



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

“SENSADO DE NIVEL DE GAS LP MEDIANTE TECNOLOGÍA INALÁMBRICA XBEE”

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

**PRESENTA:
ABRAHAM AGUALLO TAPIA**

**ASESOR:
INGENIERO ELECTRICISTA IGNACIO FRANCO TORRES**

MORELIA, MICHOACÁN

AGOSTO DEL 2013.



Agradecimientos

Existen principios, finales y continuara, prefiero un continuara que un final un hasta luego que un adiós, es preciso recordar a los que estuvieron y por muchos motivos ya no están a los que recorrieron este sendero conmigo a quienes vienen atrás y los que trazaron este camino. Puede que tenga éxito puede que fracase pero lo que jamás dejare de hacer, será aprender

Dedicado principalmente a mis padres, maestros, amigos y a mi novia que me impulso a continuar adelante gracias a todos ustedes sin ustedes no hubiera conocido el final de este camino ni el principio del siguiente.

Dedicatoria

A mi madre, por su dedicación y total entrega por todo el esfuerzo que hace día con día

Resumen

El presente trabajo plantea medir el nivel de líquido en un tanque de gas estacionario utilizando la tecnología ya existente que presentan las caratulas de medición de nivel de los tanques estacionarios y a partir de esta tecnología, poder transformar la señal adquirida en la caratula, a una señal digital para transmitirla a dispositivos en el interior del hogar de manera inalámbrica ya sea un ordenador personal o una pantalla de cristal líquido y así llevar un control en el consumo de gas.

Contenido

Agradecimientos	ii
Dedicatoria.....	iii
Resumen	iv
Capítulo 1	1
1.1 Antecedentes, Descripción General del Problema	2
1.2 Objetivos de la Tesis	2
1.3 Justificación	3
1.4 Metodología.....	3
1.5 Descripción de los Capítulos	4
Capítulo 2 Antecedentes de la tecnología Xbee.	5
2.1 Protocolo de comunicación Zigbee	5
2.2 Alternativas al ZigBee	6
2.3 Comparativa entre diferentes módulos ZigBee	7
2.4 Aplicaciones	11
Capítulo 3 Tecnología Xbee.	14
3.1 Circuito básico para el Xbee.....	14
3.2 Modos de Operación.....	15
3.3 Modo recibir/transmitir.	15

3.4 Modo de Bajo Consumo (Sleep Mode).....	16
3.4.1 Modos de sueño controlado por Pin	16
3.4.1.1 Pin de Hibernación	16
3.4.1.2 Pin Doze	17
3.4.2 Sueño cíclico remoto (SM = 4)	17
3.4.2.1 Sueño cíclico remoto y Pin para despertar (SM = 5).....	18
3.4.2.2 Coordinador de sueño	18
3.4.3 Tabla de Resumen modo sleep	18
3.5 Modo de Comando.	19
3.6 Modo Transparente.....	22
3.7 Modo de operación API.....	23
3.8 Configuración del Módulo XBEE.	24
3.8.1 Direccionamiento de los módulos	25
3.8.2 Direccionamiento de 16 bit.....	25
3.8.3 Direccionamiento de 64 bits	25
3.8.4 Modo de Conexión Transparente.	26
3.8.5 Modo de Conexión Punto a Punto.....	27
3.8.6 Modo de Conexión Punto a Multipunto.	29
3.8.7 Broadcast	31
3.8.8 Cable Virtual I/O	33

3.8.9 Conexión NonBeacon. Peer-to-Peer.....	37
3.9 Conexión NonBeacon c/Coordinador.....	38
3.9.1 Conexión API	40
Capítulo 4 Diseño y Construcción del Sistema.	43
4.1 X-CTU software para programar módulos Xbee.	43
4.2 Instalación XBEE EXPLORER	46
4.3 Lectura I/O Digitales y Analógicas.	48
4.4 Utilización del PWM.	50
4.5 PRUEBA ECO.	50
4.5.1Prueba ECO Usando Hyperterminal.....	50
4.5.2 Prueba ECO Usando X-CTU.....	52
4.6 Cable virtual	54
4.7 Configuración modos de bajo consumo	58
4.7.1Modo sleep con SM=4.....	59
4.7.2 Modo Sleep con SM=5	59
4.7.3 Modo Sleep con SM=1	60
4.8 Tanque estacionario.....	64
4.9 Instalación del Sensor en el tanque estacionario	67
4.10 Cálculo de despacho de entrada de gas LP.....	68
4.11 PIC18F4550 características principales.....	70

