

# Módulo educativo para el control de motores DC

## Universidad Nacional de Colombia

Gabriel D. Santos B., Santiago J. Muñoz B.  
20 de Febrero de 2019

**Resumen**—El documento presentará los avances del proyecto final de Electrónica digital I. Éste incluirá información de dos periféricos funcionales que se utilizarán en el esquema final del proyecto. Tales periféricos son la pantalla LCD de 16x2, un buzzer y un teclado matricial. Se empezará definiendo el alcance del proyecto, acotando los resultados hacia lo que podemos realizar y posteriormente definiremos los conceptos de utilidad para nuestro propósito.

### I. INTRODUCCIÓN

Los estudiantes de secundaria, de instituciones tecnológicas y universitarias que no cuentan con mayores conocimientos de electrónica digital, en muchas ocasiones, requieren del control de velocidad de motores DC, en donde son aplicados comúnmente circuitos resistivos que bajan el nivel de tensión y por ende la velocidad y torque del mismo. Sin embargo, existe la posibilidad de controlar la velocidad de estos motores creando una señal cuadrada con diferentes ciclos de trabajo que permiten conservar torque y por ende mejorar la eficiencia. Por otra parte, la facilidad de utilización es un aspecto importante a tener en cuenta. En esta era las aplicaciones para teléfonos inteligentes son una herramienta útil y a la mano para una gran cantidad de usuarios, es por esto que hemos decidido orientar la interfaz con el usuario hacia este tipo de herramienta.

### II. OBJETIVOS

- Lograr el funcionamiento a cabalidad de los periféricos: Bluetooth HC05, Teclado matricial, Pantalla LCD y Buzzer.
- Implementar exitosamente un controlador de velocidad y giro de un motor DC, utilizando los periféricos descritos y Verilog.
- Operar el motor DC a través de un Driver y un optoacoplador para proteger la FPGA.
- Lograr operar el sistema a través de una aplicación Android.

### III. ALCANCE

El alcance del proyecto está orientado hacia la implementación de un código en Verilog en las FPGA's disponibles en el laboratorio, cuya función sea el control de velocidad de un motor DC. Esto utilizando como interfaces una aplicación Android y un teclado matricial, en donde el teléfono estará comunicado a través del módulo Bluetooth HC05. Como salidas, encontraremos el motor DC bajo un driver y puente H y protección de la FPGA con un optoacoplador, una pantalla LCD que muestre el estado del motor y un Buzzer que muestre que cada cambio ha sido realizado.

### IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En muchos proyectos estudiantiles es necesario utilizar motores DC, sin embargo hay aplicaciones en las que una velocidad elevada del motor no logra ser la ideal. El uso de motorreductores puede implicar una velocidad en demasía reducida y, corregir este problema con elementos mecánicos involucra espacio. Por otra parte, una interfaz cómoda y de rápida implementación para el control de estos motores es imperante en el desarrollo de interés por parte de los estudiantes hacia estos conocimientos, dado que por lo común, este control debe hacerse con circuitos resistivos. Es por esto que la aplicación de los conocimientos sobre electrónica digital y sobre el comportamiento de motores DC bajo señales de tensión cuadradas, de la mano con la utilización de las FPGA's, puede solventar a cabalidad estas necesidades de los estudiantes en proceso de formación.

### V. MOTIVACIÓN

El acceso a las FPGA's en el laboratorio de la universidad y la idea de que otras instituciones puedan acceder a estas herramientas, nos han llevado a pensar cómo podemos incentivar el aprendizaje de HDL y de la electrónica digital, como en el caso de Arduino y Raspberry que, pueden solucionar problemas estudiantiles, y de la industria, de manera sencilla. Esto sin necesidad de tener conocimientos profundos sobre electrónica, pero incentivando su aprendizaje a través de la demostración del alcance en soluciones tecnológicas que tienen estas herramientas.

### VI. DIAGRAMA DE BLOQUES

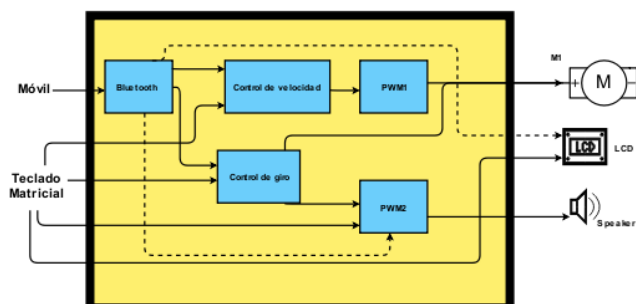


Figura 1. Diagrama de bloques

## VII. ANTECEDENTES

El control de velocidad de motores DC por medio de la lógica digital y a través de códigos de programación como VHDL y Verilog ha sido ampliamente estudiado por ingenieros y aficionados a la electrónica. Esto beneficia el alcance del proyecto, dado que enriquece los recursos bibliográficos y amplía el panorama sobre lo que podemos lograr con las FPGA's implementadas en las tarjetas NEXYS a las que tenemos acceso. A continuación mostraremos un recuento de los recursos consultados y haremos énfasis en los tópicos de nuestro interés, como el PWM, el módulo bluetooth HC05 y la creación de aplicaciones android.

