

**COMPARATIVA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA UART EN UN FPGA
VERSUS UN MICROCONTROLADOR HACIENDO USO DE UNA
COMUNICACIÓN *BLUETOOTH***

**COMPARISON OF THE IMPLEMENTATION OF THE UART IN A FPGA
VERSUS A MICROCONTROLLER BY USING A BLUETOOTH
COMMUNICATION**

**Ing. Jenniffer Katherine Olarte Villamizar*, PhD. Antonio Gustavo Juárez Gracia.*
PhD. Luz Noé Oliva Moreno.****

***Instituto Politécnico Nacional (IPN).**

***Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA).**

Calzada Legaria No. 694, Miguel Hidalgo, Irrigación, 11500, Ciudad de México.

Distrito Federal, México.Tel: (+521) 55 5729 6000, Ext: 67780.

E-mail: kaje.2909@gmail.com, agjuarez@ipn.mx

****Escuela Superior de Computo (ESCOM).**

Av. Juan de Dios Bátiz esq. Av. Miguel Othón de Mendizábal, Gustavo A. Madero,

Lindavista, CP. 07738, Ciudad de México, México,Tel: (+521) 55 5729 6000.

E-mail: loliva@ipn.mx

Resumen: En este trabajo se implementó una comunicación serial UART (Receptor – Transmisor Universal Asíncrono) para realizar transferencias de datos entre un dispositivo móvil y una tarjeta modelo Spartan 3E FG320, haciendo uso de un módulo embebido Bluetooth; así también, con un microcontrolador de la empresa Texas Instruments modelo TM4C123G, para comparar el precio, la flexibilidad y el tiempo de desarrollo para la implementación de la comunicación UART en los dos hardware.

Palabras clave: *Bluetooth*, comunicación serial, dispositivo móvil, microcontrolador, FPGA.

Abstract: In this work, a serial communication UART (Receiver - Transmitter Universal Asynchronous) was implemented for data transfer between a mobile device and a FPGA card (Field Programmable Gate Array) Spartan 3E FG320 model by using an embedded Bluetooth module but also with a microcontroller TM4C123G model, manufactured by the Texas Instruments Company to compare price, flexibility and development time for the implementation of a two UART communication hardware.

Keywords: Bluetooth, serial communication, mobile device, microcontroller, FPGA.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen nuevas tecnologías que le permiten al ser humano interactuar y controlar sistemas eléctricos y electrónicos, haciendo uso de un dispositivo móvil.

Una de las tecnologías más utilizadas en el mercado y de mayor crecimiento, ha sido la tecnología inalámbrica de uso libre conocida como *Bluetooth*, y que es un estándar de las comunicaciones inalámbricas, establecido por la IEEE 802.15.1; además de que el ancho de banda es suficiente para las comunicaciones móviles de

corto alcance de manera gratuita (*Koninklijke Philips Electronics, 2004*). Tal es el caso de los módulos embebidos *Bluetooth*, que hacen uso de la comunicación serial UART para la transmisión y recepción de datos con otros dispositivos. La UART permite una comunicación *full-duplex* (transmisión y recepción simultánea de datos) (*Mahat, 2012*).

Un formato de trama de datos completa en la comunicación serial UART consiste de un *bit* de inicio "0" lógico, seguido de 5 a 8 Bits de datos, además de un bit de paridad que es opcional y un *bit* de parada "1" lógico. El bit de parada puede ser de longitud de 1, 1.5 o 2 bits (*Bibin & Premananda, 2013*).

Este tipo de comunicación se puede implementar en cualquier módulo embebido, como por ejemplo, en un FPGA o en un microcontrolador para realizar aplicaciones en diferentes campos, inclusive utilizando un dispositivo móvil haciendo uso de una comunicación *Bluetooth*.

Con la aparición de los *smartphone* o teléfonos inteligentes, se ha generado una industria, tal que la marca del dispositivo se encuentra asociada con su sistema operativo (*TICbeat, 2012*).

De acuerdo con estudios realizados (*CST, 2015*), existen dos plataformas móviles que predominan en el mercado con cifras entre el 62% y el 75% para *iOS* y *Android* respectivamente.

Android es una plataforma de código abierto para dispositivos móviles, con una arquitectura basada en el núcleo de *Linux* y desarrollada por *Open Handset Alliance*, que dirige la compañía de Google (*Polanco & Taibo, 2011*).