4.12 Diagrama esquemático del circuito receptor	72
4.13 Programa del circuito receptor	73
4.14 Configuración transmisión –recepción cable virtual	73
4.15 Programa en labview recepción de información en la PC.....	73
4.16 Carátula R3D	73
Capítulo 5 Pruebas y Resultados del Prototipo desarrollado.....	80
5.1 Pruebas y evaluación del equipo	80
Capítulo 6 Conclusiones y Trabajos a Futuro..	<u>84</u>
6.1 Conclusiones Particulares.....	83
6.2 Trabajos Futuros.....	83
Bibliografía.....	80
Glosario	87

Lista de Figuras

Figura 2.1 Conexión típica usando XBEE.....	6
Figura 2.2 Coordinador PAN con múltiples nodos.	12
Figura 2.3 Elementos del XBEE.....	12
Figura 2.4 Red Mesh para módulos XBEE PRO	13
Figura 3.1 Conexiones mínimas requeridas para el Xbee.	14
Figura 3.2 Modos de operación del modulo Xbee	15
Figura 3.3 Ejemplo Comando AT.	19
Figura 3.4 Ejemplo escritura de parámetros en la Hyperterminal	20
Figura 3.5 Ejemplo lectura de parámetros.....	21
Figura 3.6 Forma normal de escribir.	21
Figura 3.7 Forma abreviada.....	22
Figura 3.8 Correspondencia de Buffer.	23
Figura 3.9 Configuración del modulo 1.	27
Figura 3.10 Configuración del modulo 2.	28
Figura 3.11 Ejemplo direccionamiento 16 y 64 bit	28
Figura 3.12 Canales disponibles para el protocolo IEEE 802.15.4	29
Figura 3.13 Configuración punto-a-multipunto.	31
Figura 3.14 Red de Broadcast.....	32
Figura 3.15 Diagrama de pines del módulo Xbee. Vista Superior.	33

Figura 3.16 Formato del Frame para Cable Virtual.....	36
Figura 3.17 Estructura del Frame para Cable Virtual. Ocupando Direcccionamiento de 16 bit.	36
Figura 3.19 Estructura del Frame del modo API.....	41
Figura 3.18 Ejemplo varias redes PAN NonBeacon con Coordinador.	42
Figura 4.1 Opción PC Settings.	43
Figura 4.2 Opción Range Test.....	44
Figura 4.3 Opción Terminal.	45
Figura 4.4 Opción modem Configuration.	45
Figura 4.5 Placa Xbee Explorer modulo para programar los Xbee de la serie 1 y 2.....	46
Figura 4.6 XBEE EXPLORER conectado en el puerto COM 31.	47
Figura 4.7 Configuración de conexión.	48
Figura 4.8 Configuración de la Hyperterminal.....	51
Figura 4.9 Comandos AT por Hyperterminal.....	51
Figura 4.10 Prueba para verificar la conexión.....	52
Figura 4.11 Pestaña Terminal de X-CTU.....	53
Figura 4.12 Modem Configuration.	54
Figura 4.13 Proceso completo.	54
Figura 4.14 Configuración Cable virtual para el modulo.....	55
Figura 4.15 Configuración Cable virtual para el modulo 2.....	56

Figura 4-16 Ejemplo Cable Virtual.	56
Figura 4.17 Diagramas de tiempos para SM=4.	59
Figura 4.18 Diagramas de tiempos para SM=5	60
Figura 4.19 Diagramas de tiempos para SM=1	60
Figura 4.27 Estado inicial y final del tanque estacionario.....	68
Figura 4.28 Configuración cristal de 4 Mhz.....	71
Figura 4.29 Pin out del microcontrolador pic18f4550	71
Figura 4.30 Diagrama de conexión circuito receptor.	72
Figura 4.31 Placa con los elementos del circuito receptor	72
Figura 4.32 Diagrama flujo de datos del circuito receptor.....	73
Figura 4.33 conexión física cable virtual.....	74
Figura 4.34 Elementos de la Trama 1	74
Figura 4.35 Diagrama de bloques para la recepción en la PC.....	76
Figura 4.36 Sensor de efecto hall montado en la caratula R3D	78
Figura 4.37 Sensor R3D y su configuración pin-out.....	78
Figura 5.1 Monitoreo de trama antes de los 30m.	80
Figura 5.2 Pérdida de tramas después de 40m.....	80
Figura 5.3 Monitoreo a 200m.....	80
Figura 5.4 Pérdida de tramas a partir de los 250m.	80
Figura 5.5 Pérdida total de tramas a partir de los 300m.....	82

