

INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONÁUTICO  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS EMBEBIDOS



ENTORNOS INALÁMBRICOS

---

## Trabajos Prácticos

---

*Alumno:*

Luis Alberto GUANUCO  
Santiago Nicolás NOLASCO  
Sebastian AGÜERO  
Franco BOCALON

*Docentes:*

Víctor FRISON  
Julio ECHEVARRÍA  
José DUCLOUX

Septiembre 2016

## 1. Introducción

Se realizarán ejercitaciones sobre plataformas XBee con el objetivo de entender los *Entornos Inalámbricos*. Se trabajará con los modos *AT* y *API* a fin de comprar las ventajas y desventajas de estos. Estos ejemplos prácticos servirán, además, alcanzar la resolución del *Trabajo Final*.

### 1.1. Módulos XBee S2C

Para el establecimiento de una red basado en los estándares 802.15.4 se plantea como requisito la disponibilidad de módulos que implementen dicho estándar. En nuestro caso se utilizarán los módulos *XBee S2C*<sup>1</sup>. Las principales características de estos dispositivos son:

- Velocidades de datos
  - RF 250 Kbps
  - Comunicación serial hasta 1 Mbps
- Alcances
  - *Indoor* 60 metros
  - *Outdoor* 1200 metros
- Potencia de transmisión 3.1 mW (+5 dBm). En modo *Boost* 6.3 mW (+8 dBm)
- Sensibilidad de recepción -100 dBm. EN modo *Boost* -102 dBm
- Banda de frecuencia 2.4 GHz (16 canales)
- 15 puertos digitales I/O (4 entradas analógicas)
- Alimentación 2.1V a 3.6V. Consumos:
  - En la transmisión 33 mA @ 3.3 VDC. En modo *Boost* 45 mA
  - En la recepción 28 mA @ 3.3 VDC. En modo *Boost* 31 mA

Los puntos anteriores solo describen las principales características de los módulos XBee S2C. Para conocer más en detalle se puede acceder a la hoja de datos disponible en el sitio web del fabricante [1].

### 1.2. Plataformas adicionales

Se utilizará *hardware* adicional que permita establecer la comunicación de los módulos XBee con una computadora. Sí bien el Laboratorio de Sistemas embebidos pone a disposición las plataformas XBoard<sup>2</sup> se necesita adaptar la comunicación serial del módulo XBee con la computadora mediante un puerto USB. Para esto se desarrolló la placa *XBee-MCP Adapter* (Figura 1). Sobre esta placa se montarán dos módulos, una

---

<sup>1</sup><http://www.digi.com/support/productdetail?pid=4838>

<sup>2</sup><http://www.cika.com/soporte/Information/Digi-RF/XBee/>

es el módulo XBee y el otro es la placa *MCP2200 Breakout Module*<sup>3</sup>. Este último proporciona una comunicación serial USB-UART. Además se agregaron dos LEDs conectados a los puertos AD1/DI01 y AD2/DI02. Opcionalmente se puede conectar un potenciómetro al conector K1 que se encuentra mapeado al puerto analógico de la XBee, AD0/DI00.

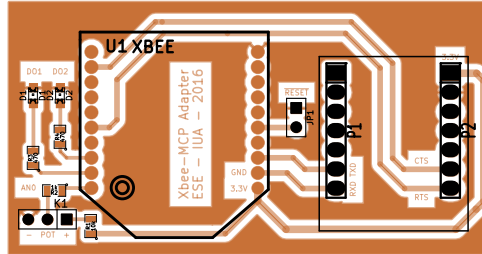


Figura 1: Placa XBee-MCP Adapter.

La Xboard, anteriormente mencionada, es una plataforma desarrollada por la empresa Cika Electrónica SRL. La XBoard permite interconectar los módulos XBee con dispositivos externos [2]. En la Figura 2 se presenta una vista superior de la XBoard. Se puede ver que esta placa tiene un conector hembra con las señales de comunicación serial, niveles de tensión y otras más. Para conectar la XBoard a una computadora se utiliza la placa MCP2200 Breakout Module. Al no requerir componentes externos, se utilizan simplemente cables que realicen la interconexión de las señales de comunicación serial.