Android ha permitido el desarrollo de una variedad de aplicaciones para diferentes ámbitos como la medicina, la domótica, la industria automotriz entre otras más, permitiendo así, una interacción de uso intuitivo entre la aplicación y el usuario.

En el presente trabajo, se describe la implementación de una comunicación serial UART entre una FPGA de marca *Xilinx* y un microcontrolador de la empresa de *Texas Instruments*, con el objetivo de establecer el envío y recepción de datos por medio de una comunicación *Bluetooth* con un dispositivo móvil, haciendo uso de una aplicación programada con *App Inventor*.

2. DESARROLLO

El sistema consta de un software programado con "APP Inventor" para desarrollar aplicaciones en dispositivos móviles con sistemas operativos Android y de un hardware que consta de una tarjeta de desarrollo Tiva, que se programó con la plataforma "Code Composer Studio", además de una tarjeta de desarrollo modelo Nexys 2, que se configuró con la plataforma "Xilinx ISE Design Suite 14.3" y que utiliza el lenguaje de descripción de hardware conocido como "Verilog". En ambas tarjetas se implementó la UART para el envío y recepción de datos, por medio de una comunicación Bluetooth con un dispositivo móvil. La arquitectura del sistema se muestra en la Fig. 1.

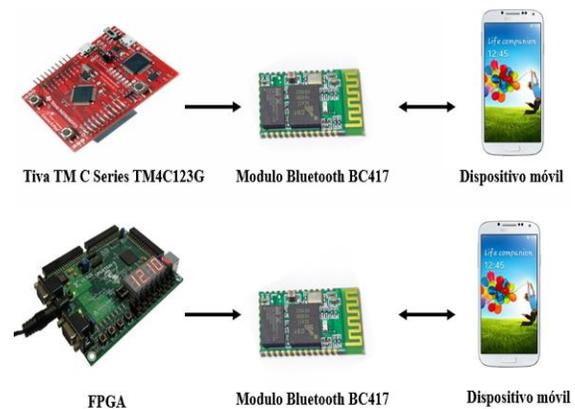


Fig. 1. Arquitectura del Sistema.

El módulo embebido *Bluetooth* modelo BC417 (*Cambridge, 2005*), puede ser configurado como maestro o esclavo para el envío y recepción de datos con un dispositivo móvil. Este dispositivo se configuró para una tasa de transmisión y recepción de datos de 9600 bps.

2.1 Conexión entre la tarjeta de desarrollo Tiva TM C Series TM4C123G y el módulo embebido Bluetooth

Esta tarjeta cuenta con 43 pines configurables, de los cuales 8 son de tipo UART. Sin embargo, los pines utilizados para la comunicación UART son los pines PB0 y PB1 (*Texas Instruments Incorporated, 2013a, 2014b*).

En la Fig. 2 se muestra la conexión de los terminales entre el módulo embebido *Bluetooth* y la Tiva TM C Series TM4C123G.

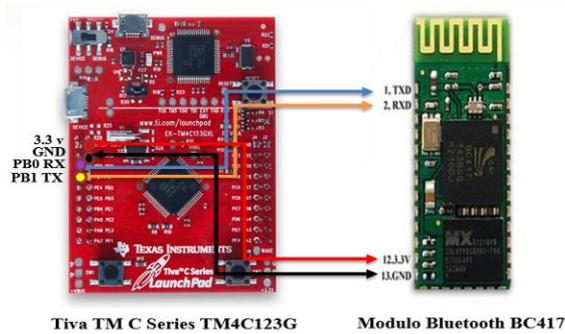


Fig. 2. Conexión entre la tarjeta Tiva TM C Series TM4C123G y el módulo Bluetooth.

2.2 Diseño del firmware en la Tiva TM C Series TM4C123G

En la Fig.3, se muestra un diagrama de flujo que describe los pasos que se llevan a cabo, para enviar y recibir datos con la Tiva.

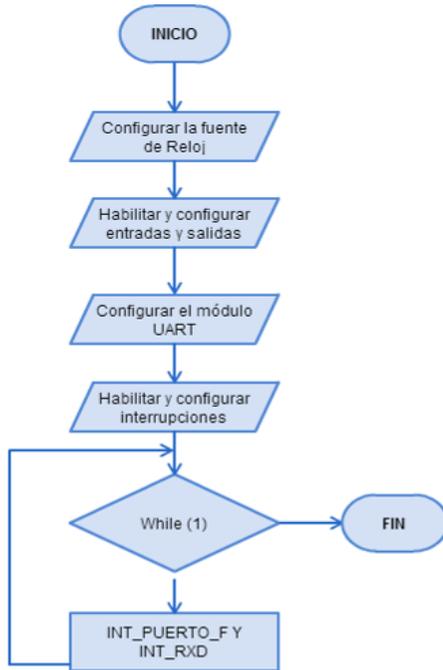


Fig. 3. Diagrama de flujo del firmware de la Tiva TM C Series TM4C123G.