Lista de Tablas

Tabla 1.1 diagrama Gantt de la metodología a seguir	3
Tabla 2.1 Comparativa de ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi.....	7
Tabla 2.2 Comparativa entre diferentes módulos ZigBee.	9
Tabla 2.3 Tabla de Especificaciones de los diferentes módulos Xbee.....	10
Tabla 3.1 Modo Sleep y consumos de corriente.....	18
Tabla 3.2 Canales de Frecuencia y su respectivo Comando AT.	30
Tabla 3.3 Comandos para configurar el Cable Virtual.....	35
Tabla 3.4 Ejemplo de Configuración para Cable Virtual.	35
Tabla 3.5 Configuración Dispositivo Terminal. Comando A1	40
Tabla 3.6 Configuración Coordinador. Comando A2.	40
Tabla 4.1 Comandos AT para puertos I/O.....	49
Tabla 4.2 Ejemplo Configuración para DIO 2.	49
Tabla 4.3 Esquema del Frame de Datos.	57
Tabla 4.4 Máscara de Canal para el ejemplo con 0x0604.....	58
Tabla 4.6 Medición para los conversores con 0x03FF.....	58
Tabla 4.7 Resumen de Comandos.	63
Tabla 4.8 Diagrama de pines.	64
Tabla 4.9 Resumen de las principales características Pic18f4550	70

Lista de Símbolos y Abreviaturas

-	Negativo
+	Positivo
AA	Formato de pila cilíndrica de 1.5V
AC o CA	Corriente alterna
ADJ	Ajuste
Bat	Batería
CC ó DC	Corriente continua
CMOS	Semiconductor de metal-oxido complementario
DIN	Tipos de conectores / Normalización industrial alemana
DIP - DIL	Capsula de doble fila de conexiones
DPDT	Conmutador de doble polaridad, doble contacto
Dz	Diodo zener
EMI	Interferencias electromagnéticas
E/S	Entrada - Salida (I / O)
GND	Masa
Hz	Frecuencímetro - Hercio
IEEE	Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos
ISO	Organización Internacional de Normalización
LCD	Diodo cristal líquido
LED	Diodo emisor de luz
MOS	Semiconductor de metal-oxido
MOSFET	Transistor de efecto de campo de metal-oxido semiconductor
N	Negativo / Neutro
N/C	No conectado
OFF	Apagado
ON	Encendido
R	Resistencia
REF	Referencia
RX	Recepción

TX	Transmisión
SE	Señal de error
SNSR	Sensor
V	Voltio - Voltímetro
Vcc ó Vdc	Tensión continua
Vce	Tensión entre colector y emisor de transistores
Vent	Tensión de entrada
Vpp	Tensión de pico a pico
Vref	Tensión de referencia
Vsal	Tensión de salida
XT	Cristal oscilador
A/D - D/A	Analógico/Digital - Digital/Analógico
ANT	Antena
Ch	Canal
Osc	Oscilador
RF	Radiofrecuencia
S/N	Señal ruido
ST-BY	Stand-By, en espera
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
VCO	Oscilador controlado por voltaje
A	Amperio
F	Faradio / Fuerza
Fr	Frecuencia
Giga (G)	Prefijo que representa mil millones
Hz	Hercio
I	Intensidad
KB	Kilobyte - 1024 bytes
Kb	kilobit - 1024 bits
Kilo (K)	Prefijo que representa mil
Máx	Máximo
Mbps	Megabytes por segundo

