



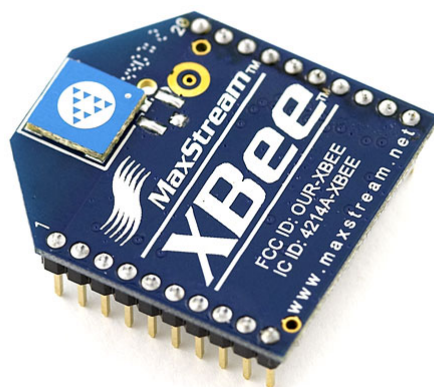
# Guía del Usuario

## XBee Series 1

### DOCUMENTO PRELIMINAR

---

Revisión Agosto 2008



Desarrollada por:

Andrés Oyarce

Revisada por:

Paul Aguayo

Ingeniería MCI LTDA.

## Tabla de Contenidos.

1	Introducción.....	7
2	Aplicaciones.....	10
3	Circuito básico para el XBee. ....	13
4	Modos de Operación.....	14
4.1	Modo RECIBIR/TRANSMITIR.....	14
4.2	Modo de Bajo Consumo (Sleep Mode). ....	15
4.3	Modo de Comando.....	16
4.4	Modo Transparente .....	19
4.5	Modo de operación API.....	20
4.6	IDLE .....	21
5	Configuración del Módulo Xbee. ....	22
5.1	Direccionamiento de los módulos.....	22
5.1.1	Direccionamiento de 16 bit.....	22
5.1.2	Direccionamiento de 64 bits. ....	22
5.2	Modo de Conexión Transparente.....	23
5.2.1	Punto a Punto. ....	23
5.2.2	Punto a Multipunto. ....	25
5.2.3	Broadcast.....	28
5.2.4	Cable Virtual I/O.....	29
5.3	Modo de Conexión NonBeacon. Peer-to-Peer.....	33
5.4	Conexión NonBeacon c/Coordinador.....	33
5.5	Conexión API.....	37
6	Software X-CTU para comandos.....	39
7	Ejemplos prácticos.....	43
7.1	Instalación Xbee EXPLORER.....	43
7.2	Lectura I/O Digitales y Analógicas.....	45
7.3	Utilización del PWM. ....	49
7.4	Ejemplo ECHO.....	49
7.4.1	Usando Hyperterminal.....	49
7.4.2	Usando X-CTU .....	51
7.5	Cable virtual.....	55
8	Resumen comandos más importantes. ....	59
9	Hoja de datos.....	63
9.1	Diagrama de Pines. ....	63
9.2	Detalles eléctricos.....	64
9.3	Detalles Técnicos.....	65
9.4	Detalles Físicos. ....	66
10	Glosario de términos .....	68

## Índice de Tablas.

Tabla 4-1 Tabla Modo Sleep y consumos de corriente.....	16
Tabla 5-1 Frecuencia de Canales y su respectivo Comando AT. ....	26
Tabla 5-2 Comandos para Cable Virtual. ....	31
Tabla 5-3 Configuración para Cable Virtual. ....	31
Tabla 5-4 Configuración Dispositivo Terminal. Comando A1. ....	36
Tabla 5-5 Configuración Coordinador. Comando A2. ....	37
Tabla 7-1 Comandos AT para puertos I/O.....	45
Tabla 7-2 Configuración para DIO 2. ....	46
Tabla 7-3 Mascara de Canal para el ejemplo.....	48
Tabla 7-4 Estado líneas digitales. ....	48
Tabla 7-5 Valor Conversor ADC para 3FF.....	49
Tabla 7-6 Esquema del Frame de Datos. ....	57
Tabla 7-7 Máscara de Canal para el ejemplo con 0x0604. ....	58
Tabla 7-8 Estado líneas Digitales para 0x0004.....	58
Tabla 7-9 Medición para los conversores con 0x03FF.....	58
Tabla 8-1 Tabla Resumen de Comandos. ....	62

## Índice de Figuras.

Figura 1-1 Conexión típica usando Xbee.....	8
Figura 2-1 Coordinador PAN con múltiples nodos. ....	10
Figura 2-2 Elementos del Xbee.....	11
Figura 2-3 Red Mech para módulos Xbee PRO Serie 2. ....	12
Figura 3-1 Conexiones mínimas requeridas para el Xbee. ....	13
Figura 4-1 Modos de operación del modulo Xbee.....	14
Figura 4-2 Ejemplo Comando AT. ....	16
Figura 4-3 Ejemplo escritura de parámetros.....	17
Figura 4-4 Ejemplo lectura de parámetros.....	18
Figura 4-5 Forma normal de escribir. ....	18
Figura 4-6 Forma abreviada para varios comandos al mismo tiempo. ....	19
Figura 4-7 Correspondencia de Buffer. ....	20
Figura 5-1 Configuración modulo 1. ....	24
Figura 5-2 Configuración modulo 2. ....	24
Figura 5-3 Ejemplo direccionamiento 16 y 64 bit. ....	25
Figura 5-4 Canales disponibles para el protocolo IEEE 802.15.4 .....	26
Figura 5-5 Configuración punto-a-multipunto.....	27
Figura 5-6 Red de Broadcast.....	28
Figura 5-7 Diagrama de pines del módulo Xbee. Vista Superior. ....	29
Figura 5-8 Formato del Frame para Cable Virtual.....	32
Figura 5-9 Estructura del Frame para Cable Virtual. Ocupando Direccionamiento de 16 bit.....	32
Figura 5-10 Ejemplo varias redes PAN NonBeacon con Coordinador. ....	35
Figura 5-11 Estructura del Frame del modo API.....	37
Figura 7-1 Placa Xbee EXPLORER.....	43
Figura 7-2 Xbee EXPLORER conectado al Puerto 31.....	44
Figura 7-3. Configuración conexión.....	45
Figura 7-4 Cabecera y Mascara del Canal para el comando IS. ....	47
Figura 7-5 Estados I/O digitales y ADC.....	47
Figura 7-6 Utilización comando IS.....	48
Figura 7-7 Configuración Hyperterminal. ....	50
Figura 7-8 Comandos AT por Hyperterminal.....	50
Figura 7-9 Test para verificar conexión.....	51
Figura 7-10 Pestaña Terminal.....	52
Figura 7-11 Modem Configuration.....	53
Figura 7-12 Barra de progreso de los parámetros del módem. ....	53
Figura 7-13 Proceso complete. ....	54
Figura 7-14 Configuración Cable virtual para módulo 1.....	55
Figura 7-15 Cable virtual Módulo 2. ....	56
Figura 7-16 Ejemplo Cable Virtual.....	57
Figura 9-1 Diagrama de pines.....	63
Figura 9-2 Detalles Eléctricos.....	64
Figura 9-3 Vista superior. ....	66

Figura 9-4 Vista lateral. ....	66
Figura 9-5 Vista inferior. ....	67
Figura 9-6 Vista lateral frontal.....	67

DRAFT

## Notas:

- Los comandos AT referidos por ejemplo como CE=1, indica que se debe ingresar ATCE1 en el Terminal de comandos del módulo.
- Algunos valores escritos es hexadecimal como MY=0xA2B3, indican que deben ser ingresados en el Terminal de comandos como ATMYA2B3 omitiendo '0x'.
- Cuando aparece un comando escrito de la forma CE=0, generalmente aparece luego la forma completa del comando para ser ingresado al módulo. Por ejemplo se mostraría como CE=1 (ATCE1).
- Los Carrier Return <CR> y los Line Feed <LF> son omitidos, ya que al presionar ENTER, son ingresados automáticamente. Cuando se devuelven comandos de respuesta como los OK, éstos también tienen <CR> y <LF>, pero del mismo modo serán omitidos para pesar la lectura. En caso de manejar los módulos con un microcontrolador, estos caracteres deben ser ingresados.

DRAFT

## 1 Introducción.

Zigbee es un protocolo de comunicaciones inalámbrico basado en el estándar de comunicaciones para redes inalámbricas IEEE\_802.15.4. Creado por Zigbee Alliance, una organización, teóricamente sin ánimo de lucro, de más de 200 grandes empresas (destacan Mitsubishi, Honeywell, Philips, ODEM, Invensys, entre otras), muchas de ellas fabricantes de semiconductores.

Zigbee permite que dispositivos electrónicos de bajo consumo puedan realizar sus comunicaciones inalámbricas. Es especialmente útil para redes de sensores en entornos industriales, médicos y, sobre todo, domóticos.

Las comunicaciones Zigbee se realizan en la banda libre de 2.4GHz. A diferencia de bluetooth, este protocolo no utiliza FHSS (Frequency hopping), sino que realiza las comunicaciones a través de una única frecuencia, es decir, de un canal. Normalmente puede escogerse un canal de entre 16 posibles. El alcance depende de la potencia de transmisión del dispositivo así como también del tipo de antenas utilizadas (cerámicas, dipolos, etc) El alcance normal con antena dipolo en línea vista es de aproximadamente (tomando como ejemplo el caso de MaxStream, en la versión de 1mW de potencia) de 100m y en interiores de unos 30m. La velocidad de transmisión de datos de una red Zigbee es de hasta 256kbps. Una red Zigbee la pueden formar, teóricamente, hasta 65535 equipos, es decir, el protocolo está preparado para poder controlar en la misma red esta cantidad enorme de dispositivos.

Entre las necesidades que satisface el módulo se encuentran:

- Bajo costo.
- Ultra-bajo consumo de potencia.
- Uso de bandas de radio libres y sin necesidad de licencias.
- Instalación barata y simple.
- Redes flexibles y extensibles.

El uso del protocolo Zigbee va desde reemplazar un cable por una comunicación serial inalámbrica, hasta el desarrollo de configuraciones punto a punto, multipunto, peer-to-peer (todos los nodos conectados entre sí) o redes complejas de sensores. Una conexión típica se muestra en la figura 1-1, donde se observa que cada módulo Xbee posee algún tipo de sensor, el cual entrega los datos para ser enviados a través de la red a un Centro que administre la información.

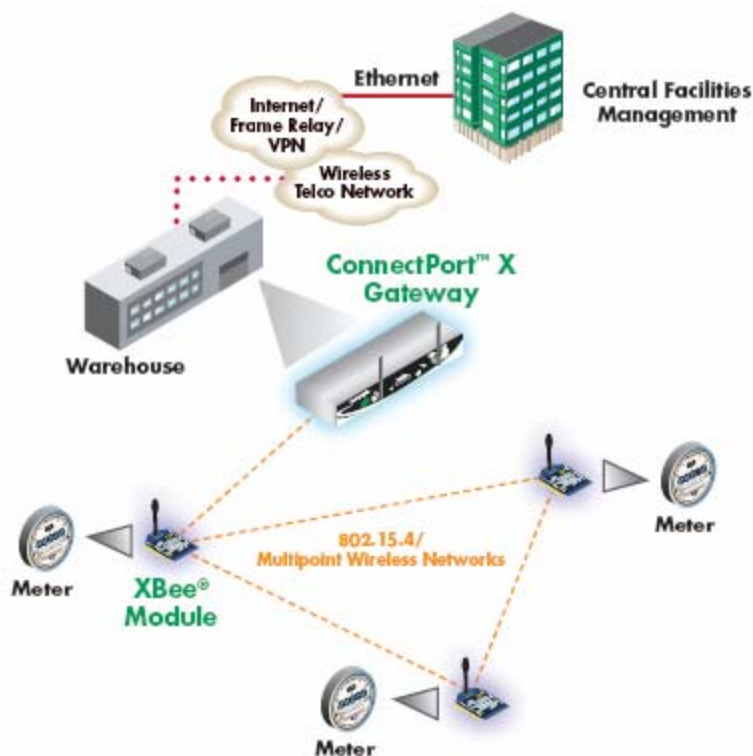


Figura 1-1 Conexión típica usando Xbee.

Una red Zigbee la forman básicamente 3 tipos de elementos. Un único dispositivo Coordinador, dispositivos Routers y dispositivos finales (end points).

### El Coordinador.

Es el nodo de la red que tiene la única función de formar una red. Es el responsable de establecer el canal de comunicaciones y del PAN ID (identificador de red) para toda la red. Una vez establecidos estos parámetros, el Coordinador puede formar una red, permitiendo unirse a él a dispositivos Routers y End Points. Una vez formada la red, el Coordinador hace las funciones de Router, esto es, participar en el enrutado de paquetes y ser origen y/o destinatario de información.

### Los Routers.

Es un nodo que crea y mantiene información sobre la red para determinar la mejor ruta para transmitir un paquete de información. Lógicamente un router debe unirse a una red Zigbee antes de poder actuar como Router retransmitiendo paquetes de otros routers o de End points.



**End Device.**

Los dispositivos finales no tienen capacidad de enrutar paquetes. Deben interactuar siempre a través de su nodo padre, ya sea este un Coordinador o un Router, es decir, no puede enviar información directamente a otro end device. Normalmente estos equipos van alimentados a baterías. El consumo es menor al no tener que realizar funciones de enrutamiento

DRAFT

## 2 Aplicaciones

Cada módulo Zigbee, al igual que ocurre con las direcciones MAC de los dispositivos ethernet, tiene una dirección única. En el caso de los módulos Zigbee cada uno de ellos tiene una dirección única de 64bits que viene grabada de fábrica. Por otro lado, la red Zigbee, utiliza para sus algoritmos de ruteo direcciones de 16 bits. Cada vez que un dispositivo se asocia a una red Zigbee, el Coordinador al cual se asocia le asigna una dirección única en toda la red de 16bits. Por eso el número máximo teórico de elementos que puede haber en una red Zigbee es de  $2^{16} = 65535$ , que es el n° máximo de direcciones de red que se pueden asignar.

Estos módulos Xbee, pueden ser ajustados para usarse en redes de configuración punto-a-punto, punto-a-multipunto o peer-to-peer. Un ejemplo se muestra en la Figura 2-1, donde se muestra una conexión multipunto, con un coordinador, conectado a varios nodos. **Digi**<sup>2</sup> tiene 2 series de módulos disponibles. Los módulos Xbee Serie 2 permite hacer redes mesh, La serie 1 no.

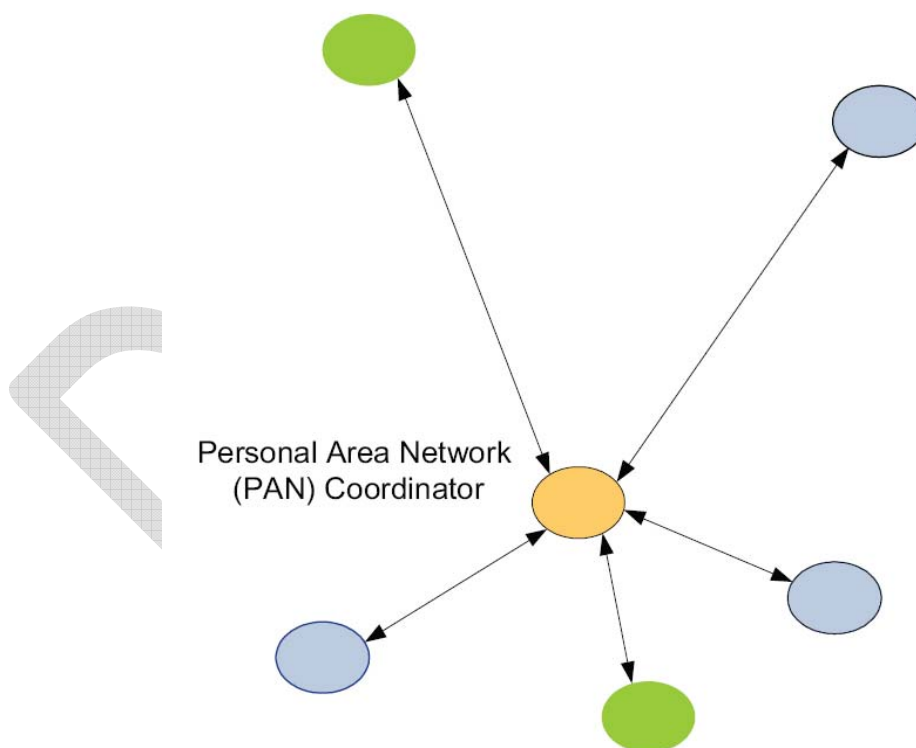
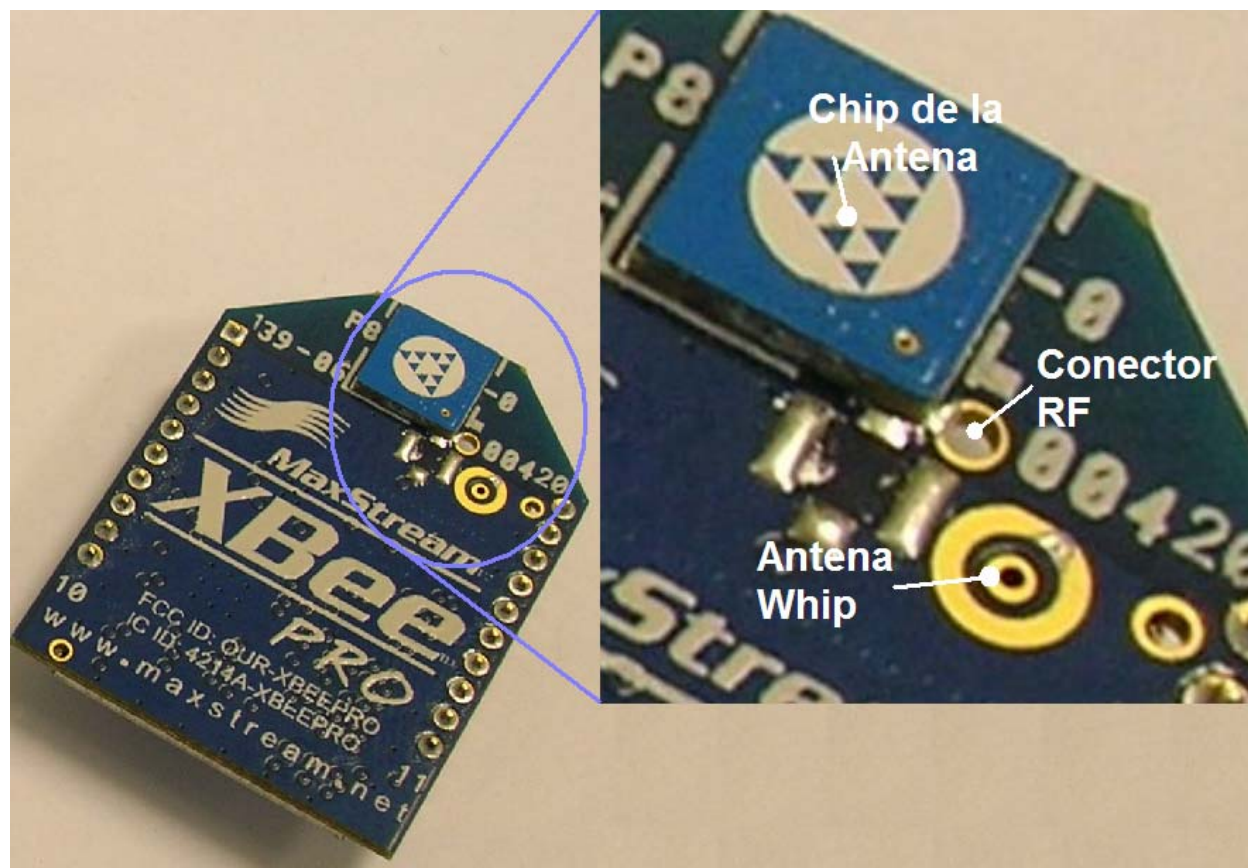


Figura 2-1 Coordinador PAN con múltiples nodos.

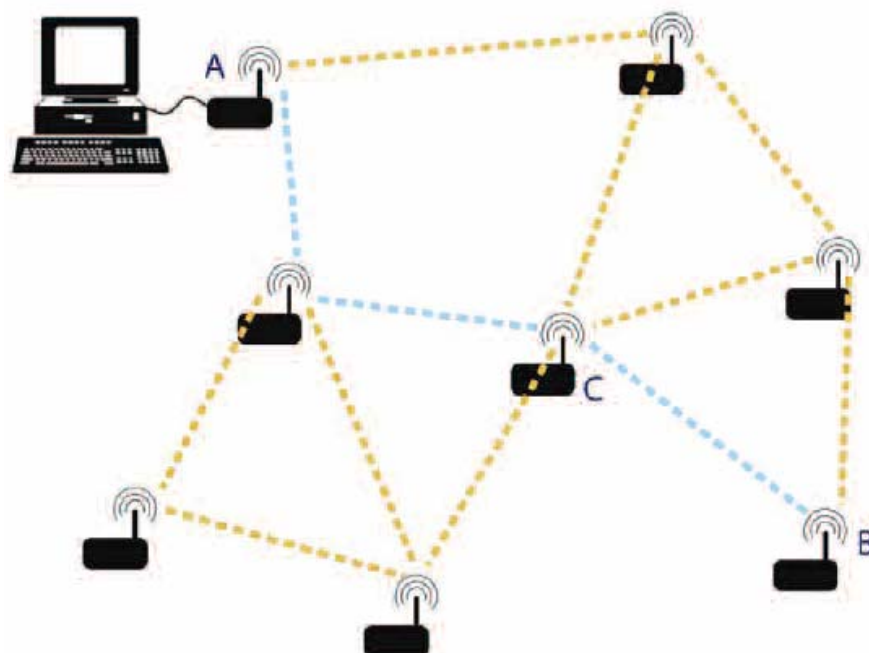
En la Figura 2-2 se observan los elementos del Xbee. El Chip de la antena en la parte superior, el conector para la antena RF, y el conector para una antena integrada Whip.

<sup>2</sup> [www.digi.com](http://www.digi.com) – Digi es la compañía que desarrolla estos módulos.



**Figura 2-2 Elementos del Xbee.**

También existen los llamados módulos Xbee PRO de la Serie 1 que se diferencian en la capacidad de alcance, permitiendo en algunos casos doblar la distancia de transmisión, ya que poseen una mayor potencia en la señal. Con los módulos Xbee PRO de la Serie 2, es posible crear redes más complejas, como las llamadas MESH. Estas permiten acceder a un punto remoto, utilizando módulos intermedios para llegar como routers. Además los módulos automáticamente generaran la red entre ellos, sin intervención humana alguna, permitiendo la reparación de la red en caso de que algún nodo falle. Al mismo tiempo la red por sí sola resuelve la mejor ruta para un determinado paquete.