### VII-A. Proyectos similares

#### Señal de control para motor DC mediante PWM y VHDL:

Este proyecto muestra un código en VHDL para el control de la velocidad de un motor DC mediante PWM, además de compartir simulaciones en ISE para observar el comportamiento de la señal de salida.

La estructura básica del código emplea un contador de 0 a 99 para un total de 100 estados. Cada conteo coincide con una señal de reloj. Luego, con un comparador se pregunta si el contador ya llegó a cierto número, por ejemplo 20. Hasta este momento la salida del PWM es 1. En el siguiente estado y hasta volver a 0 la salida del PWM es 0.

Disponible en: [7]

#### Control de velocidad de un robot móvil mediante Nexys 2 Spartan-3E FPGA:

Este es un apartado del libro “ Programación de sistemas digitales con VHDL” en donde destacan la resolución de las FPGA's de Xilinx en comparación con las GAL's.

Disponible en: [8]

#### Diseño e Implementación del Control Electrónico Digital del Motor de un Coche Eléctrico:

Trabajo para obtener el título de Ingeniero en tecnologías industriales. Muestra el proceso de diseño para controlar el motor DC de un coche eléctrico.

Un importante aspecto de este trabajo es la demostración que la velocidad del motor DC se puede controlar a través de un PWM, esto, aplicando las señales de salida de la FPGA hacia los transistores de control del puente H.

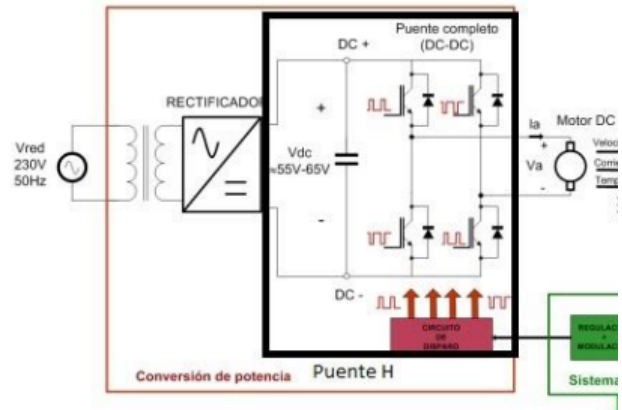


Figura 2. Simulación del módulo de la LCD, Tomado y adaptado de: [6]

El diseño digital es implementado en la FPGA de la tarjeta DE0-NANO, de Altera. A través de programación HDL en bloques en el software Quartus II.

El alcance de este proyecto comprende lazos cerrados de control, con la utilización de encoders en el motor.

Disponible en: [6]

#### Motor Speed Control Using FPGA:

Paper presentado por Ahmed Telba, miembro del IEEE, donde muestra la versatilidad de las FPGA's frente a los Microcontroladores, ya que a diferencia de los segundos, las FPGA's son reprogramables y pueden solventar más problemas en la industria. Muestra diferentes aspectos que posicionan a las FPGA's como herramientas útiles, por ejemplo, en aplicaciones militares, en donde las FPGA's son menos vulnerables a los ataques por rayos alfa que otros dispositivos con semiconductores.

Por otra parte, los motores DC tienen ciertas ventajas como el desempeño del torque y la relación de la velocidad.

Disponible en: [9]

## VIII. CRONOGRAMA

Tabla I  
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA EL DEBIDO DESARROLLO DEL PROYECTO

Semana Académica	Actividad
S6	Presentación Propuesta de Proyecto
S7	Adaptación del proyecto de acuerdo a sugerencias recibidas
S8	Código control de velocidad listo
S9	Código control de giro listo
S10	Código recepción de datos bluetooth listo y desarrollo de aplicación lista
S11	Presentación segundo reporte
S12	Corrección de errores
S13	Corrección de errores y pruebas previas
S14	Presentación Pública de Proyecto

## IX. PERIFÉRICOS

A continuación, se presentan dos periféricos funcionales.