Mega (M)	Prefijo que representa un millón
Micro (μ)	Prefijo que representa una millonésima
Mili (m)	Prefijo que representa una milésima
mín	Mínimo, Minuto
mm	Milímetro
Mu	Abreviatura de micro
Nano (n)	Prefijo que representa una mil millonésima ó 10-9
R	Resistencia
V	Voltios
Ω	Ohmio
A/D o D/A	Analógico / Digital - Digital / Analógico
ASCII	Código americano normalizado para el intercambio de información
b (Bit)	Unidad mínima de información
B (Byte)	Octeto, carácter compuesto de ocho bits
BPS	Bits por segundo
CD	Disco compacto
COM	Puerto de comunicaciones serie
CPU o UCP	Unidad central de proceso
DMA	Acceso directo a memoria
E/S o I/O	Entrada - Salida
EPROM	Memoria de solo lectura grabable y borrrable
Giga	Prefijo que representa mil millones
LAN	Red de área local
MAC	Control de acceso medio
Mbps	Megabytes por segundo
MODEM	Modulador / Demodulador
PAN	Red de Área Personal
PC	Ordenador personal
Port	Puerta o puerto, vía de acceso
RAM	Memoria de lectura y escritura
RDSI-HSDN	Red digital de servicios integrados

ROM	Memoria de solo lectura
RS-232	Norma de comunicación vía serie
USB	Bus serie universal
WAN	Red de área extensa
WI-FI	Fidelidad en la transmisión sin cables
WLAN	Red local inalámbrica
WPAN	Red de área personal inalámbrica

Capítulo 1

Introducción

El campo de la instrumentación electrónica tiene sus orígenes en la aplicación de la ley de inducción de Michael Faraday, visualizada a través de la reflexión o el movimiento de una aguja sobre una escala graduada, lo que permite determinar la medida de una variable sujeta a estudio. Los instrumentos basados en este principio se han utilizado como visualizadores de medida. Normalmente, su uso es importante en los paneles de control, mando y distribución en las instalaciones eléctricas, donde es necesaria la visualización del parámetro eléctrico, sin importar pequeñas variaciones en dicho parámetro. La principal ventaja de estos instrumentos es que reflejan la fluctuación de estos parámetros de forma muy precisa. Añadido a todo lo anterior el avance en la tecnología de materiales permitió la construcción de equipos de monitoreo, control y medida para prácticamente todos los campos de la ciencia, dando lugar a lo que se conoce como la instrumentación analógica.

Posteriormente surge el nacimiento de los circuitos integrados; en 1962 la RCA anuncia la fabricación de un circuito con 16 dispositivos MOSFETs en un chip de 2.5 mm^2 . Este acontecimiento dio paso a una nueva etapa de crecimiento de la Tecnología Electrónica: la Microelectrónica;

Desencadenando posteriormente el nacimiento de la instrumentación digital con la miniaturización de las baterías junto con el desarrollo de las pantallas digitales, como las de cristal líquido (LCD). Surgiendo también así el arribo de nuevos tipos de instrumentos digitales de medición que no requerían cables.

1.1. Antecedentes, Descripción General del Problema

Lo que en este trabajo se presenta es en esencia un prototipo; el proyecto tendrá la facilidad de crecer en escala para desarrollos del tipo industrial y pudiendo conformar redes de gran tamaño para instalaciones mucho más grandes. Los antecedentes aquí mencionados tienen origen en tiempos antiguos donde no solo era necesario medir el nivel de líquido de un depósito sino mantener un control del nivel de dicho fluido como en las lámparas de aceite o depósitos de vino donde era importante mantener determinado nivel de bebida sin importar cuantos vasos de vino se extrajeran. Sin embargo conforme evoluciono la tecnología surgieron nuevas necesidades creadas a partir de la introducción de estas nuevas técnicas como fue la invención del Gas GPL en 1904 por el alemán Hermann Blau de Augsburgo quien fue el primero en sintetizar este material constituido principalmente por propano. Como su propio nombre lo indica, el GPL (liquefied petroleum gas, por sus siglas en inglés o gas licuado de petróleo en español) se fabrica descomponiendo con calor el petróleo en retortas y comprimiendo la nafta resultante hasta licuarla transformándose así al estado líquido para su fácil almacenamiento en grandes y pequeños tanques que contienen tal mezcla de GPL. El gas Blau se utilizó principalmente para calefacción e iluminación a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, pero no fue hasta 1912 cuando se construyó la primera planta de destilación en Estados Unidos de Norteamérica, donde asimismo comenzó la distribución comercial en 1920. Fue tal el éxito que rápidamente se introdujo a Europa, incluyendo Francia, Bélgica, los países bajos así como también Alemania. En la segunda guerra mundial fue utilizado principalmente como combustible para vehículos; posteriormente comenzó su utilización domestica e industrial. Al popularizarse su uso en la industria, en el hogar, así como en los vehículos, nace la necesidad de tener indicadores de nivel para los tanques almacenadores.