**Figura 2-3 Red Mesh para módulos Xbee PRO Serie 2.**

La figura anterior muestra un ejemplo de una red MESH. Se observa que se desea acceder al punto B a partir del punto A. Suponiendo que la distancia entre A y B es demasiado para que alcance la señal, se utiliza la red MESH para poder alcanzarla, así cada nodo ubicado en medio del camino mostrado en celeste, funciona como módulo transparente, donde todo lo que le llega es retransmitido hacia el punto A. Esto funciona para cada uno de los módulos de la red.

### 3 Circuito básico para el Xbee.

La figura 3-1 muestra las conexiones mínimas que necesita el módulo Xbee para poder ser utilizado. Luego de esto, se debe configurar según el modo de operación adecuado para la aplicación requerida por el usuario.

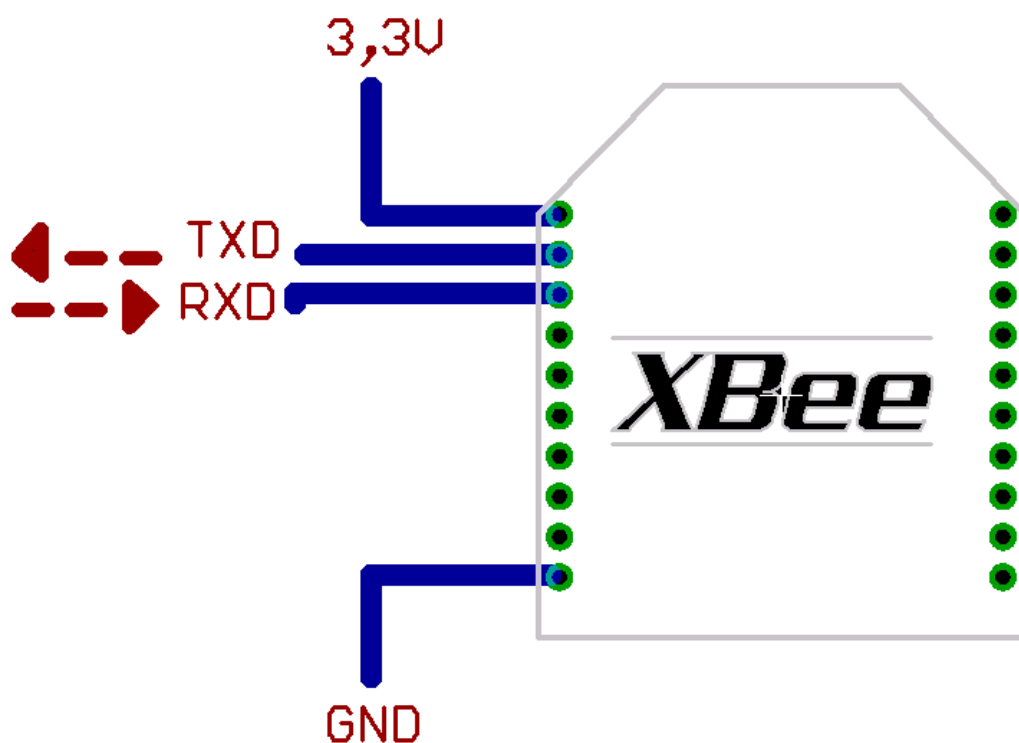


Figura 3-1 Conexiones mínimas requeridas para el Xbee.

El módulo requiere una alimentación desde 2.8 a 3.4 V, la conexión a tierra y las líneas de transmisión de datos por medio del UART (TXD y RXD) para comunicarse con un microcontrolador, o directamente a un puerto serial utilizando algún conversor adecuado para los niveles de voltaje.

Esta configuración, no permite el uso de Control de Flujo (RTS & CTS), por lo que ésta opción debe estar desactivada en el "ODEM" do y en el módulo Xbee. En caso de que se envíe una gran cantidad de información, el buffer del módulo se puede sobrepasar. Para evitar esto existen dos alternativas:

- bajar la tasa de transmisión
- activar el control de flujo.

## 4 Modos de Operación.

Los módulos Xbee, pueden operar en los siguientes 5 modos:

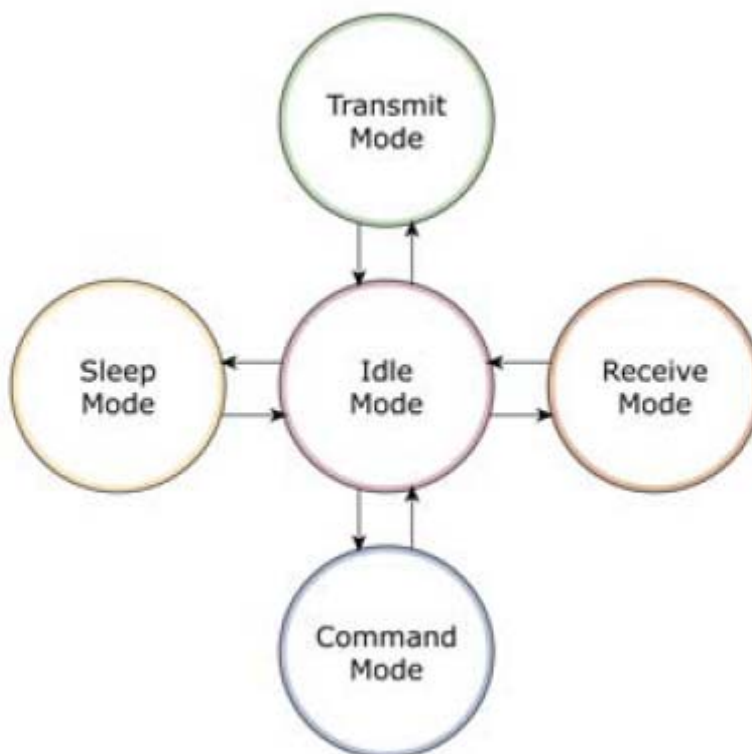


Figura 4-1 Modos de operación del modulo Xbee.

### 4.1 Modo RECIBIR/TRANSMITIR.

Se encuentra en estos modos cuando el módulo recibe algún paquete RF a través de la antena(modos Receive) o cuando se envía información serial al buffer del pin 3 (UART Data in) que luego será transmitida (modo Transmit).

La información transmitida puede ser Directa o Indirecta. En el modo directo la información se envía inmediatamente a la dirección de destino. En el modo Indirecto la información es retenida por el módulo durante un período de tiempo y es enviada sólo cuando la dirección de destino la solicita.

Además es posible enviar información por dos formas diferentes. Unicast y Broadcast. Por la primera, la comunicación es desde un punto a otro, y es el único modo que permite respuesta de quien recibe el paquete RF, es decir, quien recibe debe enviar un **ACK** (paquete

llamado así, y que indica que recibió el paquete, el usuario no puede verlo, es interno de los módulos) a la dirección de origen. Quien envió el paquete, espera recibir un **ACK**, en caso de que no le llegue, reenviará el paquete hasta 3 veces o hasta que reciba el **ACK**. Después de los 3 intentos se incrementa el registro de fallas **ACK** en uno. Para ver el conteo se utiliza el comando **EA** (**ATEA** en el Modo de Comandos– **ACK Failures**), el cual se satura hasta 0xFFFF (65535 decimal). Para resetear el registro se debe ingresar **ATEA0**. En el modo Broadcast la comunicación es entre un nodo y a todos los nodos de la red. En este modo, no hay confirmación por **ACK**.

## 4.2 Modo de Bajo Consumo (Sleep Mode).

El modo de Bajo Consumo o modo Sleep, corresponde cuando el módulo entra en un estado de bajo consumo de energía. Esto depende de la configuración en la que se encuentra. Se debe indicar que el ahorro de energía depende enormemente del voltaje de alimentación<sup>3</sup>.

Para entrar a este modo se debe configurar el comando **SM** (**ATSM** – Sleep Mode). Si **SM=4** o **SM=5**, el módulo entra al modo **SLEEP** cuando transcurre un período dado por el comando **ST** (**ATST**-Time Before Sleeping-tiempo antes de dormir). Donde **ST** posee un rango entre 0 y 0xFFFF (x 1ms). Si **SM=4**, el módem despertará cada cierto tiempo, dado por **SP** (**ATSP** – Cyclic Sleep Period), cuyo rango es entre 0 y 0x68B0 (x10 ms). Cuando despierta buscará por datos entrantes desde un módulo configurado como **Coordinador** (ver más adelante), en caso de no haber nada, el módem volverá al modo **SLEEP**. Si **SM=5**, el módulo realzará lo mismo que antes, pero despertará de acuerdo al estado del pin **SLEEP\_RQ** (pin 9). Cuando el pin pase a **LOW** (el pin es disparado por detección de borde, no por nivel), despertará, buscará por datos entrantes, y si no hay nada volverá a cero el timer del comando **ST**, por lo que sólo volverá a dormir cuando transcurra el período dado por éste. Mientras transcurra ese período, cualquier actividad en el pin **SLEEP\_RQ** será ignorada, hasta que vuelva al modo **SLEEP**. Si **SM=1**, el módulo entrará al estado de hibernación. En este estado, si el pin **SLEEP\_RQ** está en **HIGH**, el módulo cortará cualquier actividad entrante, ya sea de transmisión, recepción o de asociación (se verá más adelante) y entrará al modo **SLEEP**, y no saldrá de ahí hasta que el pin **SLEEP\_RQ** vuelva a estar en **LOW**. Mientras se encuentre en el estado de hibernación, no responderá a ninguna actividad serial ni a ningún paquete RF entrante, simplemente los desechará. En el modo hibernación el sistema ahorra una gran cantidad de potencia. Si **SM=2**, el sistema se comporta igual que el modo de hibernación, pero sin tanto ahorro de energía y además despierta mucho más rápido que el modo anterior.

<sup>3</sup> Ver Manual Técnico de XBEE para mayor detalle.



La siguiente tabla explica lo anterior:

Modo	Consumo alimentación			Modo Sleep	Modo Wake-up
	2.8 – 3 V	3.2 V	3.4V		
SM=1	<3 uA	32 uA	255 uA	Sleep_RQ	Sleep_RQ
SM=2	<35 uA	48 uA	170 uA	Sleep_RQ	Sleep_RQ
SM=3	(reservado)			(reservado)	(reservado)
SM=4	<34 uA	49 uA	240 uA	Comando ST	Comando SP
SM=5	<34 uA	49 uA	240 uA	Comando ST	Sleep RQ

Tabla 4-1 Tabla Modo Sleep y consumos de corriente.

### 4.3 Modo de Comando.

Este modo permite ingresar comandos AT al módulo Xbee, para configurar, ajustar o modificar parámetros. Permite ajustar parámetros como la dirección propia o la de destino, así como su modo de operación entre otras cosas. Para poder ingresar los comandos AT es necesario utilizar el Hyperterminal de Windows, el programa X-CTU<sup>4</sup> o algún microcontrolador que maneje UART y tenga los comandos guardados en memoria o los adquiera de alguna otra forma.

Para ingresar a este modo se debe esperar un tiempo dado por el comando GT (Guard Time, por defecto ATGT=0x3E8<sup>5</sup> que equivalen a 1000ms) luego ingresar **+++** y luego esperar otro tiempo GT. Como respuesta el módulo entregará un **OK**. El módulo Xbee viene por defecto con una velocidad de 9600bps. En caso de no poder ingresar al modo de comandos, es posible que sea debido a la diferencia de velocidades entre el módulo y la interfaz que se comunica vía serial.

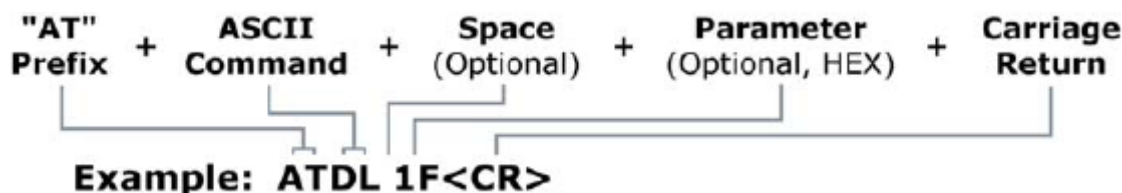


Figura 4-2 Ejemplo Comando AT.

En la figura anterior se muestra la sintaxis de un comando AT. Luego de ingresar a este modo, se debe ingresar el comando deseado para ajustar los parámetros del módulo Xbee. La lista de comandos de encuentra en las siguientes secciones.

Por ejemplo si se desea modificar la dirección de origen del módulo de 16-bit (con el comando MY), se debe ingresar:

<sup>4</sup> Para configurar el Hyperterminal o el programa X-CTU diríjase al capítulo 7.

<sup>5</sup> Todos los valores de parámetros están en formato hexadecimal.



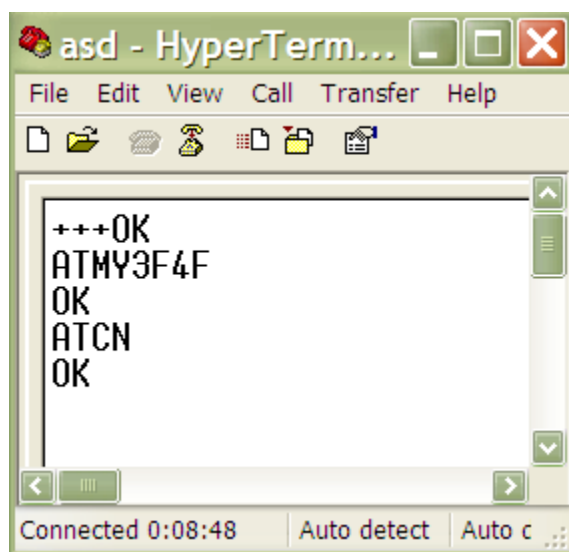


Figura 4-3 Ejemplo escritura de parámetros.

En el ejemplo anterior, la dirección asignada equivale a 0x3F4F. Se observa que primero se ingresa al modo de comandos AT, recibiendo un **OK** de respuesta. Luego se ingresa el comando **ATMY3F4F** y se presiona **ENTER** o carácter <CR><LF> (Carrier Return y Line Feed) si se maneja desde un microcontrolador. Con ello se recibe un <CR><LF>**OK**<CR><LF> como respuesta.

Para salir del modo de Comandos se ingresa **ATCN** y se presiona **ENTER**. En caso de que no se ingrese ningún comando AT válido durante el tiempo determinado por CT (Command Mode Timeout), el módulo se saldrá automáticamente del modo de comandos. Para que los cambios realizados tengan efecto se debe ingresar el comando **ATCN** (sale del modo de comandos) o **ATAC** (aplica los cambios inmediatamente). Con el comando **ATWR**, se guardan los cambios en la memoria no volátil del módulo, pero sólo tendrán efecto una vez ingresado el comando AC o CN.

Para consultar el valor asignado a un comando, éste debe ingresarse directamente sin ningún parámetro. En el ejemplo anterior se ingresaría **ATMY**. La siguiente figura muestra lo anterior:

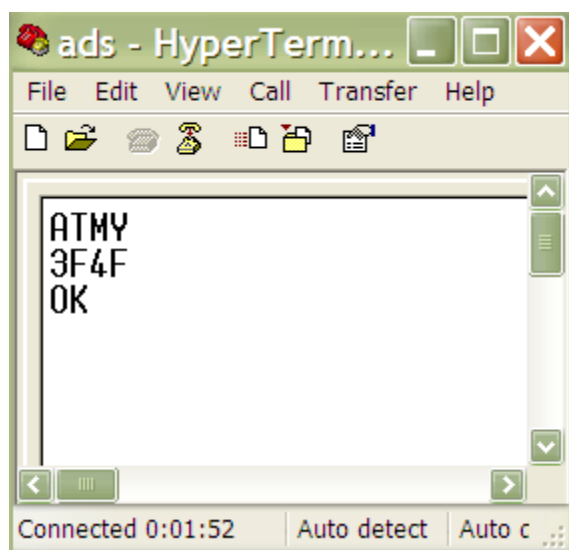


Figura 4-4 Ejemplo lectura de parámetros.

Se observa que se ingresa **ATMY**, donde el que módulo responde con un **3F4F**, que es la dirección que tiene configurada, y luego con un **OK**. Otra forma de configurar el módulo por comandos AT, es ingresando varios comandos separados por *coma* (`,`). Esto se muestra a continuación de las dos formas:

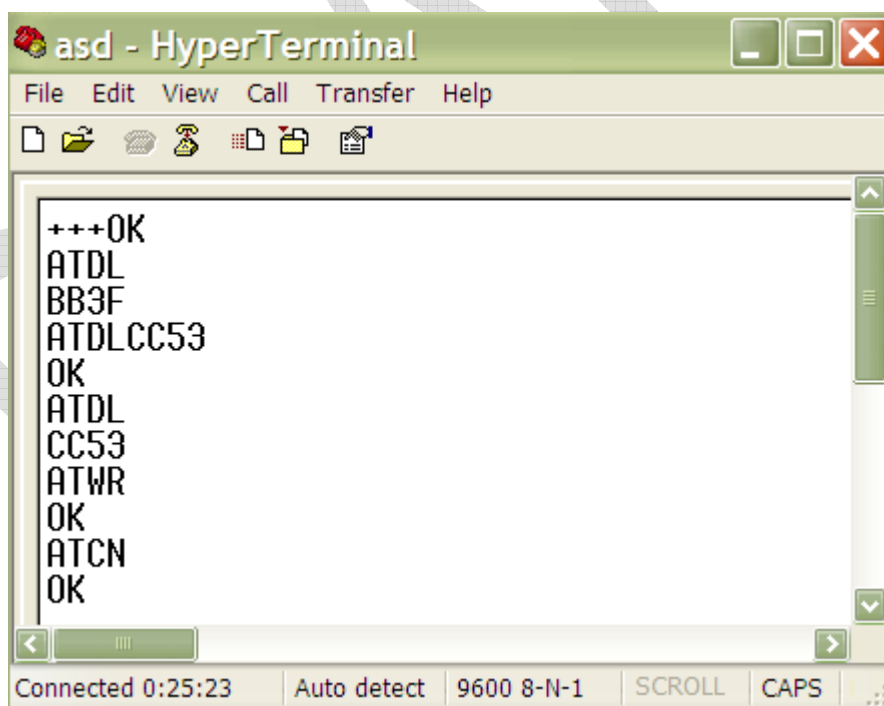


Figura 4-5 Forma normal de escribir.

Se observa que luego de ingresar al modo de Comandos (**+++**), se pregunta por la dirección de destino (**ATDL**), para lo cual se tiene como respuesta la dirección 0xBB3F. Con ello se modifica esta dirección por 0xCC53 ingresando **ATDLCC53**, obteniendo un **OK** como respuesta. Se confirma el correcto ajuste preguntando nuevamente y luego se guarda la

configuración en la memoria no volátil del módulo usando **ATWR**, para lo cual se vuelve a obtener un **OK**. Posteriormente se saldrá del modo de comando utilizando **ATCN** obteniendo otro **OK**. Otra forma de hacer lo mismo se muestra en la siguiente figura:

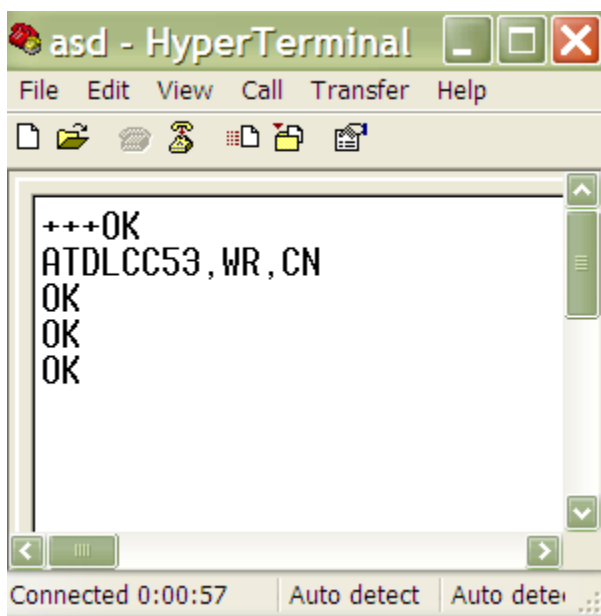


Figura 4-6 Forma abreviada para varios comandos al mismo tiempo.

Se observa que luego de ingresar al modo de comandos, se ingresa **ATDLCC35,WR,CN** que indica que se ingresarán tres comandos en uno, y éstos serán **ATDLCC35**, **ATWR** y **ATCN**. Luego se obtendrá la respuesta para cada comando en el mismo orden en que fueron ingresados.

Además de los modos anteriores, existen otros modos referentes a lo que son la forma de transmitir la información. Estos modos son: Modo Transparente y Modo API.

#### 4.4 Modo Transparente

En este modo todo lo que ingresa por el pin 3 (Data in), es guardado en el buffer de entrada y luego transmitido y todo lo que ingresa como paquete RF, es guardado en el buffer de salida y luego enviado por el pin 2 (Data out). El modo Transparente viene por defecto en los módulos Xbee.

Este modo está destinado principalmente a la comunicación punto a punto, donde no es necesario ningún tipo de control. También se usa para reemplazar alguna conexión serial por cable, ya que es la configuración más sencilla posible y no requiere una mayor configuración.

En este modo, la información es recibida por el pin 3 del módulo Xbee, y guardada en el buffer de entrada. Dependiendo de cómo se configure el comando **RO**, se puede transmitir la información apenas llegue un carácter (**RO=0**) o después de un tiempo dado sin recibir ningún carácter serial por el pin 3. En ese momento, se toma lo que se tenga en el buffer de entrada, se empaqueta, es decir, se integra a un paquete RF, y se transmite. Otra condición que puede

cumplirse para la transmisión es cuando el buffer de entrada se llena, esto es, más de 100 bytes de información.