### IX-A. LCD

Se utilizará la LCD para notificar acerca de las variables de velocidad y sentido de giro del motor. Dichas variables estarán variando con los datos extraídos del teclado matricial o desde la aplicación Bluetooth. Es importante destacar que el módulo de la LCD trabaja sin protocolo I2C, y que se utilizan solamente los 4 bits más significativos como datos de salida hacia la LCD.

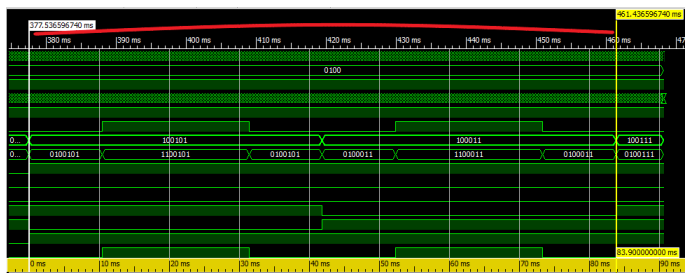


Figura 3. Simulación del módulo de la LCD

En la figura 3 se aprecia cómo la LCD escribe la letra 'S' con la variable `'lcdcode = 6'h25'` y, aproximadamente 40ms después, `'lcdcode = 6'h23'`. A su vez, esta expresión es concatenación de `'lcd_stuff'` que envía los datos a la lcd, junto con las demás variables de control que ésta posee: `lcd_rs`, `lcd_rw` y `lcd_e`.

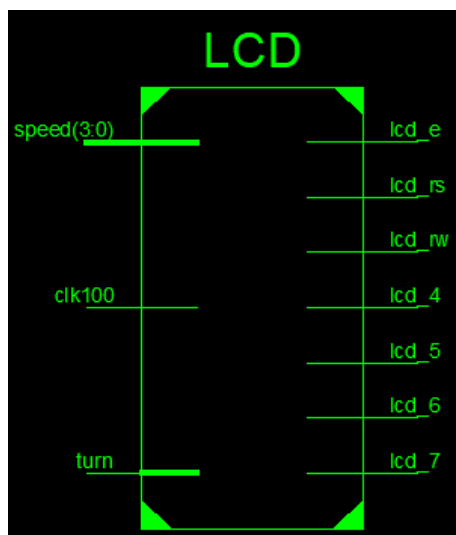


Figura 4. Esquemático del módulo LCD

La figura 4 muestra la vista esquemática del módulo LCD.

### IX-B. Buzzer

Se usará un buzzer para alertar al usuario de cambios en las variables de velocidad o de giro del motor. El módulo utilizado genera una señal cuadrada de aproximadamente 1760Hz y es salida hacia el buzzer. Asimismo, el módulo cuenta con una entrada de control que especifica si el buzzer debe sonar o no. Esto último se pensó puesto que los periféricos restantes, como el de Bluetooth y el teclado matricial, incluirán una señal de control de sonido. De esta forma se alerta al usuario al momento de que este haga cambios en las variables ya mencionadas.

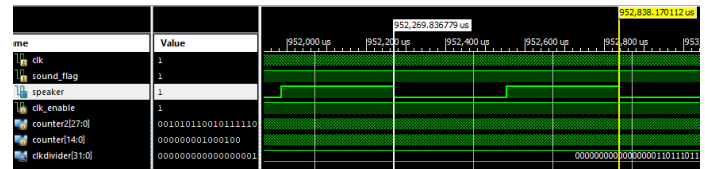


Figura 5. Período de la señal de salida del módulo Buzzer

En la figura 3 se aprecia que el período de la señal de salida es 68us, lo que corresponde a una frecuencia de 1760Hz, aproximadamente.

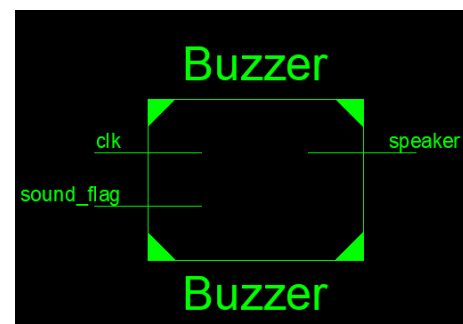


Figura 6. Esquemático del módulo Buzzer

En la figura 6 se muestra las entradas y las salidas del módulo Buzzer.