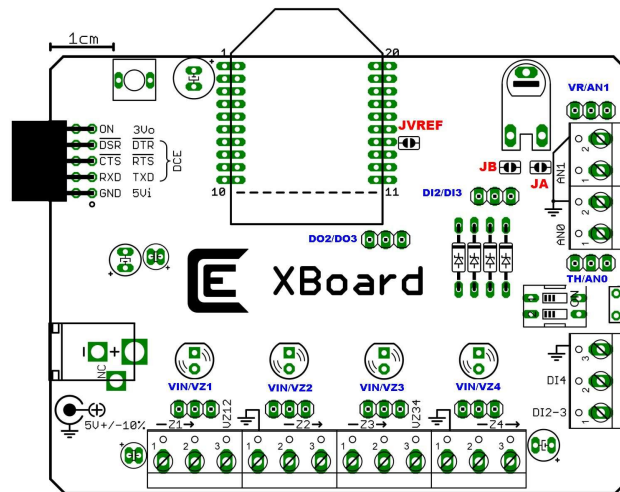


Figura 2: Placa XBoard.

Todas las características y configuraciones de las diferentes plataformas comerciales se encuentran en la bibliografía referenciada al final de este documento.

Se desarrollarán tres tipos de ejercitaciones. La primera sobre los alcances de RF que proporcionan estos dispositivos. La segunda parte sobre el manejo de los módulos en modo AT. Y por último se trabajará en modo API con los módulos sobre una red ZigBee

<sup>3</sup><http://www.microchip.com/DevelopmentTools/ProductDetails.aspx?PartNO=adm00393>

completa. Se documentarán todos las implementaciones y por último se presentará una conclusión sobre lo hecho.

## 2. Análisis de enlaces

Completar con lo de santiago.

## 3. Ejercitación en modo AT

El set de comandos AT, también conocidos como set de comandos Hayes, fue originalmente desarrollado para usar con los modem de Hayes en la década de 1980. Muchos modems modernos todavía utilizan este estándar. EL término *comando AT* viene de usar los caracteres ASCII para notificar al *host* que un le sigue un comando.

En el caso de los módulos XBee desarrollados por Digi, implementa un set de comandos propietarios para interactuar con los módulos de Digi a través de una comunicación serial. Basado en el set de comandos AT, Dii usa los caracteres AT antes de cada comando enviado al modem. Un ejemplo de un comando utilizado por el radio Digi XBee podría ser ATCH. Este comando es usado para leer o setear el canal que un radio XBee es configurado[3].

### 3.1. Configuración de puertos GPIO

La configuración de los diferentes canales de propósitos generales se puede realizar utilizando el software XCTU en modo gráfico pero el objetivo es realizarlo mediante el set de comandos AT.

#### 3.1.1. Comando ATIS

El comando ATIS fuerza la lectura de todos los canales habilitados. Analógicos como digitales. En nuestro caso tenemos la siguiente salida a la petición.

```
1  +++
2  OK
3  ATIS
4  01
5  0006
6  01
7  0000
8  0219
```

La respuesta que entrega el módulo comienza en la línea 4 hasta la 8. El primer byte 01 es la cantidad de muestra recibidas. En la línea 5 se tiene configuración de los canales digitales y la línea 6 canales analógicos. Para entender se debe analizar a nivel de bits cada una de las respuestas. Recuerde que los valores representados están en hexadecimal. En el primer se tiene  $0006_{HEX} = 000000000000110_{BIN}$  por lo los canales DI01 y DI02 se encuentran habilitados y configurados como salidas digitales. Mientras que para los canales analógicos tenemos  $01_{HEX} = 0001_{BIN}$  solo el puerto AD0 habilitado. Para terminar el análisis de la respuesta al comando ATIS, las líneas 7 y 8 son el estado de los canales digitales y analógicos respectivamente. Como se mencionó anteriormente, puede

visualizarse la configuración de los canales de I/O en forma gráfica desde el software XCTU. En la Figura 3 se puede ver la misma información que proporciona el comando ATIS.



Figura 3: Configuración de los GPIO en modo gráfico.

Para dar comienzo con la ejercitación pedida por los docentes, se deshabilitarán todos los canales de forma tal que el módulo quede sin ningún GPIO en uso. Si la configuración es tal como la descrita anteriormente, se deben aplicar los comandos siguientes.

```

1  +++OK
2  ATD00
3  OK
4  ATD10
5  OK
6  ATD20
7  OK
8  ATAC
9  OK
10 ATWR
11 OK
12 ATIS
13 ERROR

```

Para deshabilitar un canal digital/análogo se debe simplemente pasar como último argumento el valor 0. Esto se aplica a los canales DI00, DI01 y DI02. Los comandos que le siguen son para aplicar los cambios y liberar los *buffers* (ATAC) y escribir la memoria no-volatil del módulo (ATWR). Al finalizar los cambios se envía el comando ATIS y se tiene como respuesta ERROR esto no se debe a un problema de comunicación sino que al no existir ningún canal habilitado, no puede ofrecer información alguna.