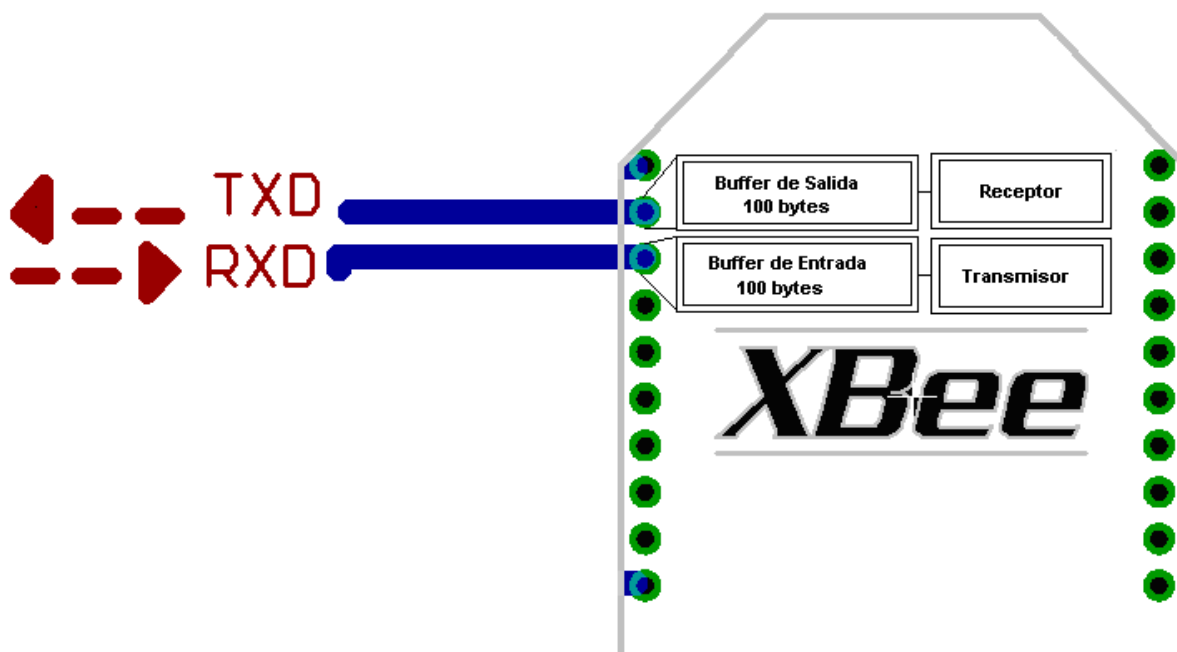


Figura 4-7 Correspondencia de Buffer.

## 4.5 Modo de operación API

Este modo es más complejo, pero permite el uso de frames con cabeceras que aseguran la transmisión de los datos, al estilo TCP. Extiende el nivel en el cual la aplicación del cliente, puede interactuar con las capacidades de red del módulo.

Cuando el módulo Xbee se encuentra en este modo, toda la información que entra y sale, es empaquetada en frames, que definen operaciones y eventos dentro del módulo.

Así, un frame de Transmisión de Información (información recibida por el pin 3 o DIN) incluye:

- Frame de información RF transmitida.
- Frame de comandos (equivalente a comandos AT).

Mientras que un Frame de Recepción de Información incluye:

- Frame de información RF recibida.
- Comando de respuesta.
- Notificaciones de eventos como Reset, [ ODEM ] do, Disassociate, etc.

Esta API, provee alternativas para la configuración del módulo y ruteo de la información en la capa de aplicación del cliente. Un cliente puede enviar información al módulo Xbee. Estos datos serán contenidos en un frame cuya cabecera tendrá información útil referente el módulo. Esta información además se podrá configurar, esto es, en vez de estar usando el modo de comandos para modificar las direcciones, la API lo realiza automáticamente. El módulo así enviará paquetes de datos contenidos en frames a otros módulos de destino, con información a sus respectivas aplicaciones, conteniendo paquetes de estado, así como el origen, RSSI (potencia de la señal de recepción) e información de la carga útil de los paquetes recibidos.

Entre las opciones que permite la API, se tienen:

- Transmitir información a múltiples destinatarios, sin entrar al modo de Comandos.
- Recibir estado de éxito/falla de cada paquete RF transmitido.
- Identificar la dirección de origen de cada paquete recibido.

#### 4.6 IDLE

Cuando el módulo no se está en ninguno de los otros modos, se encuentra en éste. Es decir, si no está ni transmitiendo ni recibiendo, ni ahorrando energía ni en el modo de comandos, entonces se dice que se encuentra en un estado al que se le llama IDLE.

## 5 Configuración del Módulo Xbee.

En este capítulo se explicará cómo configurar los módulos para los distintos tipos de redes que soporta Xbee. Además se mostrarán algunos ejemplos de topologías de redes.

Para que los cambios realizados tengan efecto se debe ingresar ATCN (sale del modo de comandos) o ATAC (aplica los cambios inmediatamente).

### 5.1 Direccionamiento de los módulos

Los módulos permiten 2 tipos de direccionamiento. La de 16 bit y la de 64 bits. La principal diferencia es que en la de 64 bit, es posible obtener una mayor cantidad de direcciones y por lo tanto, una mayor cantidad de nodos o equipos funcionando en la misma red. Son a través de estas direcciones que los módulos se comunican entre sí.

La dirección de origen de 16 bits del módulo se define arbitrariamente con el comando MY (ATMY – 16 bit Source Address). La de destino con los comandos DL (ATDL – Destination Address Low) y DH (Destination Address High).

#### 5.1.1 Direccionamiento de 16 bit.

El comando MY, define un número de 16 bit como dirección del módulo dentro de la red. El rango se encuentra entre 0x0 y 0xFFFFE (la dirección 0xFFFF y 0xFFFFE son para habilitar la dirección de 64-bit, por lo que si se desea utilizar direccionamiento de 16 bits, estos valores no deben ser usados). Para definirla se ingresa ATMY y el número en formato hexadecimal, pero sin el '0x'. Por ejemplo si a un módulo se le quiere asignar la dirección 0x3BF1 (15345 en decimal), entonces se debe ingresar el comando ATMY3BF1.

El comando DL, permite definir un número de 16 bit como dirección del módulo de destino dentro de la red al cual se va a realizar la comunicación. El rango debe estar entre 0x0 y 0xFFFFE (las direcciones 0xFFFFE y 0xFFFF se utilizan para direccionamiento de 64 bits).

Así para habilitar el direccionamiento de 16 bit, se debe utilizar una dirección menor a 0xFFFFE con el comando MY, de igual modo para DL y se debe dejar en cero el comando DH=0 (ATDH0). No se permite usar la dirección 0xFFFFE ni 0xFFFF para el direccionamiento de 16 bits.

#### 5.1.2 Direccionamiento de 64 bits.

El número 0xFFFF y 0xFFFFE del comando MY, se usa cuando se desea desactivar el direccionamiento de 16 bit, y se habilita el uso de la dirección de 64 bit. Con este direccionamiento ya no es posible definir la dirección de origen del módulo, ya que ésta se asigna automáticamente. En este caso, la dirección del módulo corresponde a su número serial, que viene de fábrica y el cual es imposible de cambiar. Este número se encuentra guardado en

dos variables de 32 bit cada una (SL y SH) y es único. SL lee los 32 bit menos significativos del número serial y SH los 32 más significativos.

Cuando se utiliza direccionamiento de 64 bit, para asignar una dirección de destino, se utilizan los comandos DL y DH. Éstos son de 32 bit cada uno (para el direccionamiento de 16 bit, DL se maneja como uno de 16, mientras que DH se mantiene en cero) y juntos (DL+DH) forman el número de 64 bit que debe corresponder con el número serial de otro módulo formado por SL+SH. Así para el ODEM en algún dato, DL debe ser igual a SL y DH debe ser igual a SH, donde SL+SH corresponden al número serial de un módulo destino configurado para direccionamiento de 64 bits.

Para el direccionamiento de 64 bit, se debe dejar MY como 0xFFFF (ATMYFFFF) o 0xFFFFE (ATMYFFFE) y elegir una dirección de destino usando DL+DH, que debe corresponder a una dirección de 64 bit de otro módulo, indicando su número serial dado por SL+SH. Para consultar este número se debe ingresar ATSL (32 bit menos significativos) y luego ATSH (32 bit más significativos), entregando como respuesta los números seriales en formato hexadecimal.

## 5.2 Modo de Conexión Transparente.

Esta es la conexión que viene por defecto y es la forma más sencilla de configurar el módem. Básicamente todo lo que pasa por el puerto UART (DIN, pin 3), es enviado al módulo deseado, y lo recibido en el módulo, es enviado devuelta por el mismo puerto UART (DOUT, pin2).

Existen básicamente 4 tipos de conexión transparente. La diferencia principal radica en el número de nodos o puntos de acceso, y la forma en que éstos interactúan entre sí.

### 5.2.1 Punto a Punto.

Es la conexión ideal para reemplazar comunicación serial por un cable. Sólo se debe configurar la dirección. Para ello se utilizan los comandos MY y el DL. La idea, es definir arbitrariamente una dirección para un módulo, usando el comando MY, el cual se va a comunicar con otro que tiene la dirección DL, también definida arbitrariamente. Con esto cada módulo define su dirección con MY, y escribe la dirección del módulo al cual se desea conectar usando DL.

En este modo, el módulo receptor del mensaje envía un paquete al módulo de origen llamado ACK (viene de Acknowledgment) que indica que el mensaje se recibió correctamente.

En la siguiente figura se muestra un pequeño ejemplo donde las direcciones se eligieron arbitrariamente:

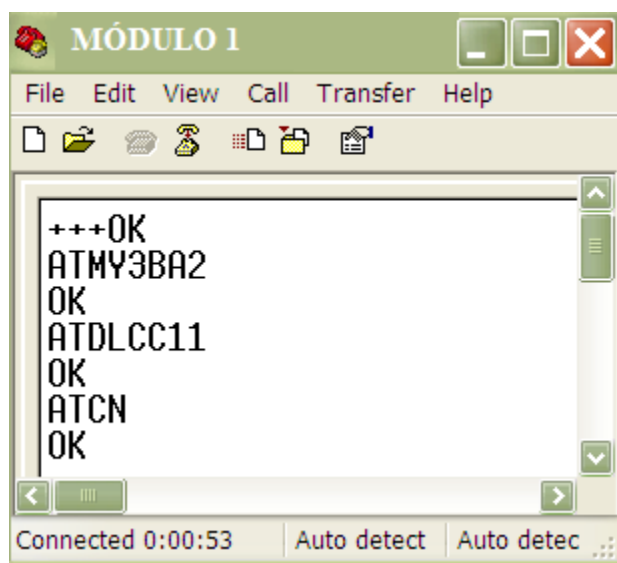


Figura 5-1 Configuración modulo 1.

Se observa que en el módulo 1, se ajustó la dirección de origen como 0x3BA2 (ATMY3BA2), mientras que la dirección de destino se asignó como 0xCC11 (ATDLCC11) que corresponde al módulo 2. En el otro módulo se observa lo siguiente:

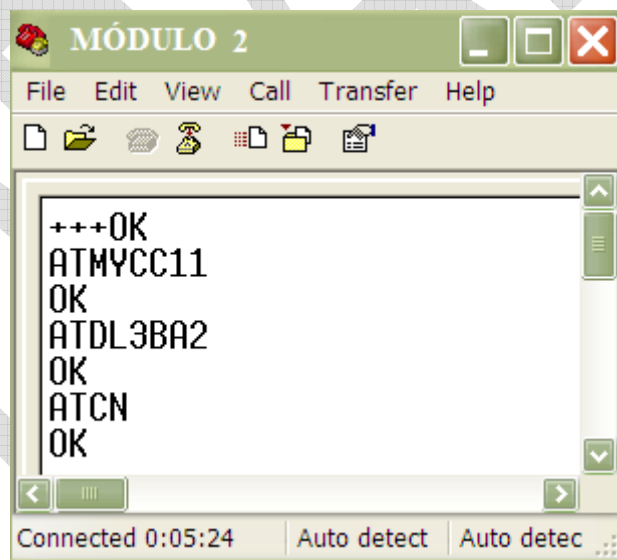
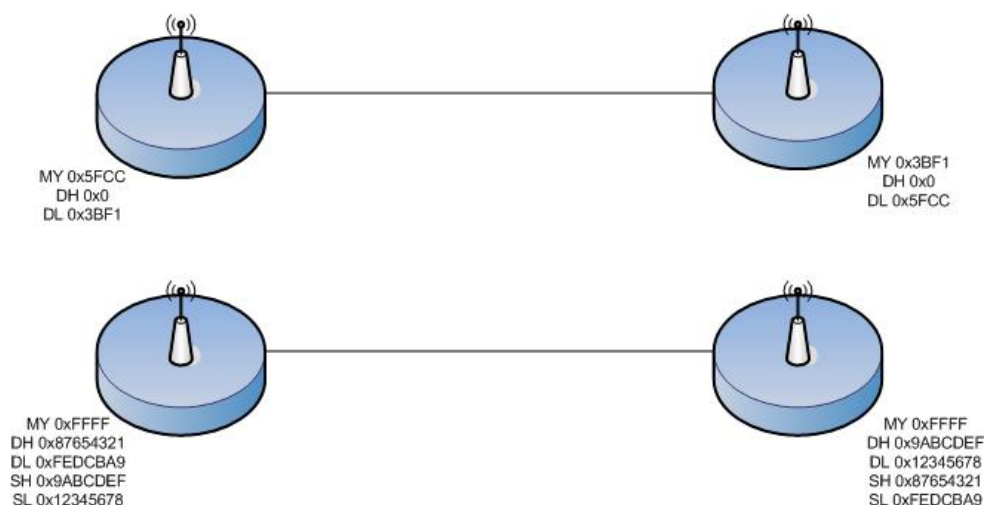


Figura 5-2 Configuración modulo 2.

En este módulo se asignó como dirección de origen 0xCC11 (ATMYCC11) y como dirección de destino 0x3BA2 (ATDL3BA2) que corresponde al módulo 1. La siguiente figura muestra un ejemplo gráfico de lo anterior.





**Figura 5-3 Ejemplo direccionamiento 16 y 64 bit.**

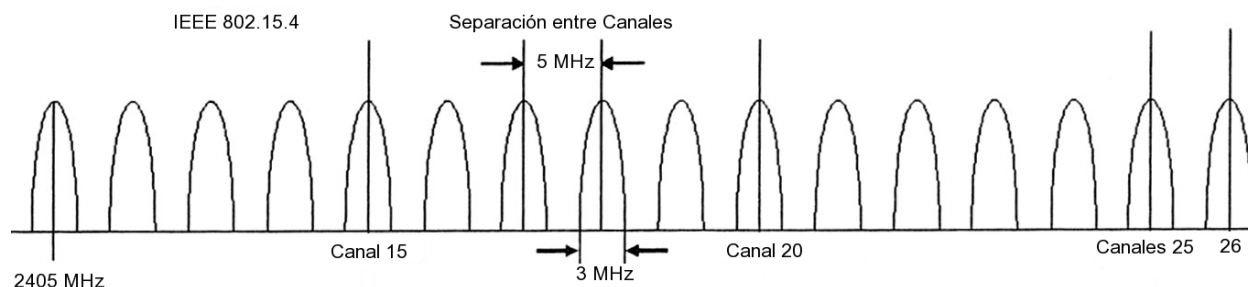
En la figura anterior se muestra que la primera conexión es una punto a punto utilizando direccionamiento de 16 bit, mientras que la segunda utiliza direccionamiento de 64 bits. Una vez configurado, el módem se encuentra listo para funcionar. Así todo lo que se transmite por el pin DIN de un módulo, es recibido por el pin DOUT del otro. Para que el modo Punto a Punto funcione, los módulos deben pertenecer a la misma PAN ID y al mismo canal. Más adelante se explica cómo configurar la PAN ID y el Canal.

### 5.2.2 Punto a Multipunto.

Esta conexión, permite prestaciones extras. Se diferencia del Broadcast, en que permite transmitir información, desde la entrada serial de un módulo (DIN, pin 3) a uno o varios módulos conectados a la misma red de manera más controlada, ya que se necesitan las direcciones de los otros módulos, por lo que existe mayor seguridad. Para esto se necesitan dos comandos más aparte de MY y DL. Se utilizará el direccionamiento de 16 bits.

El primer comando es el ID de la PAN (Personal Area Network- Red de Área Personal). Todos los módulos que tengan idéntico PAN ID, pertenecerán a la misma red. El comando para configurar este valor es ID, es decir, **ATID**, y su rango va entre 0x0 y 0xFFFF. Por ejemplo si queremos ajustar el PAN ID como 0x3332, se debe ingresar ATID3332. Este parámetro también es arbitrario, al igual que MY y DL.

El otro comando corresponde al canal por el cual se va a comunicar. Según la Figura 5-4, se disponen de 16 canales según el protocolo IEEE 802.15.4. Este estándar indica que entre cada canal, deben existir 5 MHz de diferencia, partiendo de la frecuencia base 2.405 GHz, se llegan hasta los 2.480 GHz.



**Figura 5-4 Canales disponibles para el protocolo IEEE 802.15.4**

Se observa que hay 16 canales disponibles, sin embargo, los valores se asignan desde el 11 hasta el 26. Para calcular la frecuencia central se utiliza la siguiente fórmula:

$$Canal = 2.405 + (CH - 11) \times 0.005 \text{ [GHz]}$$

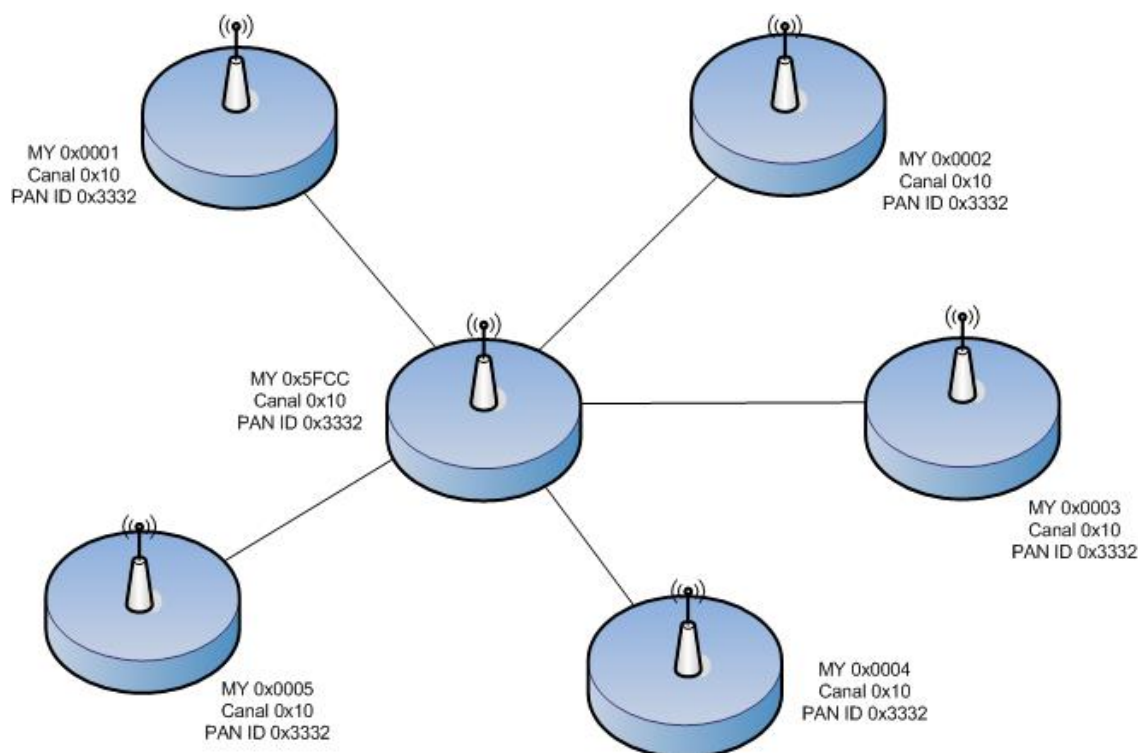
Donde CH equivale al número del canal entre 11 y 26. Así para cambiar de canal se utiliza el comando CH con el número de canal en formato hexadecimal. Es decir, si se desea ocupar el canal 15 (0x10), se ingresa ATCH10. La siguiente tabla muestra la frecuencia central de cada canal, así como su límite inferior y superior:

Frecuencia [GHz]					
canal	hexadecimal	inferior	central	superior	Comando AT
11	0x0B	2,4025	2,4050	2,4075	ATCH0B
12	0x0C	2,4075	2,4100	2,4125	ATCH0C
13	0x0D	2,4125	2,4150	2,4175	ATCH0D
14	0x0E	2,4175	2,4200	2,4225	ATCH0E
15	0x0F	2,4225	2,4250	2,4275	ATCH0F
15	0x10	2,4225	2,4250	2,4275	ATCH10
17	0x11	2,4325	2,4350	2,4375	ATCH11
18	0x12	2,4375	2,4400	2,4425	ATCH12
19	0x13	2,4425	2,4450	2,4475	ATCH13
20	0x14	2,4475	2,4500	2,4525	ATCH14
21	0x15	2,4525	2,4550	2,4575	ATCH15
22	0x16	2,4575	2,4600	2,4625	ATCH16
23	0x17	2,4625	2,4650	2,4675	ATCH17
24	0x18	2,4675	2,4700	2,4725	ATCH18
25	0x19	2,4725	2,4750	2,4775	ATCH19
26	0x1A	2,4775	2,4800	2,4825	ATCH1A
Frecuencia Base 2,405 GHz					

**Tabla 5-1 Frecuencia de Canales y su respectivo Comando AT.**

La elección del canal debe ser cuidadosa, ya que otras tecnologías como WI-FI o Bluetooth utilizan el mismo espectro de frecuencias, por lo que se podría producir interferencia.

Con todo lo anterior, es posible configurar una PAN y hacer una conexión punto a multipunto. La red se vería como:



**Figura 5-5 Configuración punto-a-multipunto.**

Así en cada nodo se configura una dirección MY distinta, pero utilizando el mismo canal y el mismo PAN ID, que en la figura corresponden al canal 15 (0x10) y al ID 0x3332 de la PAN.