2.3 Conexión entre la tarjeta de desarrollo Nexys 2 y el módulo embebido Bluetooth.

En la Fig. 4, se ejemplifica la conexión realizada entre la tarjeta de desarrollo Nexys 2 (terminales JA3 y JA4) (Spartan-3E, 2013) y el módulo embebido Bluetooth (pines Tx y Rx), para llevar a cabo una comunicación UART.

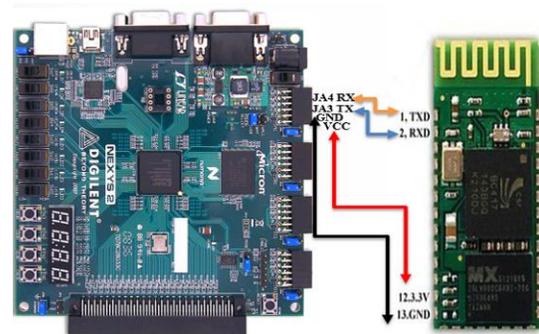


Fig. 4. Conexión entre tarjeta Nexys 2 y el módulo Bluetooth.

2.4 Diseño del firmware para la FPGA modelo Spartan 3E 1200E FG320

En la Fig.5, se muestra un diagrama de flujo que describe los pasos que se llevan a cabo, para enviar y recibir datos por medio de máquinas de estado en la FPGA.

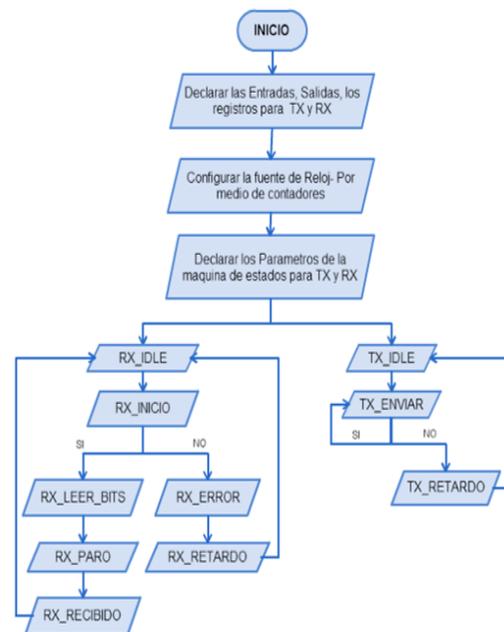


Fig. 5. Diagrama de flujo del firmware de la FPGA.

3. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN PARA UN DISPOSITIVO MÓVIL

La aplicación desarrollada contiene los siguientes elementos:

El botón “**CONECTAR**”: Se encarga de desplegar una lista de los diferentes dispositivos cercanos que se encuentren habilitados. A esta función se le complementa, agregándole un cliente Bluetooth

para poder enlazar o conectar dispositivos dentro de su alcance. Una vez seleccionado el dispositivo, se establece la conexión y en caso de que esta no se logre, se mostrará una notificación al usuario en la pantalla del dispositivo móvil.

El botón **“ENVIAR”**: Se encarga de mandar un dato, haciendo uso de la comunicación Bluetooth del dispositivo móvil con la tarjeta de desarrollo que se encuentre habilitada (Tiva TM C Series TM4C123G o Nexys 2).

El botón **“BORRAR DATOS RECIBIDOS”**: Se encarga de limpiar los caracteres obtenidos en una transmisión de datos.

El botón **“DESCONECTAR”**: Se encarga de cerrar la conexión establecida de una manera segura.

En la Fig. 6, se muestran los elementos utilizados en la aplicación descritos anteriormente



Fig. 6. Imagen de la pantalla de usuario desarrollada para la recepción y transmisión de datos mediante comunicación Bluetooth.

En la Fig.7, se muestra el diagrama de bloques que se implementó en la etapa de detección de dispositivos, con el elemento *bluetoothClient*, que se encarga de mostrar la lista de los dispositivos disponibles; por otra parte, con la función direcciones y nombres se despliega la lista que permite seleccionar el dispositivo con el que se desea establecer la conexión.