1.2. Objetivos de la Tesis

El presente trabajo se enfoca en dos casos:

1. La implementación del prototipo deberá satisfacer las necesidades con los que la instrumentación alámbrica ha logrado resolver.
2. Se debe desarrollar un prototipo que pueda crecer junto las actuales comunicaciones inalámbricas como lo son bluetooth y wi-fi dando la opción de que no solo se pueda medir un parámetro sino también controlarlo como en el área de la industria, el desarrollo de este trabajo será crear un prototipo que cubra las necesidades de medir el nivel de líquido de un tanque estacionario de un hogar y dejar los fundamentos teóricos para proyectar el desarrollo de un prototipo de la índole industrial.

1.3. Justificación

Este prototipo lo realice con la idea de comercializar primeramente como un producto para el hogar y con mayor fuerza en la industria ya que en el hogar un usuario promedio no lo vería como una inversión tan necesaria pero en la industria sería fundamental en la modernización de instalaciones de medición y control de niveles de muchos depósitos, no solo de gas sino también de algunos líquidos y sólidos con sus correspondientes modificaciones en el hardware.

1.4. Metodología

Se propone el siguiente cronograma para calendarizar las actividades:

Capítulo\Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2.- investigación documental en internet y libros									
3.- investigación documental en internet y compra del material.									
4.-pruebas en el laboratorio y construcción de circuitos									
5.-revisión y corrección de los anteriores capítulos									

Tabla 1.1 diagrama Gantt de la metodología a seguir

Se comprenden etapas de investigación documental, así como la prueba del prototipo mediante la implementación de hardware y diseño de software

1.5 Descripción de los Capítulos

En el capítulo 1 se da una breve introducción a este trabajo, se muestran los motivos que me alentaron a la realización de este trabajo y se comentan algunos de los protocolos más conocidos de comunicación inalámbrica y justifico por que decidí utilizar el protocolo ZigBee. Por último se describe el objetivo de este trabajo.

En el capítulo 2 se menciona el fundamento teórico que enmarca el desarrollo del prototipo: se presentan conceptos básicos de la tecnología inalámbrica Xbee así como una breve introducción de sus dos modos de trabajo , así como la aplicación de esta tecnología en un sistema más grande.

En el capítulo 3 se presenta el artefacto que se implementó. Se detallan los dispositivos que se utilizaron y sus características, así como los motivos de su elección. El capítulo comprende además las etapas de captura y adquisición, explicando qué sensor se utilizó para medir la variable física de nivel de líquido.

En el capítulo 4 describe el diseño del circuito que recibirá la información inalámbrica generada por el sensor para desplegar la información en una pantalla de cristal del líquido (LCD) para que el usuario lea en magnitud y porcentualmente la cantidad de líquido contenida en el tanque estacionario. También se diseñó el software que se utilizaría para procesar la información inalámbrica y poderla representar de manera entendible para el usuario tanto en el LCD como en una computadora que pueda ejecutar uno de los siguientes sistemas operativos Windows Xp, Windows vista y Windows 7.

En el capítulo 5 se presentan conclusiones generales, aportaciones y trabajos futuros.

Capítulo 2

Antecedentes de la tecnología Xbee.

2.1 Protocolo de comunicación Zigbee

Zigbee es un protocolo de comunicación inalámbrica que está basada en el estándar de comunicaciones inalámbricas IEEE_802.15.4. Creado por Zigbee Alliance, organización sin ánimos de lucro teóricamente, con más de 200 grandes empresas participantes (de las cuales destacan Mitsubishi, Honeywell, Philips, Invensys, entre otras), muchas de ellas fabricantes de semiconductores. Zigbee permite que dispositivos de bajo consumo se puedan comunicar de manera inalámbrica. Se utiliza principalmente para redes de sensores que se encuentran en entornos industriales, médicos y en domóticos con mayor popularidad.