Para que cada módulo reciba la información, debe ser estrictamente necesario que tengan tanto el mismo canal, como el mismo PAN ID. Incluso si se trabaja en Broadcast o punto a punto los módulos deben coincidir en ello. Los módulos vienen por defecto configurados con el canal 0x0C y el PAN ID 0x3332 por defecto.

Esta configuración, permite enviar información más controlada, ya que es necesario pertenecer tanto al mismo canal, como a la misma red. Además para enviar información se debe ingresar la dirección del módulo de destino, por lo que es necesario el conocimiento completo de la red. En los módulos más avanzados, como Xbee PRO, el reconocimiento de la red se realiza automáticamente.

### 5.2.3 Broadcast

Esta configuración permite el envío de información desde un nodo a varios nodos en una misma red PAN. La información recibida es la misma para todos los nodos. Para que un módulo entregue datos a todos los nodos, es necesario ajustarlo con la dirección de Broadcast. Cualquier módulo que reciba un paquete con una dirección de destino de Broadcast será aceptado.

La dirección de Broadcast es:

- DL=0x0000FFFF
- DH=0x00000000

Esta dirección puede ser configurada en todos los nodos de la red, ya sea que estén en direccionamiento de 16 o 64 bits. Así se puede ingresar **ATDH0** y **ATDL0000FFFF** en todos los módulos para que el modo broadcast esté habilitado. Para que este modo funcione, los módulos deben pertenecer a la misma PAN ID y al mismo canal. La siguiente figura muestra una red de Broadcast en cada nodo:

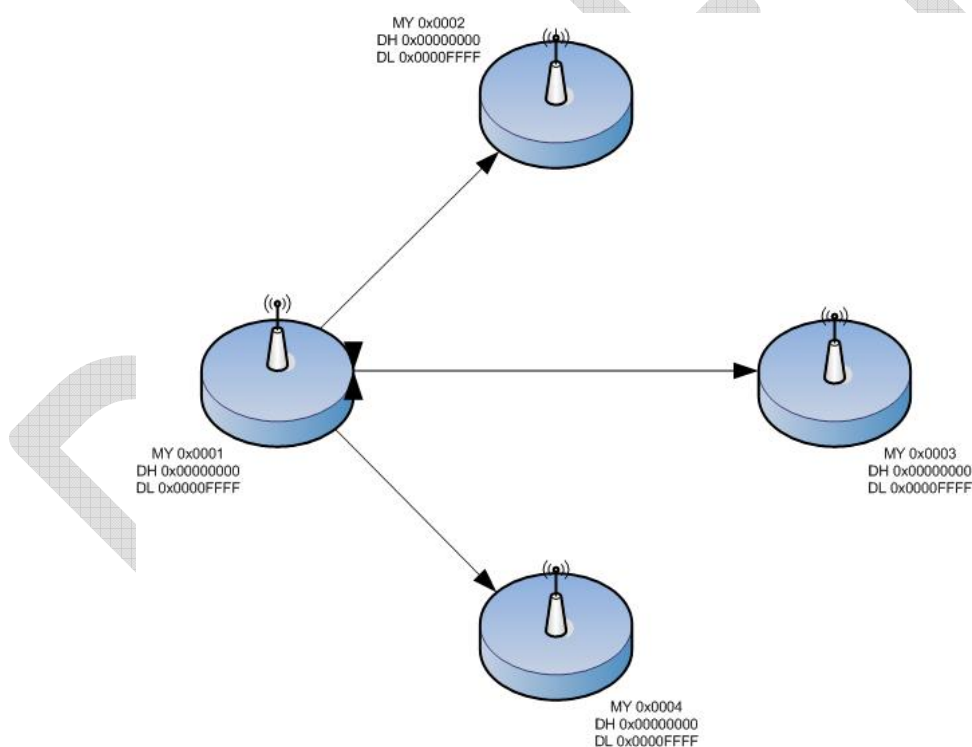


Figura 5-6 Red de Broadcast.

Se observa en la figura anterior la configuración de Broadcast. Si se envía algún dato por el módulo 0x0001, la información enviada será recibida por igual en el resto de los módulos (0x0002, 0x0003 y 0x0004). Del mismo modo si se envía algún dato por otro módulo, por ejemplo por el 0x0004, este dato le llegará al resto, es decir, al 0x0001, 0x0002 y al 0x0003. Cabe mencionar que este tipo de red o de envío de datos, no entrega respuesta de recibo o ACK, por lo que no es posible saber si el paquete fue entregado correctamente o si es que llegó.

Si se ajusta la dirección PAN ID del módulo como ID=0xFFFF, se produce Broadcast a todas las redes PAN. Esto es, los datos son transmitidos a las distintas redes PAN, pero no se confirma la entrega de éstos (no se recibe ACK). Si se ingresa ID=0xFFFF y además DL=0xFFFF se realiza doble broadcast, es decir, además de transmitirse los datos a todas las redes PAN, el mensaje es transmitido a todos los módulos de cada una de ellas. Si se ingresa ID=0xFFFF y DL=0xAAAA (dirección arbitraria), los datos son transmitidos a todos los módulos que posean la dirección AAAA, pero que no necesariamente se encuentren en la misma red PAN.

#### 5.2.4 Cable Virtual I/O

Esta opción de configuración permite crear los llamados Cables Virtuales. Se utilizan para crear un canal de comunicación de manera transparente entre los pines de un módulo y otro. Cada pin de entrada tiene su propio pin de salida ya definido entre nodos, esto permite una forma totalmente simple de enviar información, controlar o medir de manera sencilla y rápida, sin necesidad de complicadas configuraciones. El esquemático de los pines se muestra en la siguiente figura:

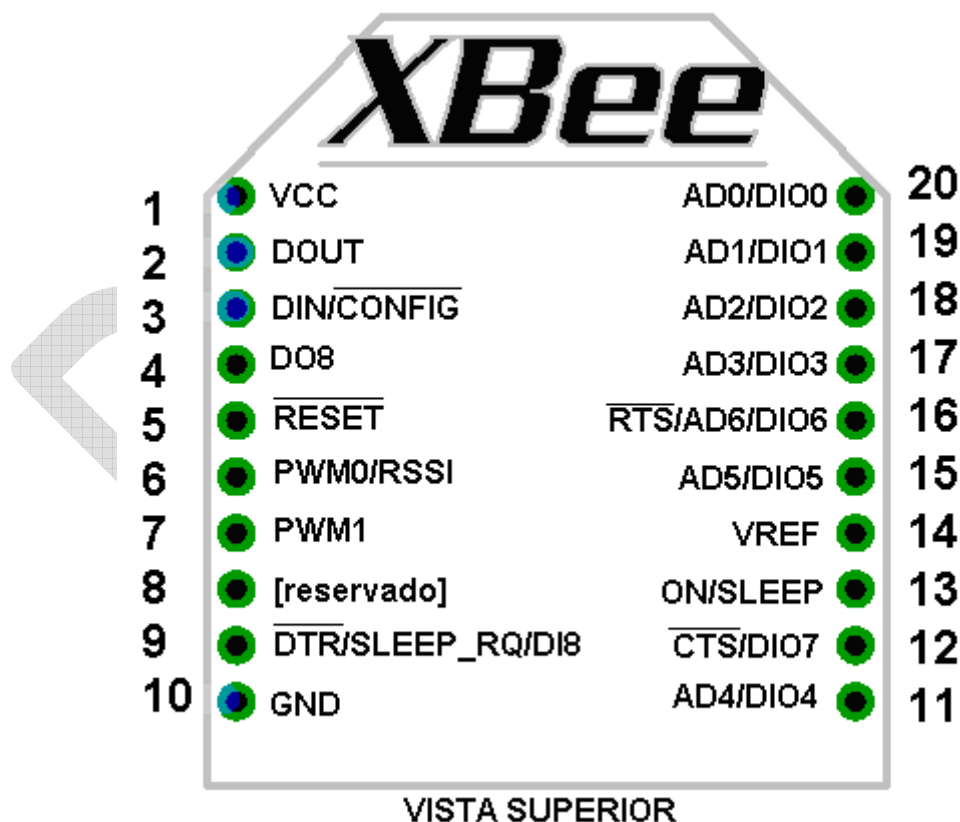


Figura 5-7 Diagrama de pines del módulo Xbee. Vista Superior.

Como se dijo, el envío es totalmente transparente para el usuario, ya que el paquete recibido, puede o no ser entregado por el pin DOUT (pin 3) dependiendo de la configuración, lo que permite utilizar ese pin para el envío de otro tipo de información e incluso seguir recibiendo desde otros módulos.

Para crear un cable virtual, se debe notar que los pines de entrada/salida o I/O, están asociados entre sí, es decir, vienen en pares. Por esto, sólo se pueden crear cables entre estos pares de pines de distintos módulos. Por ejemplo, una entrada digital DI5, sale por una salida digital DO5 y una entrada analógica ADC 0, sale por una salida analógica PWM 0. Algunas entradas y salidas tienen el mismo pin asignado, pero en otros como los analógicos, éstas encuentran en diferentes pines. Por ejemplo DI-0 y DO-0 están en el pin 20 (DIO-20). Pero la entrada ADC-1 tiene la salida PWM-1, asignados a los pines 19 (AD1) y 6 (PWM1) respectivamente. Para el caso analógico, la salida sólo corresponde con los pines PWM, es decir, AD0 (pin 20) con PWM0 (pin 6) y AD1 (pin 19) con PWM1 (pin 7). Cabe mencionar que DIO8 (ni DO8 ni DI8, pines 4 y 9 respectivamente) no puede usarse como cable virtual.

Para configurar los pines se tienen los siguientes comandos:

Configuración I/O		
Nombre Pin	Valor	Descripción
<b>Dn</b> (con n entre 0 y 8)	0	Deshabilitado
	1	(se vera luego)
	2	ADC (excepto 7 y 8)
	3	Entrada Digital
	4	Salida Digital 'L' (LOW)
	5	Salida Digital 'H' (HIGH)
<b>Pn</b> (con n entre 0 y 1)	0	Deshabilitado
	1	RSSI
	2	PWM
<b>IR</b>	0x0 – 0xFFFF (x 1 ms)	Ajusta la tasa de muestreo de los conversores ADC y digitales DIO. Si IR = 0x0A (10 en decimal), entonces la tasa será de 10 ms o 100 Hz.
<b>IT</b>	0x0 – 0xFF	Número de muestras que guarda en buffer antes de enviarlas. Buffer del módulo es cercano a 93 bytes de datos de muestra. Como los conversores son de 10 bit, cada muestra tiene 2 bytes, por lo que deja un máximo de 46 muestras (IT=0x2C) para el tamaño del buffer.
<b>IA</b>	0x0 – 0xFFFFFFFFFFFFFFFF	Indica la dirección del módulo al cual se le aceptarán los

		paquetes para cambiar las salidas I/O. Acepta direcciones de 16 y 64 bits. Si IA=0xFFFFFFFF no se aceptarán paquetes de ningún módulo. Ésta, es la configuración por defecto. Si IA=0xFFFF, se aceptarán cambios de todos los paquetes
IU	0 1	Este comando habilita o no la salida por UART de los paquetes recibidos. Deshabilitado Habilitado.

Tabla 5-2 Comandos para Cable Virtual.

Para su uso se debe escribir AT, más el comando y luego el valor que se desea asignar. Por ejemplo si se quiere configurar el pin 19 como conversor analógico, se debe ingresar **ATD12**, donde D1 indica el conversor AD1 ubicado en el pin 19, y el 2 indica que se utilizará como conversor analógico según la tabla anterior. Si se desea configurar el muestreo de los conversores cada 1000 ms, se debe ingresar **ATIR3E8**, donde IR indica que se ajustará el parámetro de muestreo y 3E8 corresponde al valor hexadecimal para 1000 (0x3E8). Si se desea consultar el valor de cierto parámetro, se ingresa el comando sin ningún valor, por ejemplo, si se desea consultar la tasa actual de muestreo de los conversores se ingresa **ATIR**, a lo cual entregará como respuesta, si lo hacemos luego del ejemplo anterior, el valor 3E8.

Se muestra la siguiente tabla con una configuración de ejemplo:

MÓDULO 1			MÓDULO 2		
MY	0x1234		MY	0x5678	
DL	0x5678		DL	0x1234	
D0	2		P0	2	
D1	2		P1	2	
D2	3		D2	4	
IR	0x14		IU	1	
IT	5		IA	0x1234 (O 0xFFFF)	

Tabla 5-3 Configuración para Cable Virtual.

Se observa que se parte con un direccionamiento de 16 bit, como el mostrado anteriormente. Luego en el módulo 1, se configuran 3 entradas, la entrada D0 y D1 como analógicas y la D2 como digital. En el módulo 2, se configura la salida P0 y P1 como salida PWM y la salida D2 como salida digital. Luego se configura una tasa de 20 ms (IR=0x14, 20 en decimal) donde se guardan 5 muestras (IT=5) por entrada antes de enviar. Como se muestrea cada 20 ms y se almacenan 5 muestras, éstas serán enviadas cada 100 ms. Luego cada muestra ADC pesa 2 bytes y la digital 1 byte, por lo que son 5 bytes, cada 20 ms, lo que hace que se envíen 25 bytes (5 muestras cada 20 ms) cada 100 ms. Además se deben contar los bytes de la



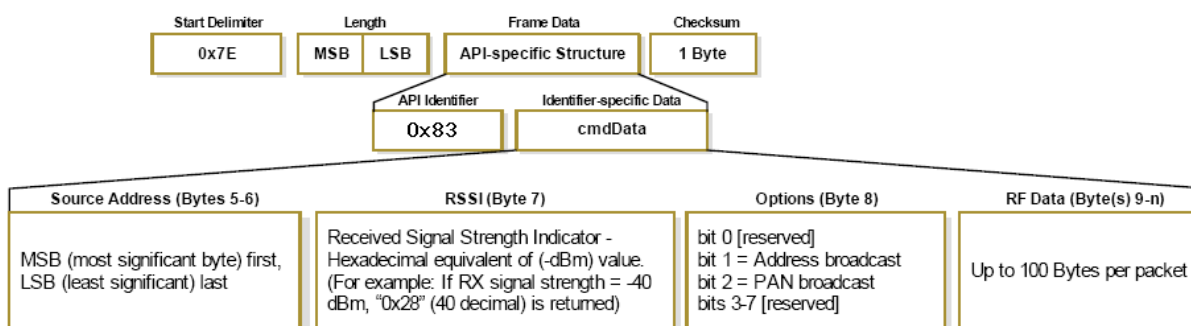
cabecera de los paquetes, los que son 12 bytes, por lo que en total se enviarán 37 bytes (25 datos + 12 cabecera del frame) cada 100 ms.

Con el comando IU, es posible observar la salida de los cables virtuales que llegan al módulo. Si IU=1 (ATIUI1), se habilita la salida por el pin DOUT de los frames con los datos de todos los cables virtuales que llegan al módulo. Los datos vienen contenidos en un frame, no en formato ASCII, sino en hexadecimal. El formato es el mismo que el de los frame de la API y es el siguiente:



**Figura 5-8 Formato del Frame para Cable Virtual.**

El primer byte 0x7E indica el comienzo del frame. Los dos bytes siguientes indican el largo solamente del Frame de Datos (Frame Data) (es decir, todo el frame sin contar ni el byte 0x7E, ni el largo-Length, ni el byte Checksum). La estructura API que viene después se compone de lo siguiente:



**Figura 5-9 Estructura del Frame para Cable Virtual. Ocupando Direcccionamiento de 16 bit.**

El identificador API 0x83 (cuarto byte del frame) indica que se están recibiendo datos utilizando direccionamiento de 16 bits. Los dos bytes siguientes (el byte 5 y 6) indican la dirección de origen. El byte 7 indica el RSSI (Received Signal Strength [ ODEM ] dor) que permite determinar la potencia de la señal desde donde vienen los datos. El byte 8, se divide en bit, de los cuales el bit 1 indica si es un broadcast de direccionamiento utilizando la misma PAN (broadcast con DL=0xFFFF) y el bit 2 que indica un broadcast de todas las redes PAN (broadcast con ID=0xFFFF). Luego a partir del byte 9, hasta el número de byte dado por el byte de Length, corresponden a los datos obtenidos del modo Cable Virtual provenientes de otro módulo. El formato de estos datos se explica en la sección 7.2, especialmente las Figura 7-4 y Figura 7-5.



### 5.3 Modo de Conexión NonBeacon. Peer-to-Peer.

Una red peer-to-peer permite que todos los módulos, se conecten con todos, es decir, se crea una conexión de par en par con cada uno de los módulos de la red. El modo de conexión NonBeacon es la configuración por defecto y permite establecer una red peer-to-peer donde cada módulo puede hacer las funciones de maestro o esclavo.

La configuración de red Non-Beacon, se refiere a que cada nodo primario (o nodo central maestro) se mantiene despierto siempre. Por lo que los demás dispositivos que se conectan a él, pueden entrar en modo SLEEP (ahorro de energía), y sólo despertarse cuando sea necesario para enviar datos. En una red Beacon, los dispositivos enrutadores (o nodos primarios) están siempre en modo SLEEP, y envían señales de su existencia (llamadas Beacon) cada cierto intervalo al resto de la red. Así para poder comunicarse, deben estar todos los dispositivos totalmente organizados, ya que de no ser así, existe la posibilidad de perder la señal Beacon y no poder enviar hasta la próxima entrega. La ventaja de las redes Beacon, es el ahorro de energía. Por este motivo las redes Non-Beacon están pensadas para dispositivos que posean una alimentación segura, mientras las Beacon, para alimentación autónoma, como baterías. Los módulos Xbee Series 1, sólo soportan redes Non-Beacon.

Para esto, cada módulo se debe configurar como **Dispositivo Terminal** (End Device) y todos deben tener el mismo canal (ATCH) y la misma PAN (ATID). Para configurar los módulos como dispositivos terminales, se debe ingresar el comando CE=0 (**ATCE0**).

### 5.4 Conexión NonBeacon c/Coordinador.

Es básicamente lo mismo que una red punto-multipunto, con la diferencia de que existe un módulo central que posee ciertas propiedades y características que le permiten administrar la red. En esta red, el módulo central es llamado **Coordinador**, mientras que el resto de módulos son llamados **Dispositivos Terminales** (End Device). Un mismo módulo Xbee puede ser configurado para funcionar como Coordinador o como Dispositivo Terminal.

Para configurar esta red, todos los módulos deben tener el mismo canal (ATCH) y la misma PAN (ATID). El módulo Coordinador se configura como ATCE=1 (**ATCE1**), mientras que todos los demás, los cuales serán llamados Dispositivos Terminales, se configuran como ATCE=0 (**ATCE0**).

En este tipo de red, los Coordinadores pueden ser usados para usar transmisiones directas o indirectas. En las directas, la información es enviada de inmediato, mientras que en la indirecta, la información es guardada un tiempo dado por el parámetro SP (Cyclic Sleep Period). Si SP=0, la transmisión es directa. Si SP está en un rango entre 1 y 0x68B0 (x10 milisegundos), es el tiempo que espera antes de enviar.

Para este tipo de configuraciones NonBeacon con Coordinador, se requiere crear una relación llamada Asociación. Ésta mantiene un control del Coordinador sobre los Dispositivos Terminales. Este tipo de configuración con un Coordinador se utiliza cuando se requiere una

unidad central para enviar mensajes a varios módulos, o juntar información proveniente de varios Dispositivos Terminales, asignar canales o ID de redes PAN.

Una red de datos RF consistente de un Coordinador y uno o varios Dispositivos Terminales, forman lo que se llama una PAN (Personal Area Network). Cada dispositivo en una PAN tiene un identificador llamado ID (ATID), el cual debe ser el mismo para todos los módulos de la misma PAN.

DRAFT

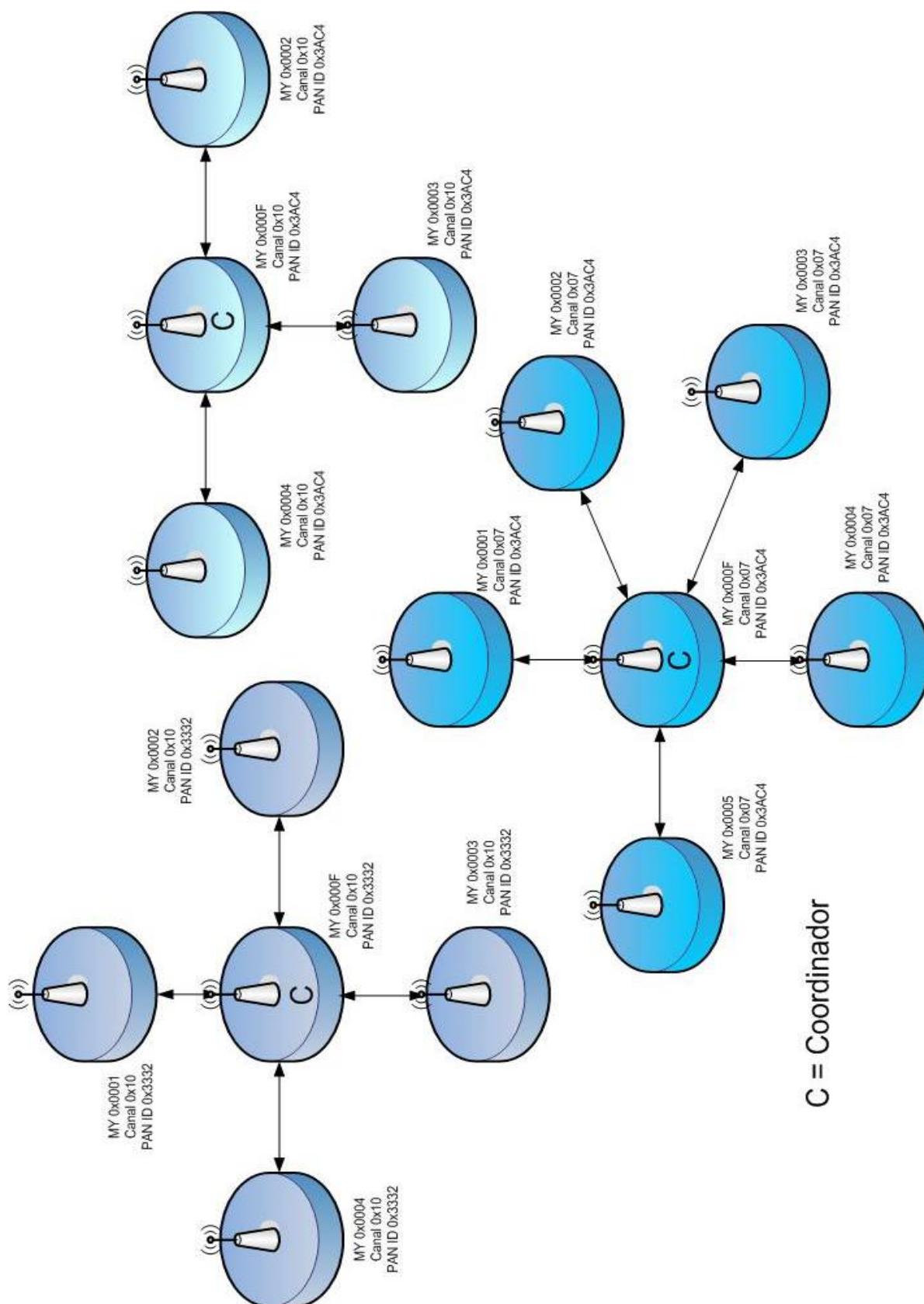


Figura 5-10 Ejemplo varias redes PAN NonBeacon con Coordinador.

