.

[4] EMBEDDED ARTIST, LPCXpresso Motor Control kit. User Guide. <http://ics.nxp.com/support/microcontrollers/motor.control/>; Fecha de consulta Marzo 2012.

[5] HOPE MICROELECTRONICS CO., LTD HM-TR Transparent Wireless Data Link Module. User Guide. [www.hoperf.com](http://www.hoperf.com); Fecha de consulta Marzo de 2012.

[6] Kharsansky Alan, Introduccion al LPCXpresso y repaso del lenguaje C. Seminario de Sistemas

Embebidos.

[http://laboratorios.fi.uba.ar/lse/seminario/material-2011/Sistemas\\_Embebidos2doC-Intro\\_a\\_LPCXpresso\\_y\\_repaso\\_lenguaje\\_C-Kharsansky.pdf](http://laboratorios.fi.uba.ar/lse/seminario/material-2011/Sistemas_Embebidos2doC-Intro_a_LPCXpresso_y_repaso_lenguaje_C-Kharsansky.pdf); Fecha de consulta Marzo de 2012.

[7] Marcela Rudas, Julian Higuera. Modulador y Desmodulador FSK. [www.mjteleprocesos.tripod.com/monitoreo\\_archivos/FSK.pdf](http://www.mjteleprocesos.tripod.com/monitoreo_archivos/FSK.pdf); Fecha de consulta Marzo 2012.

[8] MLX90287 12V PWM Fan Driver, Melexis, [www.melexis.com/Hall-Effect-Sensor-ICs/Hall-Effect-Fan-Motor-Drivers/MLX90287-739.aspx](http://www.melexis.com/Hall-Effect-Sensor-ICs/Hall-Effect-Fan-Motor-Drivers/MLX90287-739.aspx); Fecha de consulta Marzo 2012.

[9] MLX80151 High current NFET half bridge motorcontroller, Melexis, [www.melexis.com/DC-Motor-Control-ICs/DC-Motor-Control-ICs/MLX80151-712.aspx](http://www.melexis.com/DC-Motor-Control-ICs/DC-Motor-Control-ICs/MLX80151-712.aspx); Fecha de consulta Marzo 2012.

[10] MOTOR BRUSHLESS (sin escobillas), Master Ingenieros S.A, [www.masteringenieros.com/master/Ficheros/File/motor.pdf](http://www.masteringenieros.com/master/Ficheros/File/motor.pdf); Fecha de consulta Marzo 2012.

[11] Motores brushless o BLDC, Mario Sacco, [www.neoteo.com/motores-brushless-blDC](http://www.neoteo.com/motores-brushless-blDC); Fecha de consulta Febrero 2012.

[12] AVR Simulation with the ATMEL AVR Studio4, [http://www2.tech.purdue.edu/ecet/courses/ecet309/Reference\\_Materials/Simulation\\_AVR\\_Studio\\_4.pdf](http://www2.tech.purdue.edu/ecet/courses/ecet309/Reference_Materials/Simulation_AVR_Studio_4.pdf); Fecha de consulta Marzo 2012.

[13] Tutorial LPCXpresso IDE CodeRed. Seminario de Sistemas Embebidos. [www.laboratorios.fi.uba.ar/lse/seminario/material\\_2011/Sistemas\\_Embebidos-2011\\_2doC-Mini\\_Tutorial\\_CodeRed\\_LPCXpresso\\_IDE\\_Kharsansky.pdf](http://www.laboratorios.fi.uba.ar/lse/seminario/material_2011/Sistemas_Embebidos-2011_2doC-Mini_Tutorial_CodeRed_LPCXpresso_IDE_Kharsansky.pdf); Fecha de consulta Febrero del 2012.

[14] Universidad de la Américas Puebla. Propagación RF, Capitulo 1. [www.catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/.../capitulo1.pdf](http://www.catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/.../capitulo1.pdf); Fecha de consulta Marzo 2012.

[15] UM10360. LPCXpresso User Manual. [www.nxp.com](http://www.nxp.com); Fecha de consulta Febrero del 2012.