### IX-C. Teclado matricial

El módulo de teclado matricial identifica la tecla que se presiona mediante un muestreo de filas a gran velocidad cuando, al mismo tiempo, el usuario presiona una tecla de la cuál se obtiene la ubicación de su columna. De esta manera, se sabe la posición de la tecla presionada conociendo el número de su columna y su fila. Posteriormente, un decodificador de la concatenación { fila, columna } (como señal de entrada) tiene una salida del respectivo número o letra presionada, en binario.

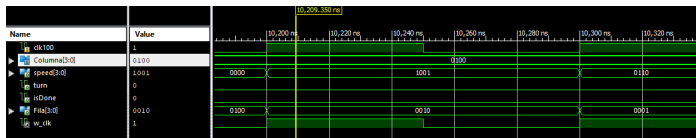


Figura 7. Simulación del módulo Teclado matricial

En la figura 7 se observa la multiplexación del vector '*fila*' para encontrar la tecla presioanda. Cabe resaltar que, de la tecla presioanda, solamente se conoce su columna.

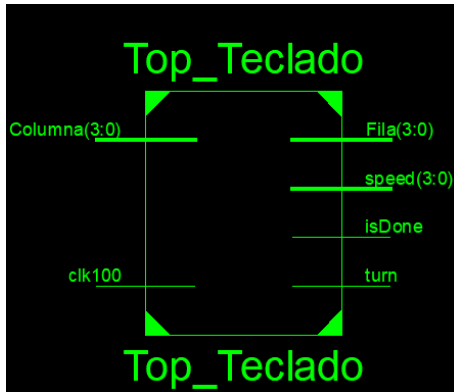


Figura 8. Esquemático del módulo Teclado matricial

En la figura 8, se expone la síntesis del módulo del teclado matricial. Las salidas '*turn*' y '*speed*' son entradas para el módulo LCD.

#### IX-D. Receptor Bluetooth

Se utiliza una conexión tipo UART para transmisión de datos. Para ello se utiliza una señal de entrada (proveniente del HC-05) '*rx*', la cual, tiene un bit de start seguido de 8 bits de información y terminando con un bit de parada. La señal que envía el HC-05 está configurada a 9600 baudios por segundo. En este caso, los baudios coinciden con la tasa de bits que se envía por segundo.

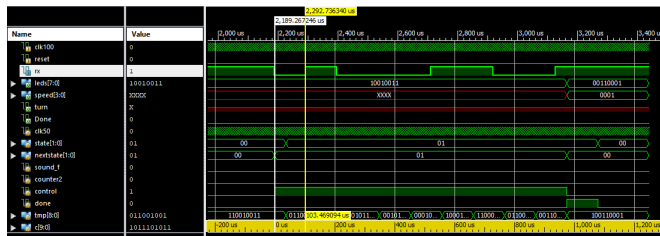


Figura 9. Simulación del módulo Receptor Bluetooth

En la simulación de la figura 9, se envía un '1' en ASCII (00110001). Se puede apreciar que el período de la señal entre cada bit es de  $104.16\mu s$ , lo que coincide con la frecuencia de

envío de 9600 bits/s (en este caso los bits coinciden con los baudios). De la misma manera, el decodificador interno, que tiene como salida a variable '*speed*' y '*turn*', interpreta el 1 en ASCII y asigna el valor 0001 a la variable '*speed*'.

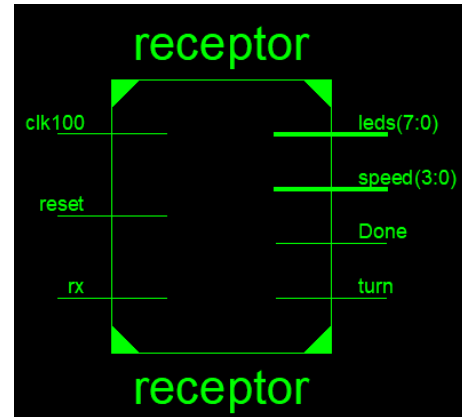


Figura 10. Esquemático del módulo Receptor Bluetooth

En la figura 10, se expone las entradas y salidas del módulo ya mencionado. Es válido resaltar que las salidas de '*speed*' y '*turn*' son entradas para el módulo LCD.

#### IX-E. PWM para el motor DC

Para controlar la velocidad y el sentido de giro del motor, se utiliza un driver programable, junto con un puente H y etapa de potencia. Se le asigna a dicho driver las entradas '*in1*' y '*in2*' para controlar el sentido de giro, siendo hacia la derecha cuando  $in1 = 1$  y  $in2 = 0$ ; y hacia la izquierda para  $in1 = 0$  y  $in2 = 1$ . Cabe resaltar que las variables mencionadas anteriormente, son salidas del módulo PWM. En cuanto a la velocidad del motor, se tiene una entrada '*speed*' que brinda información de la velocidad que debería tener el motor. Mediante un decodificador interno, se crea un PWM que, según sea su ciclo útil, variará la velocidad del motor. El PWM mencionado, es entrada del Driver y, al mismo tiempo, salida del módulo PWM.