Se observa en la figura anterior, que existen tres redes PAN, donde no necesariamente coinciden en el número de dispositivos terminales, ni en el ID de la PAN, ni en el canal, excepto en dos redes. Ahí no existirá problema, sin embargo puede haber interferencia por el uso del mismo canal, por lo que se recomienda usar un canal exclusivo por cada PAN.

El ID del Coordinador se debe configurar utilizando dos comandos. El primero el ya visto ID (ATID), mientras que el segundo corresponde al A2 (ATA2 – Coordinator Association). Un dispositivo Terminal se puede asociar a un Coordinador, sin saber la dirección, el PAN ID o el canal al cual está conectado. El parámetro A1 (ATA1 – End Device Association), asigna dinámicamente la dirección, canal y PAN ID para asignarse a un coordinador. Además este parámetro determina la flexibilidad de un dispositivo Terminal para realizar la asociación. En los siguientes párrafos se explicará en detalle estos dos comandos.

Cabe mencionar, que tanto los módulos en modo Coordinador, como los en modo Dispositivos Terminales deben tener la misma versión del Firmware.

Como se indicó, una red PAN, puede ser configurada usando varios módulos como Dispositivos terminales y uno maestro como Coordinador. Los dispositivos terminales se configuran con el comando A1, mientras que los Coordinadores con el A2.

El comando A1 puede tener un rango entre 0 y 0xF (16 en decimal y 1111 en binario). Se observa que escrito en binario, éste valor posee 4 bit. Luego cada uno de esos bits configura ciertas características del Dispositivo Terminal cuando CE=0. La siguiente tabla indica el nombre de cada bit y su configuración dado cierto valor.

N°	bit number	valor	Configuración Dispositivo Terminal usando A1
<b>0</b>	<b>ReassignPanID</b>	0	Se asociará con un Coordinador que opere en una PAN ID que coincida con la del Nodo identificador.
		1	Se puede asociar con un Coordinador que opere en cualquier PAN ID.
<b>1</b>	<b>ReassignChannel</b>	0	Se asociará con el Coordinador que opere en el mismo canal que el valor de CH (Canal) del nodo.
		1	Se puede asociar a un Coordinador que opere en cualquier canal.
<b>2</b>	<b>AutoAssociate</b>	0	El dispositivo no intentará asociarse.
		1	El dispositivo intentará asociarse hasta que tenga éxito.
<b>3</b>	<b>PollCoordOnPinWake</b>	0	El PIN WAKE, no le preguntará al Coordinador por data pendiente.
		1	El PIN WAKE, enviará Solicitudes de Encuesta al Coordinador para extraer cualquier data pendiente.

Tabla 5-4 Configuración Dispositivo Terminal. Comando A1.

Por ejemplo, la configuración por defecto es 0x06 (0110 en binario), donde el bit N°0, corresponde al último dígito en la secuencia.

El comando A2 puede tener un rango entre 0 y 0x07 (111 en decimal). Cada uno de estos bits, configura el modo de operación del coordinador, en caso de que el dispositivo se encuentre configurado como Coordinador (CE=1).

N°	bit number	valor	Configuración Coordinador usando A2
0	ReassignPanID	0	Coordinador no realizará Active Scan para localizar PAN ID disponibles. Operará sobre su PAN dada por el parámetro ID.
		1	Coordinador realizará Active Scan para determinar una PAN ID disponible. SI una PAN ID tiene conflicto, el parámetro ID cambiará.
1	ReassignChannel	0	Coordinador no realizará Energy Scan para determinar canales libres. Operará en el canal determinado por el parámetro CH.
		1	Coordinador realizará Energy Scan para encontrar canales libres. Luego operará sobre ese canal.
2	AllowAssociate	0	Coordinador no permitirá a ningún dispositivo asociarse a él.
		1	Coordinador permitirá que dispositivos se asocien.

Tabla 5-5 Configuración Coordinador. Comando A2.

## 5.5 Conexión API

Esta conexión, agrega información extra a los paquetes de datos RF. Ya no son enviados de forma transparente, sino que cada paquete de datos, son almacenados dentro de un frame, con una estructura definida que permite una forma más robusta para enviar datos. Esto permite entre otras cosas determinar el origen de algún paquete recibido dentro de la red.

Cuando la configuración API está activada, cada paquete RF que se envía o recibe se encapsula en un frame de datos UART. Para esto se utiliza el comando **AP**. El frame se observa en la siguiente figura:



Figura 5-11 Estructura del Frame del modo API.

Existen tres posibilidades de configuración. Con AP=0, se deshabilita el frame API y el módulo trabaja en modo transparente. Con AP=1, el módulo trabaja en el modo API. Y con AP=2, el módulo trabaja en modo API, pero con **Carácter de Escape**. Este modo es necesario sólo cuando se envían bytes que interfieren con la estructura del Frame. Éstos son:

- 0x7E – Delimitador de Frame.

- 0x7D – Escape
- 0x11 – XON
- 0x13 – XOFF

Este modo, ingresa un carácter de escape, además de otra operación sobre el bytes de interferencia. Esto hace que el frame sea más grande, al agregar bytes, pero evita que la cabecera del frame se confunda con los datos enviados. Otra ventaja es el Checksum, que permite verificar que los datos entregados no se hayan corrompido.

Entre las posibilidades que permite la API, es la posibilidad de cambiar parámetros a través de comandos AT, enviándolos al módulo de destino. Así, desde un módulo, es posible configurar otro utilizando el modo API. También es posible consultar sobre el estado de algún parámetro en otro módulo. Además se puede consultar sobre el estado del módem, como saber si está asociado a un coordinador, o si el módulo es o no un coordinador.

DRAFT

## 6 Software X-CTU para comandos.

Si bien es cierto que es posible utilizar Hyperteminal de Windows para configurar un módulo Xbee, existe un programa llamado X-CTU, el cual permite realizar estas operaciones de manera más natural, fácil y rápida.

El ejecutable se puede encontrar en la página de MCI ingeniería<sup>6</sup> o en la página oficial de Xbee<sup>7</sup>. En correr el programa se ve lo siguiente:

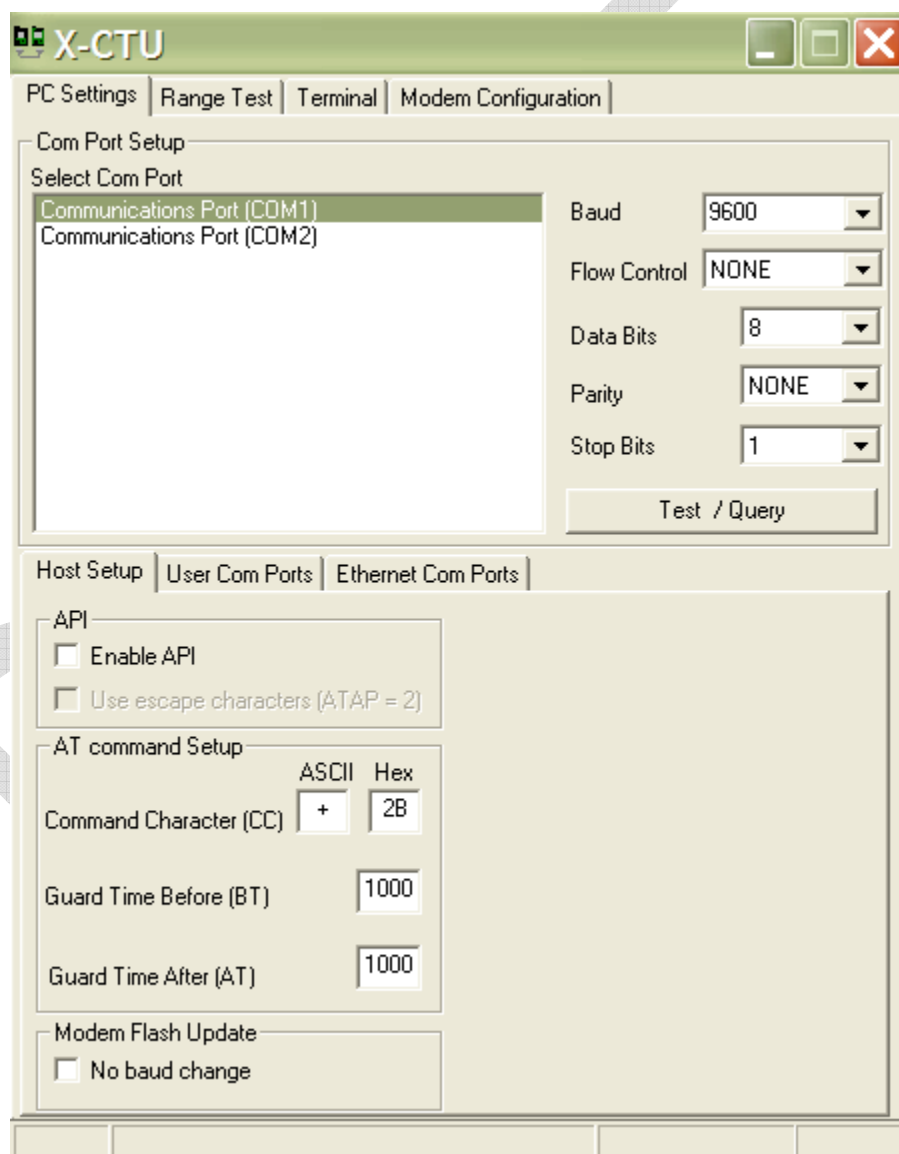


Figura 6-1 Opción “PC Settings”.

<sup>6</sup> [www.olimex.cl](http://www.olimex.cl)

<sup>7</sup> [www.digi.com](http://www.digi.com)

En la pestaña llamada **PC Settings** es posible configurar el número y la velocidad del puerto serial, así como la paridad, entre otras cosas. Además permite configurar opciones más generales para los comandos AT, como el signo elegido para salir del modo de comandos, que por defecto corresponde al signo + (**2B en hexadecimal**).

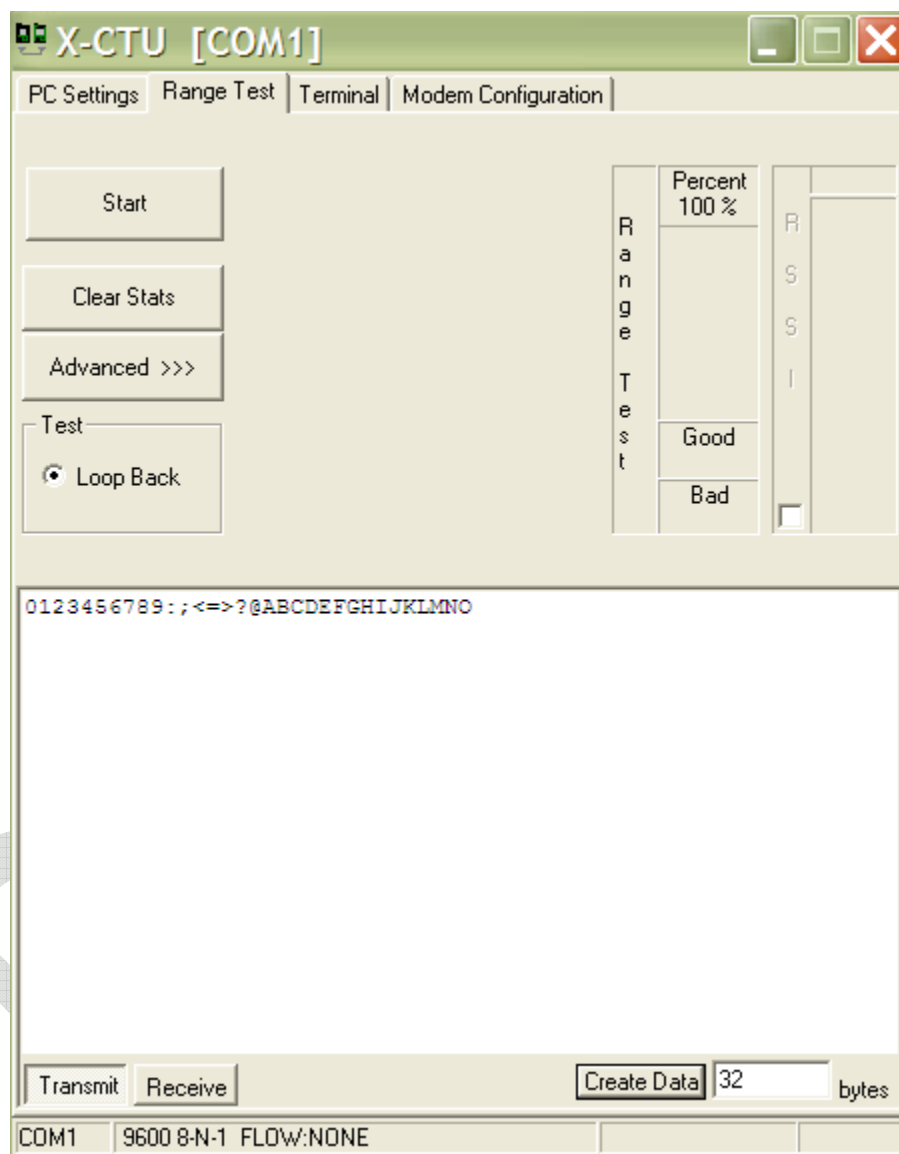


Figura 6-2 Opción “Range Test”.

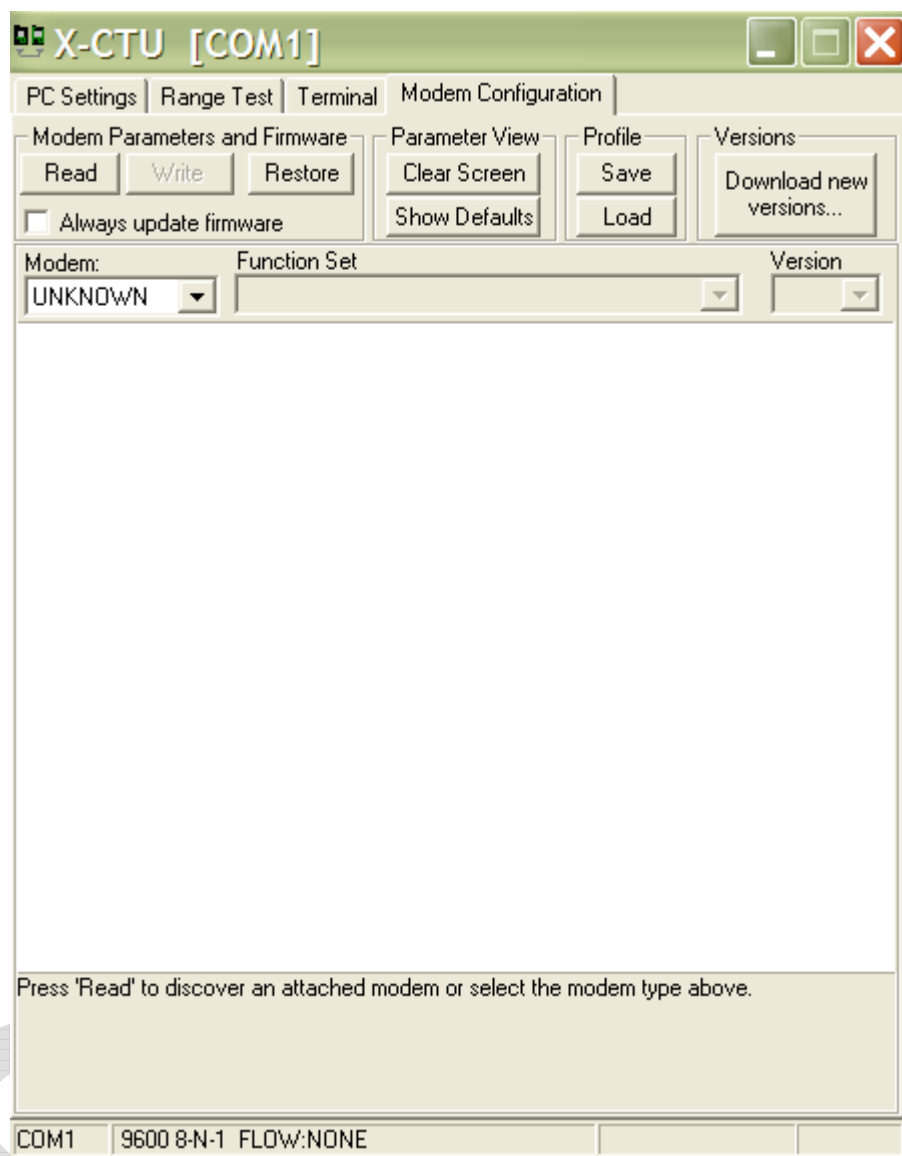
En la pestaña **Range Test**, es posible enviar una cadena de datos de cualquier tipo para probar el rango de alcance de la señal. Esto genera automáticamente datos y los envía por el módulo, de tal forma que permite verificar cuales datos llegan buenos y cuales no y a partir de esa estadística determinar el rango o alcance de la señal.





**Figura 6-3 Opción “Terminal”.**

En la pestaña de **Terminal**, el funcionamiento es idéntico al del Hyperterminal. Todo lo escrito aquí, entre directamente al módulo como si estuviera en el modo de comandos.



**Figura 6-4 Opción “Modem Configuration”.**

Esta pestaña de **MODEM Configuration**, permite leer, guardar o cargar cierta configuración predeterminada. Permite ver cómo está configurado cada módem, cambiar alguna característica o luego guardarla o cargarla de una previamente guardada.

## 7 Ejemplos prácticos.

Los siguientes son dos ejemplos prácticos para realizar en los módulos Xbee. Para ello se utilizará el dispositivo Xbee EXPLORER, que es una mini placa que permite conectar el módem Xbee al puerto USB, alimentándose por medio de éste. Toda la información respecto del módulo, se encuentra en la página de **Ingeniería MCI** ([www.olimex.cl](http://www.olimex.cl)). Para información referente el módem Xbee se puede recurrir a MCI o a la página oficial [www.digi.com](http://www.digi.com).

Para cada ejemplo se utilizará el hyperterminal de Windows, para luego mostrar una analogía utilizando el programa X-CTU.

Se debe indicar que cada cambio que se realiza en los parámetros del módulo, no surgirá efecto hasta que se ingrese **ATCN** (sale del modo de comandos) o **ATAC** (aplica los cambios inmediatamente).

### 7.1 Instalación Xbee EXPLORER

Se sabe que la placa Xbee EXPLORER se conecta por medio del puerto USB. Para ello utilizar un conector MiniUSB el cual luego se conecta al PC. Por medio de este puerto logra la alimentación necesaria para alimentar el módem Xbee.

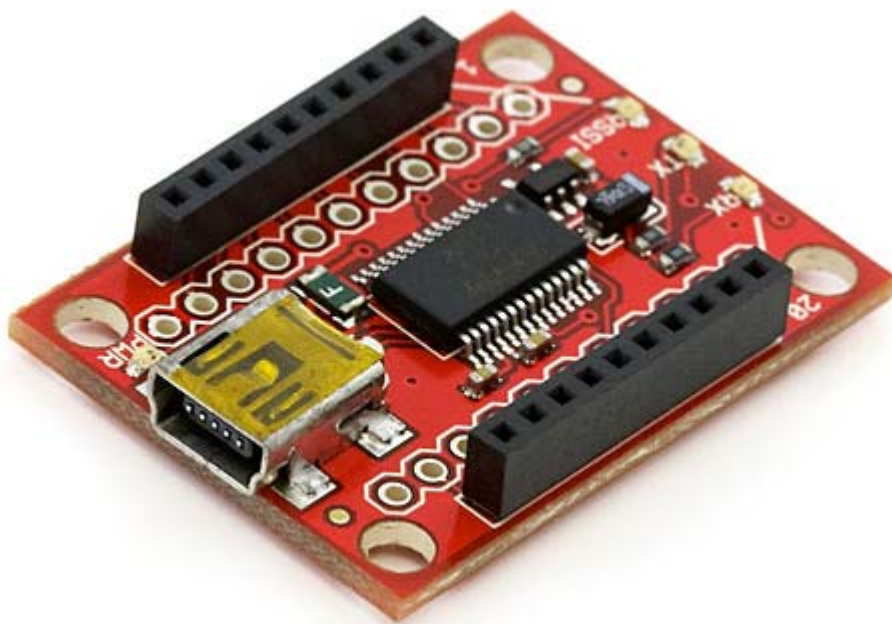


Figura 7-1 Placa Xbee EXPLORER.