Fig. 7. Imagen de la etapa de detección de dispositivos Bluetooth.

En la Fig.8, se muestra la etapa encargada de hacer la conexión Bluetooth con el dispositivo seleccionado en el visor de lista. Al momento de establecer la conexión se habilitan y se deshabilitan algunos controles, además se muestra una notificación en caso de obtener una conexión exitosa.



Fig. 8. Imagen de la etapa de conexión con un dispositivo Bluetooth.

En la Fig.9, se muestra la etapa del reloj del temporizador que se encarga de monitorear, si hay bytes disponibles en el buffer de recepción del dispositivo móvil. Para esto, se estableció un intervalo de tiempo de 10 ms, que permite que el reloj esté en continuo funcionamiento y en caso de que se detecten bytes disponibles en el buffer de recepción, entonces estos se muestran en la “etiqueta de recibido”.



Fig. 9. Imagen de la etapa del reloj temporizador programado.

En la Fig.10, se observan las etapas de “enviar” y “borrar” los datos, en donde el botón “borrar”, se encarga de limpiar la información que se despliega en la “etiqueta de recibido”, si en el botón de “enviar”, escribimos el carácter deseado en el campo de texto, entonces este se enviará a la tarjeta seleccionada (TIVA o Nexys 2) y como resultado en esta, se encenderá o se apagará el led correspondiente al dato que se encuentra previamente configurado.

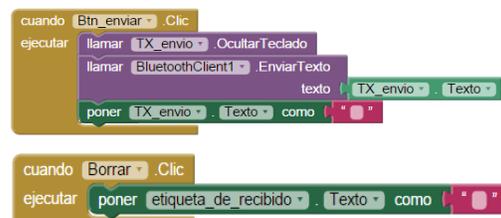


Fig. 10. Imagen de la etapa de “enviar” y “borrar” los datos.

En la Fig.11, se observa el diagrama de bloques para la desconexión de la comunicación *Bluetooth*. Esta se lleva a cabo, cuando se oprime el botón “desconectar” y como resultado, se despliega un mensaje de notificación en la pantalla del dispositivo móvil.



Fig. 11. Imagen de la etapa desconexión de la comunicación *Bluetooth*

4. RESULTADOS

Las pruebas de comunicación UART se realizaron con cada tarjeta de desarrollo (Nexys 2 y Tiva TM C Series) y un dispositivo móvil. En la Fig. 11, se observa una trama de datos que se envió de la tarjeta de desarrollo Tiva TM C Series TM4C123G al módulo embebido *Bluetooth* BC417, y para comprobar su funcionalidad, se enviaron los siguientes caracteres: H=01001000, O=01001111, L=01001100, A=01000001; de la tarjeta de desarrollo hacia el dispositivo móvil y viceversa. Cabe destacar que la UART lee los datos a partir del *bit* menos significativo hasta el *bit* más significativo. Ver Fig.12 y Fig.13.



Fig. 12. Datos transmitidos de la Tiva TM C Series TM4C123G al módulo *Bluetooth*



Fig. 13. Datos recibidos del módulo *Bluetooth* a la Tiva TM C Series TM4C123G

En la Fig.14, se observa la conexión entre el dispositivo móvil, la tarjeta de desarrollo Tiva TM C Series y el módulo embebido *Bluetooth*. Cada vez que se oprime el “sw2” de la Tiva TM C Series, esta envía un dato al teléfono y como resultado, se encenderá un *led* de color rojo.



Fig. 14. Conexión de los elementos con la Tiva TM C Series TM4C123G, el módulo *Bluetooth* y el dispositivo móvil.

En la Fig.15, se muestra la simulación de la transmisión de un dato, haciendo uso del software *Xilinx ISE Design Suite* 14.3.



Fig. 15. Simulación para la transmisión de datos en *Xilinx ISE Design Suite*.

En la Fig.16, se observa la conexión entre el dispositivo móvil, la tarjeta de desarrollo Nexys 2 y el módulo embebido *Bluetooth*. Cada vez que se modifican las posiciones de los 8 interruptores de la tarjeta Nexys 2, se presiona un botón para transmitir una trama de caracteres al dispositivo móvil.



Fig. 16. Conexiones de los elementos con la Nexys 2, el módulo *Bluetooth* y el dispositivo móvil.

En la Fig.17, se muestra el dato transmitido de la tarjeta de desarrollo Nexys 2 al dispositivo móvil. En ella se observa un bit de inicio, el dato a transmitirse que en este caso fue el carácter (a= 01100001) y por último el *bit* de parada.