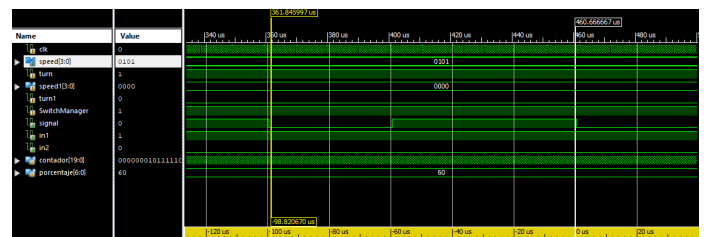


Figura 11. Simulación del módulo Driver

En la simulación de la figura 11, se aprecia que  $in1 = 1$  y  $in2 = 0$ , por lo tanto el sentido de giro es hacia la derecha '*turn*' = 1. Además, la señal '*speed1*' fue configurada con un valor de 0101, lo cual, según el decodificador, equivale un

porcentaje (ciclo útil de la señal de salida) del 60 %, tal como se había explicado antes.

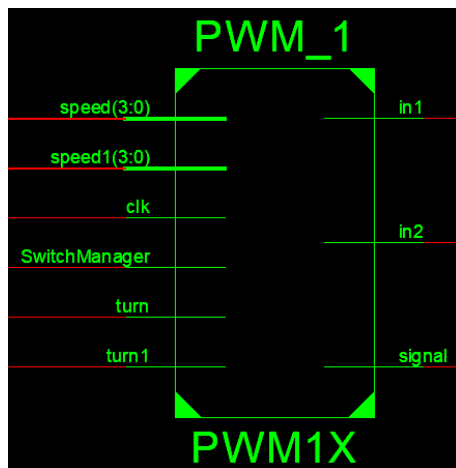


Figura 12. Esquemático del módulo Driver

En la figura 12 se muestran las entradas y salidas del módulo.

#### REFERENCIAS

- [1] "Pulse Width Modulation", Electronics Tutorials. [Online]. Available: <https://www.electronics-tutorials.ws/blog/pulse-width-modulation.html>. [Accessed: 20 - Sep - 2018].
- [2] "FPGA & Verilog. Receptor (Receiver) RS-232 HC05 bluetooth", Hackeando Tec. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=2d6jz-DrXiU>. [Accessed: 30-Jan - 2019 ]
- [3] "FPGA, Motor y Bluetooth. Aplicación con AMIBA - INTESC" [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=QSRmfXwWAH8&feature=youtu.be>. [Accessed: 20 - Sep - 2018].
- [4] "Divisor de frecuencia con VHDL", Estado Finito. [Online] Available: <http://www.estadofinito.com/divisor-frecuencia-vhdl/>. [Accessed: 20 - Sep - 2018].
- [5] MIT App Inventor. [Online] Available: <http://appinventor.mit.edu/explore/>. [Accessed: 20 - Sep - 2018]
- [6] "LCD Character Set", University of Florida. [Online]. Available: <https://mil.ufl.edu/3744/docs/lcdmanual/characteraset.html>. [Accessed: 31 - Jan - 2019]
- [7] "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL ELECTRÓNICO DIGITAL DEL MOTOR DE UN COCHE ELÉCTRICO", Bacete P, Mario. [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/49635/DOCUMENTO> [Accessed: 31 - Jan - 2019]
- [8] "Señal de control para motor DC mediante PWM y VHDL". Blog estado finito, [online]. Disponible en:<http://www.estadofinito.com/motor-dc-pwm-vhdl/>. [Accessed: 25-jan-2019].
- [9] "Control de velocidad de un robot móvil mediante Nexys 2 Spartan-3E FPGA". Programación de sistemas digitales con VHDL. [online]. Disponible: <https://books.google.com.co/books?id=4dDhBAAQBAJ&pg=PA152&lpg=PA152&dq=control+de+velocidad+fpga+nexys&source>
- [10] "Motor Speed Control Using FPGA.".Ahmed Telba Member, IAENG, Member, IEEE. [online]. Disponible: [http://www.iaeng.org/publication/WCE2014/WCE2014\\_pp313-316.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCE2014/WCE2014_pp313-316.pdf)