Para poder utilizar el módulo, es necesario instalar los driver llamados VCP (Virtual COM Port), que simulan que el Xbee está conectado a un puerto serial, aún cuando está

conectado al puerto USB. Éstos se pueden encontrar en FTDI Chip (<http://www.ftdichip.com/FTDrivers.htm>).

Luego se debe conectar la placa Xbee Explorer al puerto USB, y aparecerá una ventana para instalar los driver. Se indica la dirección de los drivers bajados anteriormente y se instalan en el sistema operativo. El archivo para Windows XP es **CDM 2.04.06 WHQL Certified.zip**. Se descomprime en alguna carpeta y luego se instala el driver según indiquen las instrucciones de las ventanas que aparezcan. En caso de no aparecer nada o que apareció algún error, se deben instalar los drivers manualmente. Para ello se debe ir al **Panel de Control>Sistem**. En la pestaña **Hardware** se presiona el botón **Device Manager**. En Universal Serial Bus controller, aparecerá algún puerto USB con un símbolo de interrogación en amarillo. Se hace click derecho y se presiona **Update Driver**. Siguiendo las instrucciones se va indicando la dirección de los archivos bajados. Luego cuando se que conecte el módem utilizando el Xbee EXPLORER, aparecerá una ventana que preguntará por un archivo llamado **ftlang.dll**. Se indica donde se encuentra (dentro de la carpeta del archivo bajado de los drivers) y se presiona **ACEPTAR**. Por defecto el driver asigna el menor puerto disponible. Para cambiarlo, se debe hacer en el **Panel de control>Sistem** y luego presionar la pestaña **Hardware** y de ahí el botón **Device Manager**. Expandir donde dice **Ports (COM & LPTV)** y hacer click derecho en **USB Serial Port**. Luego en la ventana emergente presionar la pestaña **Port Settings** y luego el botón **Avanzado**. En la ventana que aparezca es posible elegir algún otro puerto, siempre y cuando no esté en uso.

Para probar la correcta instalación de los dispositivos, abra el Hyperterminal de Windows. Cree una nueva conexión indicando el puerto al cual está conectado el Xbee EXPLORER. Como un ejemplo se muestra la siguiente figura, donde el puerto USB corresponde al puerto COM 31.

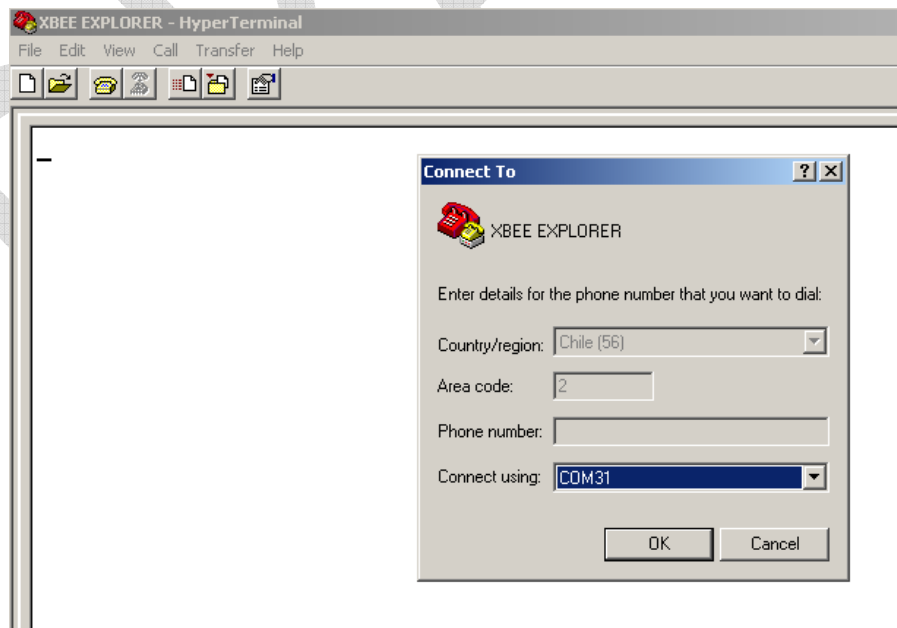
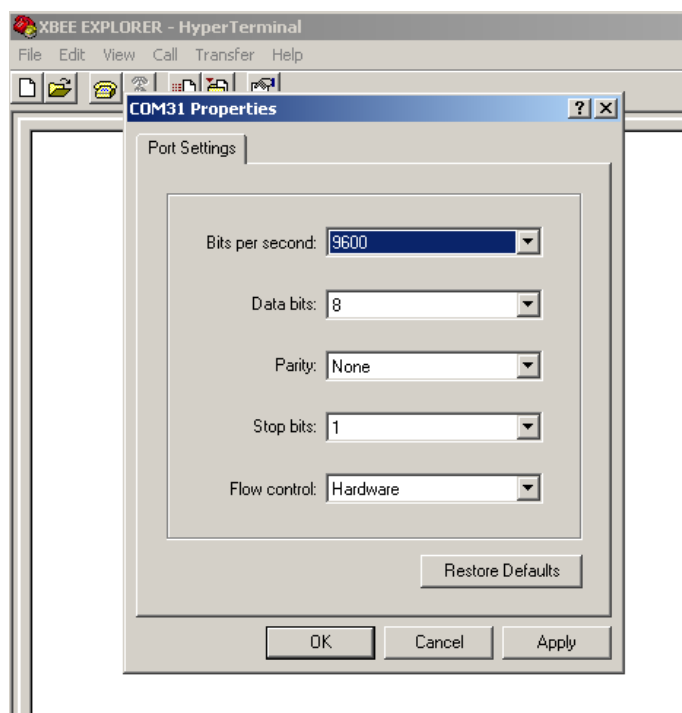


Figura 7-2 Xbee EXPLORER conectado al Puerto 31.

Cuando le pregunte por la velocidad de conexión elija la siguiente, que es la que viene por defecto en los módulos.



**Figura 7-3. Configuración conexión.**

Luego en el hyperterminal no presione nada por 1 segundo, luego ingrese +++ y luego nada por otro segundo. Si la conexión está bien, aparecerá un OK y todo estará listo para configurar los módem.

## 7.2 Lectura I/O Digitales y Analógicas.

Lo siguiente muestra cómo leer las entradas y salidas de los pines, ya sea que éstas se configuren como digitales o analógicas. Se sabe que se tienen 9 I/O o GPIO las cuales pueden ser usadas como salida digital (entrega 0-LOW o 1-HIGH) o entrada digital (obtiene valores 0-LOW o 1-HIGH) o 7 de ellas como conversor ADC (analógico a digital). Para elegir entre una u otra se configura según la siguiente tabla:

Configuración I/O			
N° PIN	Nombre Pin	Funcionalidad.	Comando AT
20	AD0/DIO 0	Digital y ADC.	ATD0
19	AD1/DIO 1	Digital y ADC.	ATD1
18	AD2/DIO 2	Digital y ADC.	ATD2
17	AD3/DIO 3	Digital y ADC.	ATD3
11	AD4/DIO 4	Digital y ADC.	ATD4
15	AD5/DIO 5	Digital y ADC.	ATD5
16	AD7/DIO6	Digital y ADC.	ATD6
12	DIO7	Sólo Digital.	ATD7
9	DI8	Sólo entrada Digital.	ATD8

**Tabla 7-1 Comandos AT para puertos I/O.**

Para configurar cada pin se debe ingresar el comando junto con un número. Este número puede ser 2 para configurar el pin como ADC, 3 como entrada digital, 4 como salida digital LOW, 5 salida digital HIGH. Se debe indicar que estos pines sólo pueden cumplir una función a la vez, por lo que se debe elegir sólo una configuración por pin. Cabe mencionar que algunos pines pueden cumplir funciones extra, como por ejemplo D6 y D7 se pueden utilizar como RTS y CTS respectivamente. El D5 como Indicador de asociación y el D8 como DTR y control de SLEEP por lo que debe tener cuidado al administrar estos pines. Por ejemplo si tomamos el DIO 2, para su configuración se utiliza la siguiente tabla:

Nombre PIN DIO 2	Valor	Comando AT	Significado
	D2=0	ATD20	Inhabilitado
	D2=1	ATD21	Función especial.
	D2=2	ATD22	ADC
	D2=3	ATD23	Entrada Digital
	D2=4	ATD24	Salida Digital LOW
	D2=5	ATD25	Salida Digital HIGH

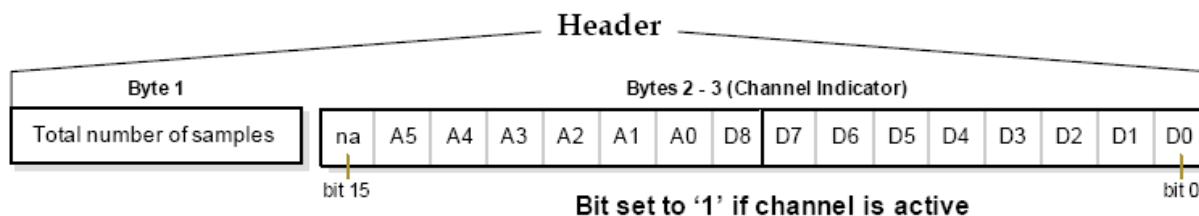
Tabla 7-2 Configuración para DIO 2.

Luego si se configuró algún pin como salida digital, es posible cambiar el estado de estos mediante el comando **IO**. Este comando recibe un número binario de 8 bits, donde cada bit corresponde a una salida digital. Así para poder usarlo es necesario configurar algún pin como salida, por ejemplo el DIO 0 se usará como salida digital LOW ocupando para ello **ATD04**. Luego se sabe que está en nivel bajo, pero ocupando el comando **IO**, se puede cambiar al nivel alto. Esto se realiza escribiendo **ATIO00000001**. Se observa que el DIO0 equivale al 1 que aparece más a la derecha. Si se quisiera cambiar por ejemplo otro pin como el DIO3, primero se activa con **ATD34** para nivel LOW, y luego se puede cambiar a HIGH usando **ATIO00000100**. Es posible también cambiar de HIGH a LOW escribiendo **ATIO00000000**. Cabe mencionar que este comando cambia todos los pines que estén configurados como salida digital y los ajusta según el valor dado como parámetro. Si el pin está configurado ya sea como ADC o como entrada digital, entonces el comando no tiene efecto sobre ese pin.

Otro comando útil es el **IS** (**ATIS**). Éste permite observar el estado de las I/O digitales así como también las entradas ADC. Cada vez que se ingresa, el módulo responde lo siguiente:

- Número de muestras
- Máscara del canal
- Estados I/O digitales.
- Valores ADC.

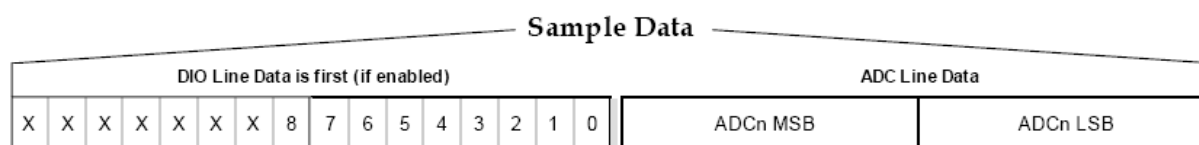
El primer término corresponde al número de muestras. La máscara del canal, corresponde a dos bytes que indican la configuración de cada uno de los pines. Esto se observa en lo siguiente:



**Figura 7-4 Cabecera y Mascara del Canal para el comando IS.**

Se observan los dos bytes donde cada bit indica el estado del correspondiente pin. Por ejemplo si aparece en bit D0=1, indica que DIO-0 está siendo usado como I/O digital, mientras que si A0=1, el pin está siendo usado como ADC. Cabe mencionar que si D0=1, entonces necesariamente A0=0 ya que el mismo pin no puede usarse como ADC y digital al mismo tiempo.

Luego de la máscara vienen dos bytes más que corresponden a los estados de los pines digitales y luego dos bytes por cada conversor ADC activado.

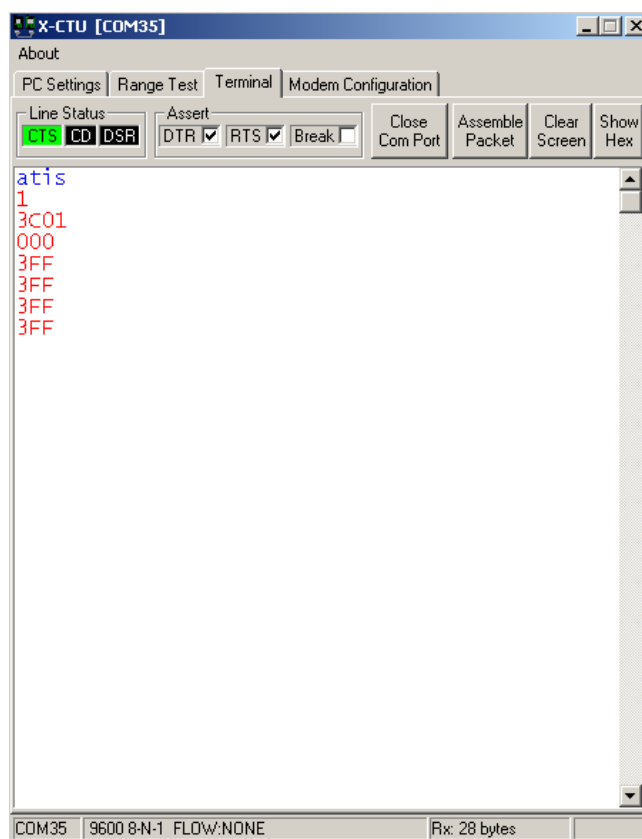


**Figura 7-5 Estados I/O digitales y ADC.**

Los dos primeros bytes indican el estado de las I/O digitales. Si el bit 2=1, quiere decir que DIO-2=High. Si el bit 8=0, quiere decir o que DIO-8=LOW o que no se está ocupando como I/O digital. Para corroborar esto, se debe verificar el estado del pin con la máscara de canal. Luego de los dos bytes de las líneas DIO, vienen dos bytes por cada confesor ADC.

Por ejemplo se ingresa el comando ATIS y se obtiene lo siguiente:





**Figura 7-6 Utilización comando IS.**

Se observa que se tiene sólo una 1 muestra. Los siguientes dos bytes 3C01 que en decimal es 1111000000001 corresponde a la mascara del canal. En la siguiente tabla se observa mejor su significado:

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
na	A5	A4	A3	A2	A1	A0	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
-	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-		ADC	ADC	ADC	ADC										DIO

**Tabla 7-3 Mascara de Canal para el ejemplo.**

La tabla anterior indica que DIO-0 se ocupa como digital, mientras que DIO-1, DIO-2, DIO-3 y DIO-4 como ADC. El resto esta desactivado o tiene otra función.

El valor 000 luego de la máscara, indica los valores de las salidas digitales.

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabla 7-4 Estado líneas digitales.**

En este caso sólo interesa D0, ya que según la máscara es el único pin que está funcionando como digital. Por lo que se observa en los bytes de estado de las líneas, D0=0, lo que indica que D0=LOW. El resto no importa.

Después de los bytes de los estados comienzan a aparecer los valores de los conversores ADC. Partiendo desde el menor (es decir DIO-0) hasta el mayor dependiendo si está o no activado. En el ejemplo todos dieron igual a 3FF, que en decimal es 1023 o 111111111 (10 bits), esto porque los conversores son de 10 bits, y en ese momento estaban conectados a un alto voltaje por lo que alcanzaron su nivel máximo permitido. El primer valor de conversor que aparece es el del DIO-1, luego el de DIO-2 y así sucesivamente. Se observa que aparecieron cuatro valores 3FF ya que son tres los conversores que están activados.

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MSB o bit más significativos.								LSB o bit menos significativos.							
-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 7-5 Valor Conversor ADC para 3FF.

### 7.3 Utilización del PWM.

Existe un comando que permite la generación de un PWM. El módulo posee dos salidas PWM llamados P0 y P1. Éstos se activan con el comando P0=2 (ATP02) o P1=2 (ATP12). Para desactivarlos se utiliza P0=0 o P1=0.

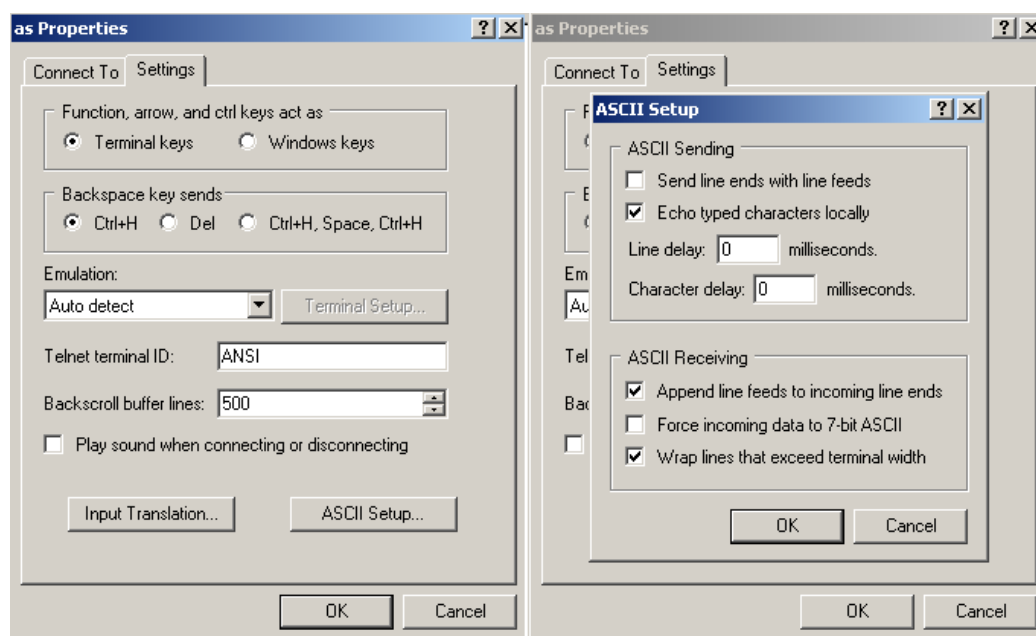
La frecuencia de trabajo siempre es de 64useg y la carga o Duty Cycle se configura con el comando M0 para el PWM-0 y con M1 para el PWM-1. M0 y M1 aceptan valores entre 0 y 0x3FF (1023 decimal). Así si M0=0 (0% duty cycle), si M0=0x1FF (50% duty cycle) y si M0=0x3FF (100% duty cycle).

### 7.4 Ejemplo ECHO.

Para este ejemplo necesitará dos módems. Cada uno se configurará de tal manera que tendrá una dirección de origen y de destino que sean compatibles entre sí. La idea de este ejemplo es configurar una conexión para que los módulos se conecten, es decir, todo lo que se envía en uno, aparece en otro. Pero además a uno de ellos, se le conectarán entre sí los pines DIN y DOUT del mismo módem. Esto creará un efecto ECHO, lo que provocará que el módem que no tiene el ECHO, mande algún dato al otro módem, con lo cual éste, lo reenviará inmediatamente. Así en el módem principal se creará un efecto de que todo lo que se envía, aparece de vuelta en la pantalla.

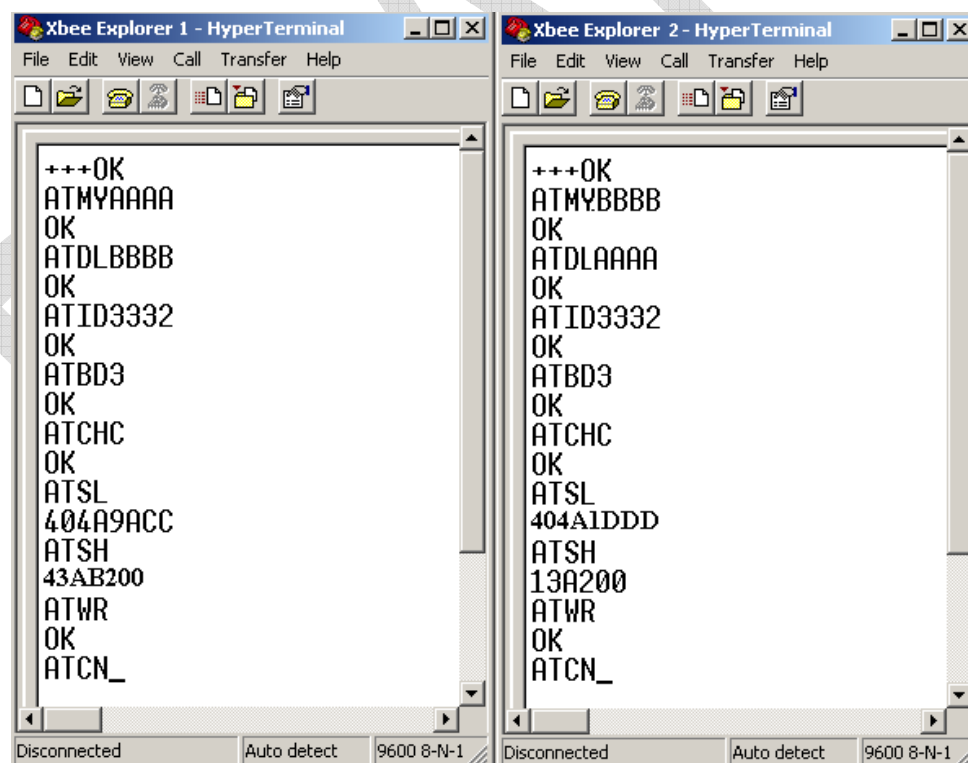
#### 7.4.1 Usando Hyperterminal

Para abrir el Hyperterminal ingresar en Windows a Inicio->Programas->Accesorios->Comunicaciones. Crear una nueva conexión utilizando el puerto al cual se encuentra el módulo. En este ejemplo el puerto es el COM31. Se elige la configuración básica de 9600 baudios 8N1 y sin Control de Flujo. Antes de iniciar la conexión se recomienda ingresar a Archivos->Propiedades. En la ventana emergente elegir la pestaña **Settings** y presionar el botón **ASCII Setup**. Activar las casillas “Echo typed characters locally” (permite ver lo que se envía por el puerto) y “Append line feeds to incoming line end” (agrega fin de línea a los mensajes entrantes). Lo anterior evita que se sobrescriban los comandos AT que se envían con las respuestas del módem.