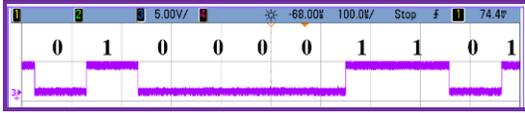


Fig. 17. Datos transmitidos de la Nexys 2 al módulo Bluetooth.

En la Fig.18, se observa la recepción de los datos en la tarjeta de desarrollo Nexys 2, que muestra en 8 leds de color verde, el dato recibido ($k=01101011$) que fue enviado por la aplicación.

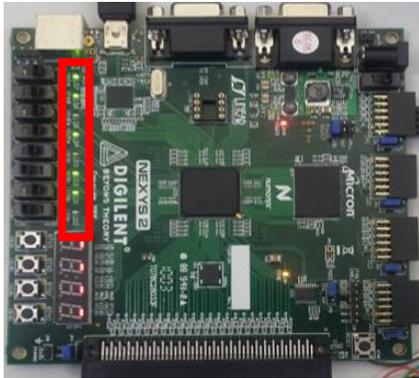


Fig. 18. Datos enviados del dispositivo móvil a la tarjeta Nexys 2.

5. CONCLUSIONES

Se evaluaron costos en la implementación de la comunicación serial UART con las tarjetas Nexys 2 versus la Tiva TM C Series TM4C123G, resultando más conveniente el uso del microcontrolador, ya que su valor está entre 10 a 13 dólares en el mercado, por el contrario, una FPGA se encuentra entre los 200 a 300 dólares dependiendo de la marca y el modelo a utilizar.

El tiempo de desarrollo del código para la implementación de la UART en un microcontrolador fue menor, debido a este que contiene funciones directas para configurar al módulo UART, lo que facilita la implementación en el *firmware*. La FPGA, no cuenta con dichas funciones, ya que se deben configurar todos los parámetros de la comunicación serial UART, tales como la frecuencia del reloj del procesador, la velocidad de transmisión, los bits de stop y de paridad, por medio de registros y contadores.

Cabe aclarar, que la selección final de alguna de las dos tarjetas de desarrollo empleadas, dependerá de las necesidades que se pretendan cubrir, por ejemplo, en el caso de unidades de procesamiento paralelo, se requerirá de una FPGA, además de un

módulo de comunicación y de la interfase de un dispositivo móvil para mostrar o ingresar datos. En el caso de implementar un sistema con una Tiva, esta ofrece las ventajas de tener un bajo costo en el mercado, alta tolerancia al ruido, bajo consumo de energía, además de pertenecer a la familia de la compañía “Texas Instruments”, la cual ofrece una amplia gama de productos para diferentes áreas de la industria y por último, la TIVA cuenta con módulos para la configuración de sus protocolos de comunicación como: UART, SPI, I2C, CAN, entre otros, dando como resultado una fácil implementación del *firmware*.

RECONOCIMIENTO

Al Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada – CICATA unidad Legaria, a la Escuela Superior de Cómputo-ESCOM del Instituto Politécnico Nacional-IPN y al Conacyt por el apoyo brindado al desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

- Koninklijke Philips Electronics N.V. (2004) *UART to Bluetooth interfacing*. U.S.A.
- Mahat, F. N. (2012). *Design of a 9-bit UART module based on Verilog HDL*. In the proceedings of 10th IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE), p. 570-573.
- Bibin, M. C. y Premananda, B. S. (2013). *Implementation of UART with BIST Technique in FPGA*. International Journal of Inventive Engineering and Sciences (IJIES), ISSN, p. 2319-9598.
- TICbeat. (2012). “El desarrollo de aplicaciones móviles”, España.
- CST International (2015). *Encuestas para dispositivos móviles*. <http://www.cstinternational.com/index.php/es/encuestas-para-dispositivos-moviles-es>. (17 de junio 2015).
- Polanco, K. M., y Taibo, J. L. B. (2011). “*Android el sistema operativo de Google para dispositivos móviles*”. Negotium, p.79-96.
- Cambridge Silicon Radio. (2005). *Blue Core TM 4 External*.
- Texas Instruments Incorporated. (2014). *Tiva™ TM4C123GH6PM Microcontroller*. Copyright.
- Texas Instruments Incorporated. (2013). *Tiva™ C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board*. Copyright.
- Spartan-3E (2013). *FPGA Family Data Sheet*. Xilinx Inc. DS312 Product specification.