A continuación se presentan diferentes configuraciones sobre el módulo XBee montado en la placa XBoard.

### 3.1.2. Configurar canales analógicos

En el código 1 se configuran los canales DI00 y DI01 como analógicos. El último parámetro define este comportamiento. Luego de guardar la configuración se envía el comando ATIS para tener la configuración final de todos los canales. Aquí se puede ver en la línea 13 no se tiene ningún canal digital, y en las líneas 15 y 16 se ven los valores de los ADC correspondientes a los canales DI00 y DI01.

Código 1: Configuración de dos canales analógicos.

```

1  +++OK
2  ATD02
3  OK
4  ATD12
5  OK
6  ATAC
7  OK

```

```

8      ATWR
9      OK
10     ATIS
11     01
12     0000
13     03
14     0268
15     0208

```

### 3.1.3. Configurar canales digitales

En el caso del código 2 se configuran los canales DI02 y DI05 como salida. La elección de estos canales se debe al circuito implementado por la placa XBoard. El parámetro adicional en los comandos **3** y **5** es el estado digital que se le asignará. El número 4 aplica un valor *bajo* mientras que el valor 5 define un estado en *alto*. Al igual que en el caso anterior, el comando ATIS muestra los estados de los puertos habilitados, en este caso no tenemos entradas analógicas por lo tanto en la línea **14** tenemos 0.

Código 2: Configuración de dos salidas digitales en alto.

```

1      +++OK
2      ATD25
3      OK
4      ATD55
5      OK
6      ATAC
7      OK
8      ATWR
9      OK
10     ATIS
11     01
12     0024
13     00
14     0024

```

Este último caso muestra la configuración de dos canales digitales de entrada. La diferencia con el caso anterior es el parámetro asignado. En las líneas **3** y **5** el parámetro es 3 que configura los canales DI02 y DI04 como entradas digitales.

Código 3: Configuración de dos entradas digitales.

```

1      +++OK
2      ATD23
3      OK
4      ATD43
5      OK
6      ATAC
7      OK
8      ATWR
9      OK

```

```
10    ATIS
11    01
12    0014
13    00
14    0014
```

#### 3.1.4. Configuración combinada de la XBoard

Finalmente configuraremos la placa XBoard con todos los modos anteriormete vistos. Los comandos aplicados desde la línea **2** hasta la **12** ya fueron descritos. Como respuesta al comando **ATIS** se puede ver todos los canales digitales habilitados (003C). Mientras que se tiene tres canales analógicos 03 y sus respectivos valores en las líneas **22**, **23** y **24**.

Código 4: Configuración de todos los canales analógicos y digitales en la placa XBoard.

```
1    +++OK
2    ATD02
3    OK
4    ATD12
5    OK
6    ATD25
7    OK
8    ATD55
9    OK
10   ATD33
11   OK
12   ATD43
13   OK
14   ATAC
15   OK
16   ATWR
17   OK
18   ATIS
19   01
20   003C
21   02
22   003C
23   0264
```

## 4. Ejercitación en modo API

## 5. Conclusiones

La implementación de este RTOS tan específico y novedoso, por lo menos para nosotros, nos ha permitido ampliar la concepción de sistemas operativos en tiempo real. A la vez que se ha podido interactuar con profesionales de la región que están en pleno desarrollo y aportes para mejorar el código utilizado (freeOSEK).

## Referencias

- [1] Digi International, *XBee<sup>®</sup>/XBee-PRO ZigBee<sup>®</sup> RF Module – User Guide*. 2016.
- [2] Cika Electrónica SRL., *XBoard [-W]*. [http://www.cika.com/soporte/Information/Digi-RF/XBee/XBoard\\_doc.pdf](http://www.cika.com/soporte/Information/Digi-RF/XBee/XBoard_doc.pdf).
- [3] Digi International, *Knowledge Base – The AT Command Set*. [http://knowledge.digi.com/articles/Knowledge\\_Base\\_Article/The-AT-Command-Set](http://knowledge.digi.com/articles/Knowledge_Base_Article/The-AT-Command-Set).