**Figura 7-7 Configuración Hyperterminal.**

Luego se ingresan los siguientes comandos:



**Figura 7-8 Comandos AT por Hyperterminal.**

Se parte con el signo +++ que indica el ingreso al modo de comandos. El Hyperterminal llamado **Xbee Explorer 2**, será el que posea el echo en sus conectores. El comando **SL** y **SH** entregarán el número serial de 64 bit de cada módem. Este número servirá para diferenciarlos entre ellos en caso de cualquier error en la configuración, ya que este número no se puede modificar. El comando **BD=3**, indica que la comunicación entre el Host y el módem es de 9600 baudios. El comando **CH=0x0C**, indica que se elige el canal 12. La PAN ID es **ID=0x3332**. Tanto BD, CH como ID poseen los valores indicados atrás como valores por defecto. La dirección del módulo 2 quedó como **MY=0xBBBB**, mientras que la de destino es **DL=0xAAAA**. Para el módulo 1, lo anterior es al revés. Al final el comando **WR** graba todos los parámetros en la memoria. Con el comando **CN** se sale del modo de comandos.

La configuración anterior hará que los dos módems se comuniquen entre sí, donde todo lo que entra por el PIN DIN en uno, sale por el DOUT del otro. Luego se cortocircuitan los pines DIN y DOUT del mismo módem para provocar el ECHO. Esto hará que todo lo que se escriba en un módem, se devolverá y aparecerá en la pantalla de vuelta.

#### 7.4.2 Usando X-CTU

La ventaja de usar este programa, es la sencillez para manejar varios módulos o lo simple que es configurarlos. Primero se inicializa el programa X-CTU. Luego en la pestaña inicial de **PC Settings**, se configura la velocidad, la paridad y el Control de flujo según lo deseado. Para verificar presionar el botón que dice **TEST** y si la comunicación está bien aparecerá la siguiente ventana con la información del modelo del módem Xbee que se usa y la versión del Firmware.

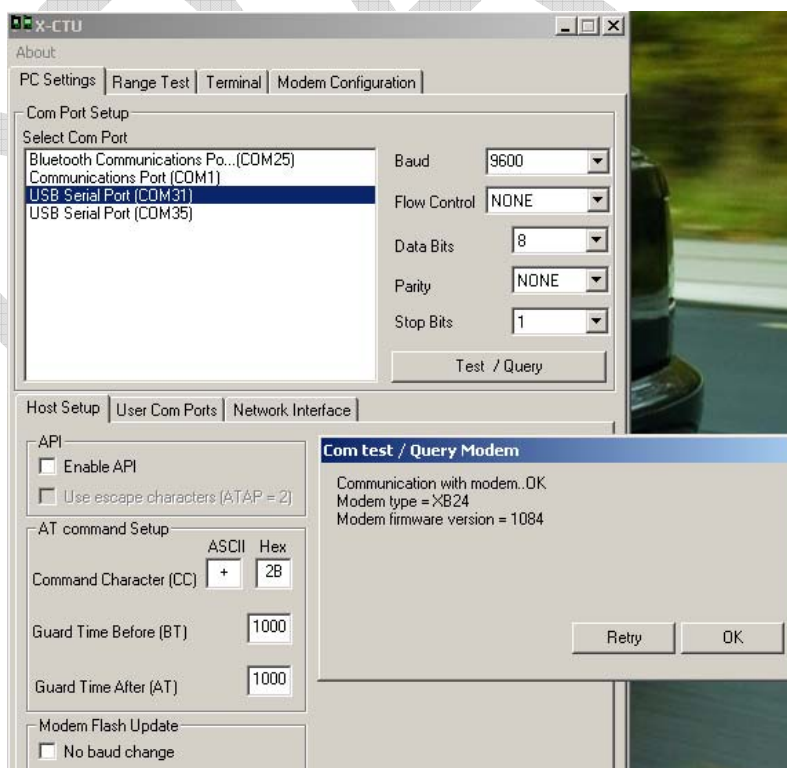
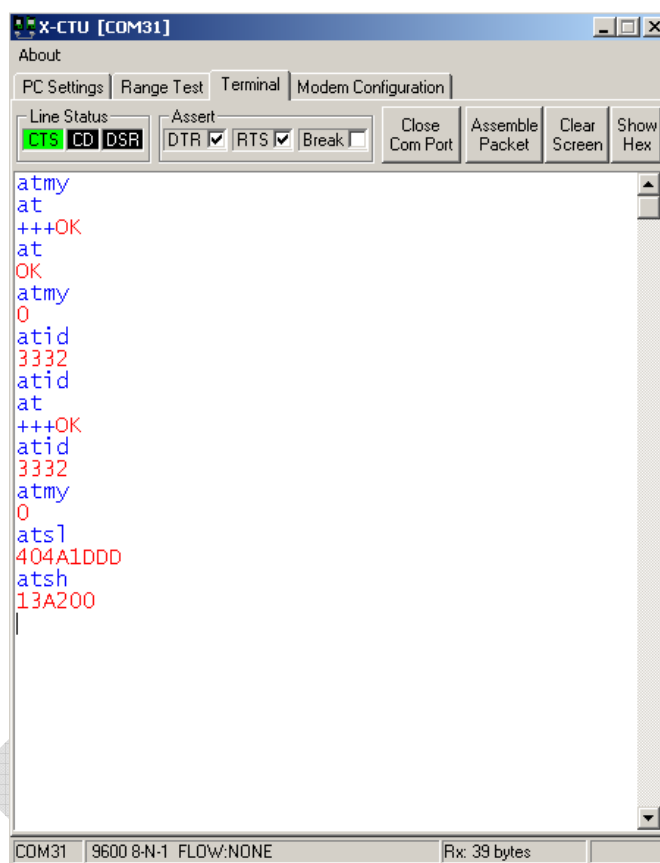


Figura 7-9 Test para verificar conexión.

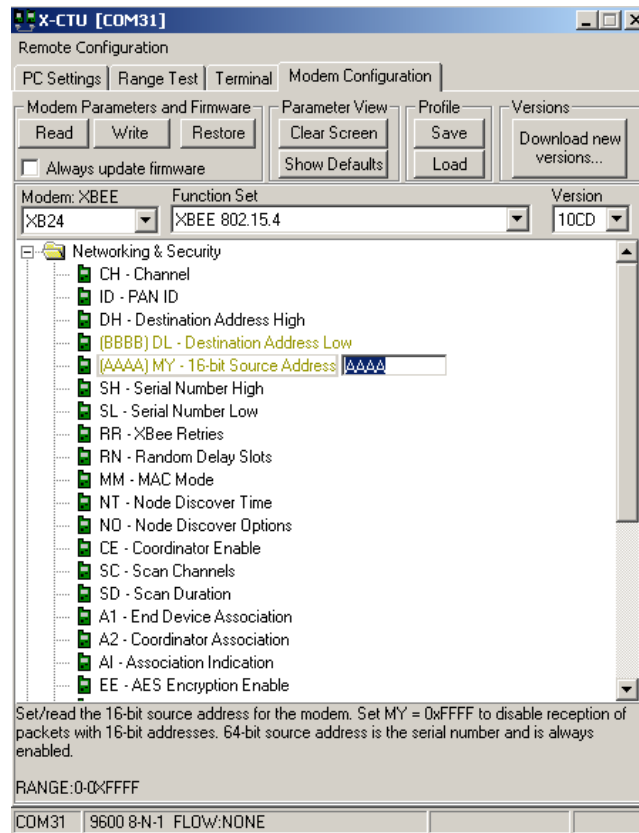
Luego en la pestaña **Terminal**, es posible realizar cambios tal y como aparecen en el hyperterminal. La siguiente figura muestra unos cuantos comandos escritos.



**Figura 7-10 Pestaña Terminal.**

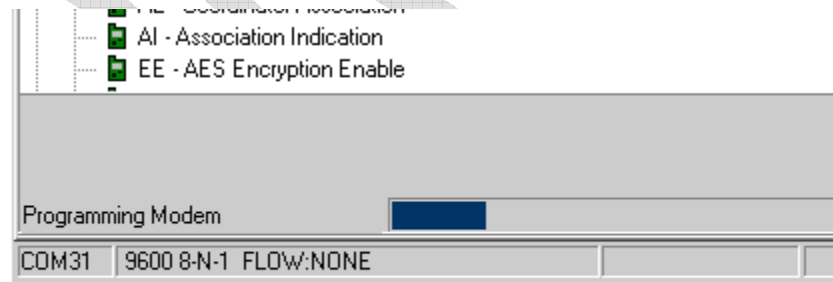
Las letras en azul indican lo que se escribe o lo que se envía por el módem como paquete RF al módem de destino. Sólo cuando se ingresa +++ se ingresa en el modo de comandos, apareciendo un OK en rojo como respuesta. Se pregunta luego por la dirección del actual módulo usando ATMY, donde se entrega como respuesta un 0, es decir, la dirección es 0x0000. Luego se pregunta por el PAN ID, donde la respuesta es 3332, es decir, la dirección es 0x3332. Si pasa un tiempo sin escribir nada, el módem por sí sólo se sale del modo de comandos. Al final se pregunta por el número serial del módulo, donde SL=0x404A1DDD y SH=0x0013A200.

Ahora para la configuración se ingresa a la pestaña **MODEM Configuration**. Se modifican cada uno de los parámetros que se desean cambiar. Cuando se cambia uno, aparece en amarillo con el valor nuevo en el mismo nombre. Cambiamos la dirección de nuestro módem a MY=0xAAAA y la de destino por DL=0xBBBB.



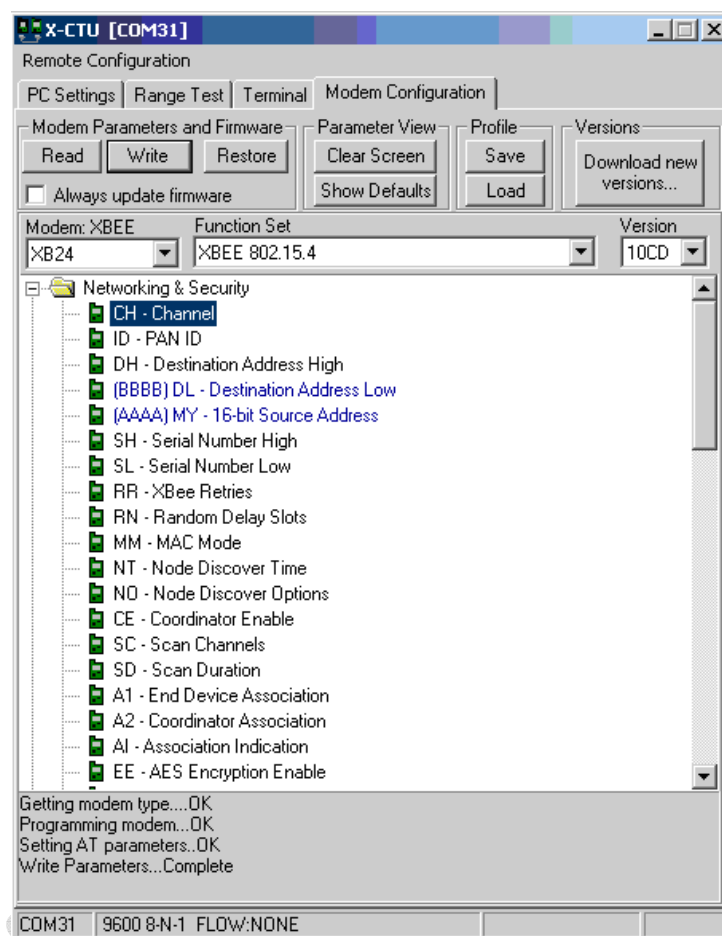
**Figura 7-11 Modem Configuration.**

Luego se presiona **WRITE** en el panel **MODEM Parameters and Firmware** y comienza a cargar los nuevos valores de los parámetros en el módem. Esto se muestra a continuación, donde aparece una barra que indica el proceso.



**Figura 7-12 Barra de progreso de los parámetros del módem.**

Una vez terminado lo anterior, aparecerán los valores modificados en azul y todo listo, tal cual se ve en la siguiente figura.



**Figura 7-13 Proceso completo.**

Si se desea verificar el cambio, es posible entrar a la pestaña Terminal y preguntar por el parámetro deseado.



## 7.5 Cable virtual

Este ejemplo muestra el uso de la propiedad de cable virtual para el módem. Esta consiste en que cuando se configura un pin como entrada y éste cambia de estado, se refleja en el estado de otro módulo.

Para esto se utilizará el X-CTU. Primero se programa un módulo con el siguiente código:

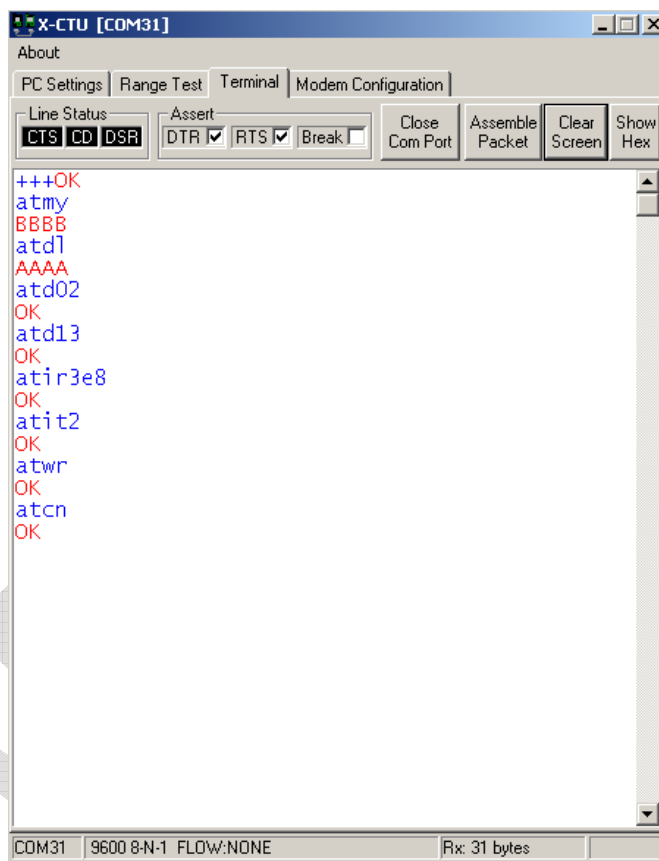
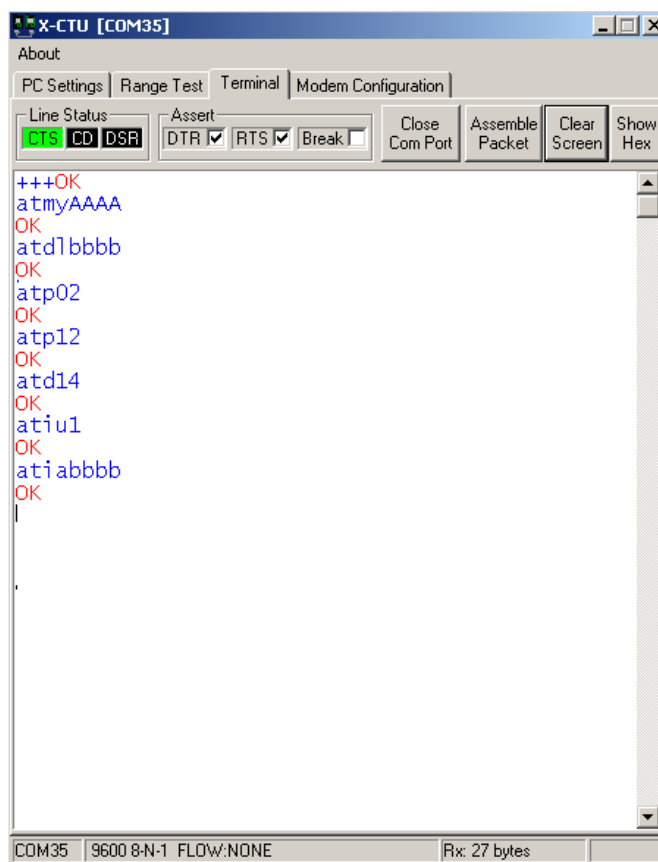


Figura 7-14 Configuración Cable virtual para módulo 1.

Se observa que se asignó la dirección **MY=0xB BBB** al módulo 1, de destino **DL=0xB BBB** y a DIO-0 como ADC con **D0=2** y DIO-1 como entrada digital con **D1=3**. Además se configuró la tasa de muestreo cada 1000ms con **IR=0x3E8** (0x3E8=1000 decimal) y que guarde cada dos muestras antes de enviar con **IT=2**. Luego se guarda con **WR** y se sale del modo de comandos con **CN**. Para el módulo 2 se hace lo siguiente:



**Figura 7-15 Cable virtual Módulo 2.**

Se configure el módulo con dirección MY=0xAAAA y destino DL=0xB BBB. Luego se activa el pin PWM 0 y 1 con P0=2 y P1=2 y luego la salida DIO-1 como baja con D1=4. Posteriormente se activa la salida UART para que todo lo que llegue como paquete RF, salga también por esta salida. Posteriormente se elige sobre cual módulo se realizará el cable virtual utilizando IA=0xB BBB, dirección que corresponde al módulo 1. Al final se graba y se aplican los cambios o simplemente se puede salir del modo de comandos.

Todo lo anterior, hará que lo que entre por los pines D0 y D1 como entrada analógica en el módulo 1, salga en la salida de los pines PWM0 y PWM1 del módulo 2.

Luego para obtener los datos, en el módulo al cual éstos llegan, se debe ingresar IU=1 (ATIU1). Así se obtendrán los datos referentes a los pines del módulo de origen. Utilizando el ejemplo de la Tabla 5-3, se obtiene lo siguiente en el programa X-CTU:

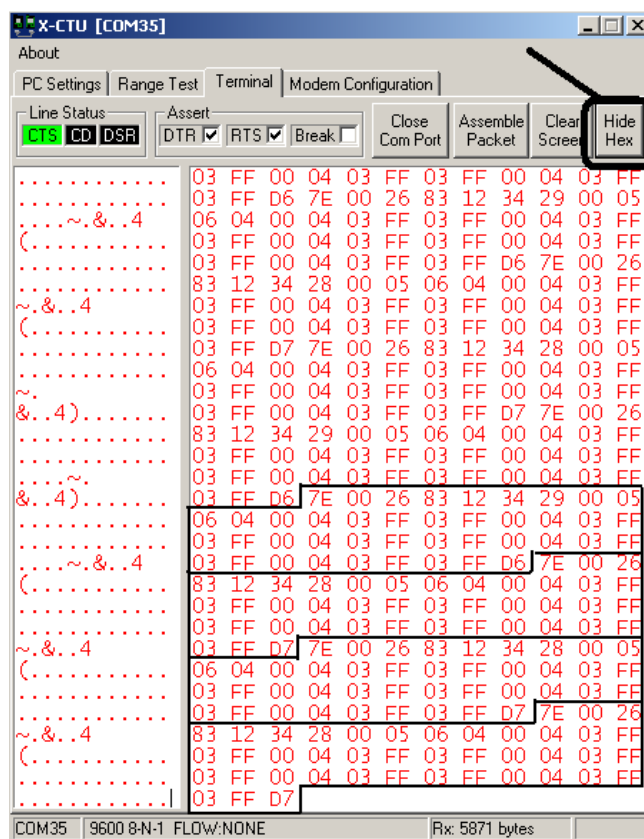


Figura 7-16 Ejemplo Cable Virtual.

Los valores en ASCII que se entregan no tienen ningún significado, por lo que se debe presionar el botón **View Hex** para ver los datos en formato hexadecimal. En la figura anterior se marcaron los bloques de datos que llegan. Se debe recordar del ejemplo, que se muestrean los datos cada 20 ms ( $IR=0x14$ ) y que se guardan 5 datos antes de enviarlos ( $IT=5$ ). Además se debe indicar que éstos llegan cada 100 ms, es decir, cada bloque marcado en la figura aparece cada 100 ms.

El formato de estos bloques se indicó anteriormente, y es el siguiente:

- El primer byte es de referencia para el comienzo del frame (0x7E)
- El segundo y tercer byte (0x0026 = 38 en decimal) indican el número de bytes del frame de datos (cabecera Length).
- Los siguientes 38 bytes, corresponde al frame de datos.
- El último byte (0xD7) es el valor de Checksum para la comprobación de errores.

El frame de datos en este ejemplo corresponde a los siguientes 38 bytes:

83	1234	29	00	05	06 04	00 04	03 FF	03 FF
API ID	MY de Origen	RSSI	Opciones de Broadcast	Número de Muestras	Máscara de Canal	Estado líneas Digitales	Valor primer conversor	Valor segundo conversor

Tabla 7-6 Esquema del Frame de Datos.

En el frame de datos anterior, se repiten los últimos 6 bytes, cinco veces. Así suman en total 38 bytes, que es el largo dado por la cabecera Length (0x0026). El API ID indica que corresponde a valores recibidos utilizando direccionamiento de 16 bit. Si fuera de 64 bit sería 0x84. Luego aparece la dirección MY de origen, desde la cual se producen los valores para crear el cable virtual. Luego viene RSSI para la potencia de la señal. Los siguientes bytes corresponden a lo indicado anteriormente para la lectura de los pines con el comando **IS**. Se indica el número de muestras con un 0x05, que coincide con la configuración IT=5 del ejemplo. La máscara de canal viene dada por 0x0604, que en binario corresponde a 0000011000000100. Con este valor se puede saber qué pines están habilitados y cuales no. En la siguiente tabla se muestra el significado:

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
na	A5	A4	A3	A2	A1	A0	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
-					ADC	ADC							DIO		

**Tabla 7-7 Máscara de Canal para el ejemplo con 0x0604.**

Los siguientes 6 bytes (0x0004, 0x03FF y 0x03FF) se repiten 5 veces. Los dos primeros indican el estado de los pines digitales, mientras que el resto indican el valor de cada conversor habilitado. Como se habilitaron 2 conversores, aparecen los dos valores repetidos y además midiendo lo mismo, ya que al momento de la prueba se encontraban conectados a Vcc (el máximo valor que alcanzan los conversores es 0x3FF). El valor 0x0004 (00000100 en binario) corresponde al estado de las líneas digitales, mientras que el primer 0x03FF (1023 en decimal) corresponde al primer conversor habilitado, es decir, A0. El segundo valor 0x03FF corresponde a A1. Lo anterior se muestra en las siguientes tablas:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	1	0	0

**Tabla 7-8 Estado líneas Digitales para 0x0004.**

Se muestra que la salida digital 2 (DIO2) está en nivel HIGH. Si aparece un cero, no necesariamente indica que está en nivel LOW, sino que primero se debe verificar que esa línea digital se encuentre habilitada en la máscara de canal.

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
MSB o bit más significativos.								LSB o bit menos significativos.							
-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

**Tabla 7-9 Medición para los conversores con 0x03FF.**

Se observa que debido a que los conversores son de 10 bit, el máximo valor que alcanzan es de 0x03FF, por lo que no se entregan valores para los bit 11 hasta el 15.

## 8 Resumen comandos más importantes.

A continuación se muestra una tabla resumen con los comandos AT para el módulo Xbee más importantes. El contenido se muestra con el rango permitido por el comando, una descripción, y las configuraciones para cada valor del parámetro. Para utilizar el programa se debe ingresar AT y luego, sin espacios, el comando a configurar y el valor del parámetro en caso de que se quiera ajustar, o sin nada en caso de que se quiera consultar el valor de ese parámetro.

Comando AT	Rango	Descripción
<b>A1</b>	0 - 0x0F	Describe el modo de Asociación de un módulo. utilizado como Dispositivo Terminal (CE=0). Defecto=0.
<b>A2</b>	0 - 0x0F	Describe el modo de Asociación de un módulo utilizado como Coordinador (CE=1). Defecto=0.
<b>AC</b>	-	Aplica los cambios realizados explícitamente en l configuración.
<b>AP</b>	0 - 0x02	Habilita el modo de operación API. Defecto=0. 0 Modo API Deshabilitado. 1 Modo API habilitado. 2 Modo API habilitado con carácter de escape.
<b>BD</b>	0 - 0x07	Ajusta la tasa de transmisión entre el módulo y su cliente conectado a través de la interfaz serial. Para valores no-estándar revisar el manual. Defecto=3. 0 1200 1 2400 2 4800 3 9600 4 19200 5 38400 6 57600 7 115200
<b>CC</b>	0 - 0xFF	Establece el carácter de secuencia a ser usado entre tiempos de esperas para entrar al modo de comandos. Defecto=0x2B ( carácter ASCII +)
<b>CH</b>	0x0B - 0x1A	Establece el canal por el cual se realiza la conexión RF entre módulos. Verificar Tabla 5-1 Frecuencia de Canales para configurar este parámetro. Defecto=0x0C.
<b>CE</b>	0 - 1	Indica el comportamiento del módulo. Defecto=0. 0 Dispositivo Terminal. 1 Coordinador.
<b>CN</b>	-	Salte del modo de Comando.
<b>D0-D4</b>	0 - 5	Ajusta la configuración de los pines I/O.

		0	Deshabilitado.
		1	--
		2	ADC.
		3	Entrada Digital.
		4	Salida Digital LOW.
		5	Salida Digital HIGH.
<b>D5</b>	0 - 5	Mismas funciones que D0 - D4, exceptuando lo siguiente:	
<b>D6</b>	0 - 5	1	Indicador de Asociación.
		Mismas funciones que D0 - D4, exceptuando lo siguiente:	
		1	Control de Flujo RTS.
		2	No tiene conversor ADC.
<b>D7</b>	0 - 5	Mismas funciones que D0 - D4, exceptuando lo siguiente:	
<b>D8</b>	Sólo 0 y 3.	1	Control de Flujo CTS.
		2	No tiene conversor ADC.
		Ajusta la configuración del pin DI-8 (pin 9).	
		0	Deshabilitado.
		3	Entrada Digital.
<b>DB</b>	0x17 - 0x5C (x-1dBm)	Lee la potencia de la señal del módulo del cual provino el último paquete RF recibido.	
<b>DL</b>	0 - 0xFFFFFFFF	Ajusta los 32 bits menos significativos para direccionamiento. Defecto = 0.	
<b>DH</b>	0 - 0xFFFFFFFF	Ajusta los 32 bits más significativos para direccionamiento. Defecto = 0.	
<b>GT</b>	2 - 0x0CE4 (x 1 ms)	Tiempo de espera antes y después de ingresar el carácter de secuencia para entrar al modo de comandos. Defecto = 0x3E8.	
<b>IA</b>	0 - 0xFFFFFFFF	Utilizado para crear el Cable Virtual. Indica la dirección del módulo de origen de los datos. Defecto= 0xFFFFFFFFFFFFFFFF (no permite el recibo de ningún paquete para cambiar las salidas.)	
<b>ID</b>	0 - 0xFFFF	Ajusta la dirección PAN del módulo. Defecto = 0x3332	
<b>IR</b>	0 - 0xFFFF (x1 ms)	Ajusta la tasa de muestreo de los pines I/O. Defecto = 0.	
<b>IS</b>	1 - 0xFF	Forza al módulo a leer todos sus pines I/O. Si AP=0, el resultado se retorna del siguiente modo:	
		- Número de Muestras.	
		- Máscara de Canal.	
		- Datos DIO.	
		- Datos conversores ADC (se repite por cada conversor habilitado).	
<b>IT</b>	1 - 0xFF	Número de muestras DIO y ADC que se deben	

		esperar, antes de transmitir. Defecto = 1.
<b>IO</b>	8 bits	Ajusta los niveles de las salidas digitales. Cada bits representa el nivel de los pines I/O configurados como salida .
<b>M0 - M1</b>	0 - 0x03FF	Ajusta el ciclo de trabajo de la salida PWM0 y PWM1. Si Mn=0 (0% PWM), Mn=0x01FF (50% PWM) y si Mn=0x03FF (100% PWM). Defecto=0.
<b>MY</b>	0 - 0xFFFF	Configura la dirección de 16 bits para el módulo. Si My=0xFFFF o 0xFFFE, se habilita el modo de direccionamiento de 64 bit. Defecto = 0.
<b>NB</b>	0 - 4	Ajusta la Paridad para la comunicación serial UART del módulo. Defecto =0 .
		0 8 bit sin paridad o 7 bit con cualquier paridad.
		1 8 bit even.
		2 8 bit odd.
		3 8 bit mark.
		4 8 bit space.
<b>ND</b>	-	Reporta todos los dispositivos que se encuentren en el mismo canal y en la misma PAN que el módulo. El formato de respuesta es el siguiente cuando se encuentra en el modo Transparente.
		- MY (dirección de 16 bit)
		- SH (Serial Number High)
		- SL (Serial Nmuber Low).
		- DB (Fuerza de la señal proveniente de este módulo)
		- NI (Identificador del Nodo)
<b>NI</b>	String de 20 caracteres ASCII	Define con un String el nodo o módulo .
<b>P0 - P1</b>	0 - 2	Configura el pin PWM0 y PWM1. Defecto P0 =1, Defecto P1=0.
		0 Deshabilitado.
		1 RSSI.
		2 PWM habilitado.
<b>RE</b>	-	Restaura los valores de los parámetros a los valores por defecto que vienen de fábrica.
<b>SM</b>	0 - 6	Configura el modo de operación SLEEP. Defecto = 0.
		0 Deshabilitado.
		1 Pin de Hibernado.
		2 Pin Doze.
		3 (reservado)
		4 Remoto Cyclic SLEEP.
		5 Remoto Cyclic SLEEP (con pin Wake-up).
		6 SLEEP Cordinador.
<b>SL</b>	0 - 0xFFFFFFFF	Entrega los 32 bit menos significativos del Número Serial del módulo.



<b>SH</b>	0 - 0xFFFFFFFF	Entrega los 32 bit más significativos del Número Serial del módulo.
<b>SP</b>	1 - 0x68B0 (x10 ms)	Ajusta el tiempo de duración en que un módulo duerme o se mantiene en el modo SLEEP. Una vez terminado el período, busca por data entrante, si no hay nada vuelve a dormir y espera por un nuevo ciclo.
<b>ST</b>	1 - 0xFFFF (x1 ms)	Ajusta el tiempo de inactividad (datos ni recibidos ni enviados ya sea por RF o serial) antes de que el módulo ingrese al modo SLEEP. Defecto = 0x1388. Tiempo de espera de apagado para los Cables Virtuales. Si luego de este tiempo no hay cambios en alguna salida I/O, éstas cambian a su valor por defecto. Defecto = 0xFF.
<b>T0 - T7</b>	0 - 0xFF (x100 ms)	
<b>IU</b>	0 - 1	Habilita o no la salida I/O UART.
		0 Deshabilitado. Paquetes RF recibidos no serán enviados por UART.
		1 Habilitado. Paquetes RF recibidos serán enviados por UART.
<b>VL</b>	-	Entrega la versión del Firmware de forma Verbal. La respuesta entrega fecha de compilación de la aplicación, MAC, PHY y versión del bootloader y sus fechas de compilación.
<b>VR</b>	0 - 0xFFFF	Indica cual versión de firmware se encuentra actualmente en el módulo.
<b>WR</b>	-	Guarda en la memoria no-volátil del módulo, todos los valores de los parámetros.

**Tabla 8-1 Tabla Resumen de Comandos.**

## 9 Hoja de datos.

### 9.1 Diagrama de Pines.

**Table 1-02. Pin Assignments for the XBee and XBee-PRO Modules**  
(Low-asserted signals are distinguished with a horizontal line above signal name.)

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / <u>CONFIG</u>	Input	UART Data In
4	DO8*	Output	Digital Output 8
5	RESET	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	<u>DTR</u> / <u>SLEEP_RQ</u> / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4 / DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	<u>CTS</u> / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / SLEEP	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Associate / AD5 / DIO5	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	RTS / AD6 / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

**Figura 9-1 Diagrama de pines.**

## 9.2 Detalles eléctricos.

Table 1-03. DC Characteristics (VCC = 2.8 - 3.4 VDC)

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
V <sub>IL</sub>	Input Low Voltage	All Digital Inputs	-	-	0.35 * VCC	V
V <sub>IH</sub>	Input High Voltage	All Digital Inputs	0.7 * VCC	-	-	V
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage	I <sub>OL</sub> = 2 mA, VCC ≥ 2.7 V	-	-	0.5	V
V <sub>OH</sub>	Output High Voltage	I <sub>OH</sub> = -2 mA, VCC ≥ 2.7 V	VCC - 0.5	-	-	V
I <sub>IN</sub>	Input Leakage Current	V <sub>IN</sub> = VCC or GND, all inputs, per pin	-	0.025	1	μA
I <sub>IOZ</sub>	High Impedance Leakage Current	V <sub>IN</sub> = VCC or GND, all I/O High-Z, per pin	-	0.025	1	μA
TX	Transmit Current	VCC = 3.3 V	-	45 (XBee) 215 (PRO)	-	mA
RX	Receive Current	VCC = 3.3 V	-	50 (XBee) 55 (PRO)	-	mA
PWR-DWN	Power-down Current	SM parameter = 1	-	< 10	-	μA

Table 1-04. ADC Characteristics (Operating)

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
V <sub>REFH</sub>	VREF - Analog-to-Digital converter reference range		2.08	-	V <sub>DDAD</sub>	V
I <sub>REF</sub>	VREF - Reference Supply Current	Enabled	-	200	-	μA
		Disabled or Sleep Mode	-	< 0.01	0.02	μA
V <sub>INDC</sub>	Analog Input Voltage <sup>1</sup>		V <sub>SSAD</sub> - 0.3	-	V <sub>DDAD</sub> + 0.3	V

1. Maximum electrical operating range, not valid conversion range.

Table 1-05. ADC Timing/Performance Characteristics<sup>1</sup>

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
R <sub>AS</sub>	Source Impedance at Input <sup>2</sup>		-	-	10	kΩ
V <sub>AIN</sub>	Analog Input Voltage <sup>3</sup>		V <sub>REFL</sub>		V <sub>REFH</sub>	V
RES	Ideal Resolution (1 LSB) <sup>4</sup>	2.08V ≤ V <sub>DDAD</sub> ≤ 3.6V	2.031	-	3.516	mV
DNL	Differential Non-linearity <sup>5</sup>		-	±0.5	±1.0	LSB
INL	Integral Non-linearity <sup>6</sup>		-	±0.5	±1.0	LSB
E <sub>ZS</sub>	Zero-scale Error <sup>7</sup>		-	±0.4	±1.0	LSB
F <sub>FS</sub>	Full-scale Error <sup>8</sup>		-	±0.4	±1.0	LSB
E <sub>IL</sub>	Input Leakage Error <sup>9</sup>		-	±0.05	±5.0	LSB
E <sub>TU</sub>	Total Unadjusted Error <sup>10</sup>		-	±1.1	±2.5	LSB

Figura 9-2 Detalles Eléctricos.

### 9.3 Detalles Técnicos

Detalles	XBee 802.15.4 (Series 1)
<b>Funciones</b>	
Tasa de datos	254 Kbps
Rango recinto interior	30 m
Rango línea de visión	100 m
Potencia de Transmisión	1 mW (+0 dBm)
Sensibilidad del receptor (1% PER <sup>8</sup> )	-92 dBm
<b>Características</b>	
Interfaz de Datos Serial	3.3V CMOS UART
Métodos de Configuración	Comandos AT o API, local o sobre el aire.
Banda de frecuencia	2.4 GHz
Inmunidad a la interferencia	DSSS (Direct Sequence Spread Spread Spectrum)
Tasa de Comunicación Serial	1200 bps a 250 Kbps
Conversores ADC	Conversores de 10 bit (hasta 7 disponibles). <sup>9</sup>
I/O Digitales	Hasta 8 disponibles.
PWM (Pulse Width Modulation)	Hasta 2 disponibles.
Opciones de Antena	Chip, Wire Chip, U.FL y RPSMA.
<b>Redes y Seguridad.</b>	
Encriptación	128 bits
Entrega confiable de paquetes.	Retries/Acknowledgments (Reintentos/ aviso de recibo de paquetes)
ID's y canales.	PAN ID (personal Area Network), 64-bit IEEE MAC, 16 canales.
<b>Requerimientos de poder</b>	
Voltaje de Alimentación	2.8 a 3.4 Vdc
Corriente al transmitir.	45 mA @ 3.3 Vdc
Corriente al recibir.	50 mA @ 3.3 Vdc
Corriente de apagado.	<10uA @ 25 °C
<b>Regulaciones aprobadas.</b>	
FCC (USA)	OUR-XBee
IC (Canadá)	4214A-XBee
ETSI (Europa)	Si
C-TICK Australia	Si
Telec (Japón)	Si

Tabla N° 9-1 Especificaciones Técnicas.

<sup>8</sup> Packet Error Radio (Tasa de paquetes erróneos).

<sup>9</sup> Pines compartidos entre las entradas/salidas digitales y analógicas.

## 9.4 Detalles Físicos.

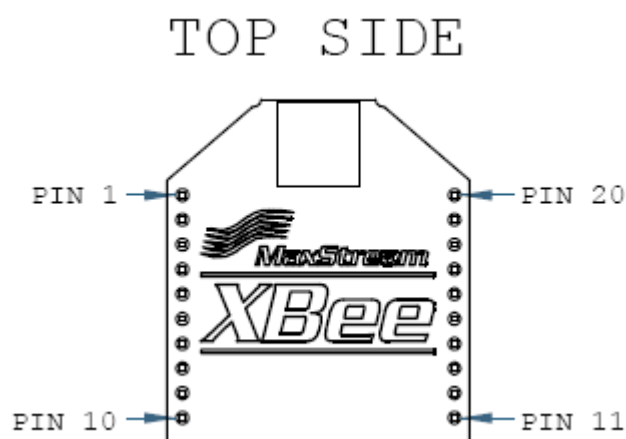


Figura 9-3 Vista superior.

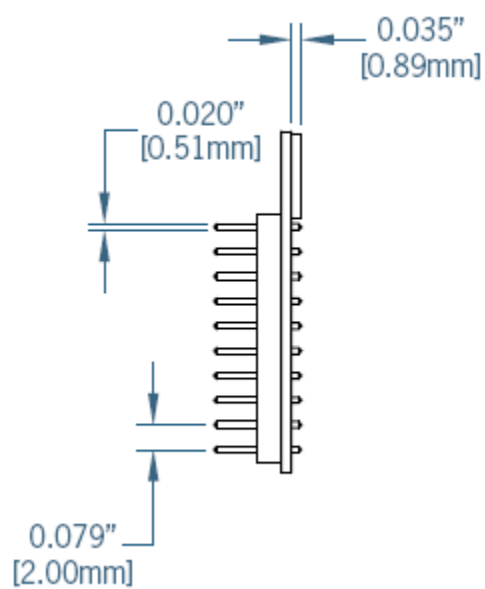
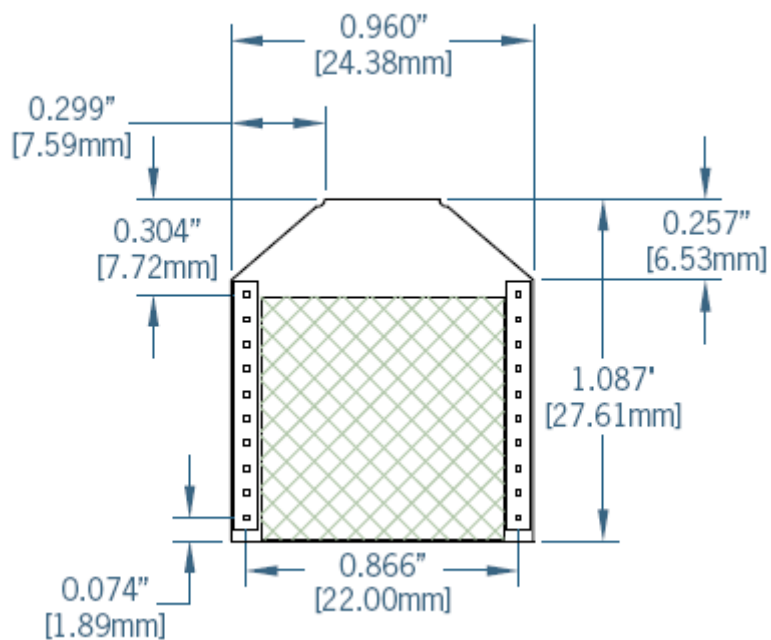
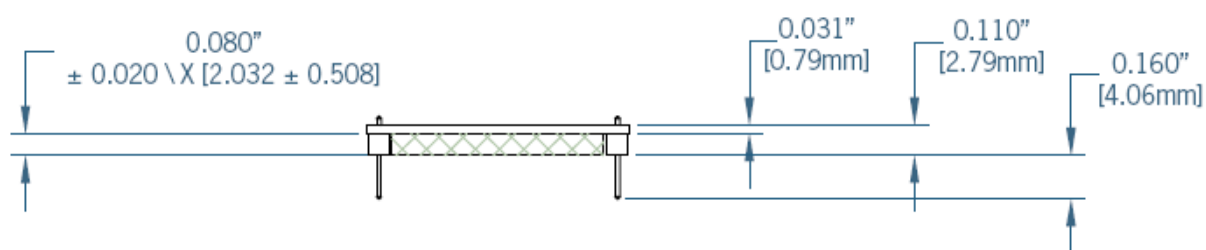


Figura 9-4 Vista lateral.



**Figura 9-5 Vista inferior.**



**Figura 9-6 Vista lateral frontal.**

## 10 Glosario de términos

### **PAN.**

Personal Area Network. Se entiende por PAN una red de comunicaciones que incluye un Coordinador de red y uno o más routers o dispositivos finales (end points).

### **JOINING.**

Es el proceso que inicia cada dispositivo (router o end point) para formar parte de una red PAN Zigbee. Es durante este proceso cuando un el dispositivo (el coordinador o un router) padre asigna una dirección de 16 bits al nodo hijo (otro router o un end point) que se quiere unir a la red.

### **NETWORK MAXIMUN DEPTH**

En máximo nivel de descendencia del Coordinador. Es decir, desde un coordinador no pueden descender un nº ilimitado de padres e hijos. Por ejemplo, con un Network Maximun Depth de 5 podríamos tener un Coordinador, del cual descendiende un Router R1, de este Router R1 descendiende otro R2, del R2 un R3 y del R3, por ejemplo, un end point. Por supuesto de R1, R2 ... pueden descender más dispositivos. Hablamos del nº de descendientes desde el Coordinador. Es decir, para un Network Maximun Depth de 5 lo máximo que puede ser el Coordinador es un Tatarabuelo.

### **MAXIMUM CHILD ROUTER**

Indica el nº máximo de routers que puede unirse a cada nodo.

### **MAXIMUM CHILD END DEVICES**

Indica el nº máximo de dispositivos finales que puede unirse a cada nodo.

### **NETWORK ADDRESS**

El la dirección de 16bits que un nodo asigna a un dispositivo que se une a la red.

### **OPERATING CHANNEL**

Es la frecuencia seleccionada por el canal de comunicaciones entre nodos. En canal de comunicaciones es escogido por el coordinador al “arrancar” la red. El coordinador de la red, al iniciar la red, mide la energía RF en cada canal de comunicaciones. El canal que detecte con menos energía (menos interferencias) será el escogido para operar.

### **ROUTE REQUEST**

Broadcast enviado a la red Zigbee por el coordinador o un router para intentar establecer la ruta hacia un determinado dispositivo.

### **ROUTEREPLY**

Es la respuesta del dispositivo final buscado a través de un ROUTER REQUEST. Cuando este dispositivo ve que la trama (enviada en broadcast) está buscando a un dispositivo con su dirección, responde al dispositivo que envió el route request.



**ZIGBEE STACK**

La pila zigbee es un protocolo de alto nivel pensado para dispositivos de bajo consumo. Opera encima de la capa de especificación 802.15.4 (protocolo de comunicaciones RF). Por ejemplo las capacidades mesh y de ruteado forman parte de la pila Zigbee.

DRAFT