Las comunicaciones Zigbee se realizan en la banda libre de 2.4GHz y de 900Mhz. 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 del dispositivo MaxStream, en la versión de 1mW de potencia) 100m y en interiores de 30m. La tasa 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 MaxStream 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 si) o redes complejas de sensores. Una conexión típica se muestra en la Figura 2.1, 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 servidor que administre la información.

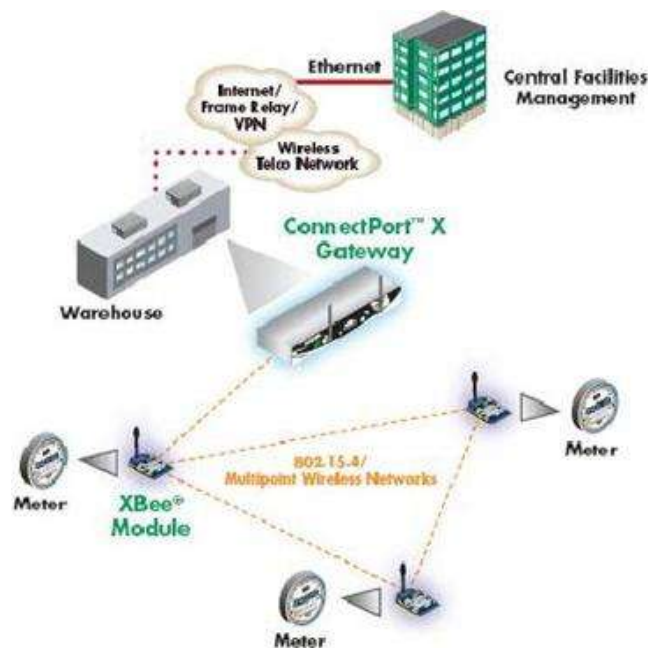


Figura 2.1 Conexión típica usando XBEE.

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

2.2 Alternativas al ZigBee

Algunos de los estándares más populares que comparten la banda de 2.4 GHz sin licencia son Bluetooth, Wi-Fi y ZigBee. En la siguiente tabla se pueden observar las principales características de cada uno de ellos: el estándar de comunicaciones, la

máxima velocidad de transmisión, el consumo de corriente típico en transmisión y el consumo de corriente en “standby”.

ZigBee (WPAN)	Bluetooth (WLAN/WPAN)	Wi-Fi (WLAN)
IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11x
250 kbps	1 Mbps	Hasta 54 Mbps
TX: 35 mA	TX: 40 mA	TX: > 400 mA
Standby: 3 μ A	Standby: 200 μ A	Standby: 20 mA

Tabla 2.1 Comparativa de ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi

Bluetooth es un sistema popular de comunicación inalámbrico basado en el estándar IEEE 802.15.1. Bluetooth trabaja a una velocidad de transmisión de datos de 1 Mbps. Se puede ver que Bluetooth y ZigBee tienen corrientes similares en transmisión, pero ZigBee tiene un recurso significativamente mejor, más baja corriente en “standby”. Esto es debido a que los dispositivos en redes Bluetooth deben dar información a la red frecuentemente para mantener la sincronización, así que no pueden pasarse fácilmente a modo “sleep”.

Wi-Fi requiere la actividad casi ininterrumpida de los dispositivos en la red. La ventaja de este estándar es la cantidad tremenda de datos que se pueden transferir, no obstante la corriente en transmisión y en “standby” es mucho mayor. ZigBee brinda la flexibilidad de la conexión de redes en malla, la posibilidad de que los dispositivos se puedan dormir, un bajo consumo, bajo coste, etc, resultando idónea su implantación en redes de sensores inalámbricos.

2.3 Comparativa entre diferentes módulos ZigBee

Actualmente existen cerca de una veintena de compañías dedicadas entre otras cosas a la manufacturación de chips ZigBee, entre ellas, las más importantes son las siguientes: Atmel Corporation, Chipcon, Crossbow, Ember Corporation, Freescale, etc. MaxStream al igual que otros fabricantes desarrollan módulos ZigBee utilizando estos chips, MaxStream ha optado por la plataforma ZigBee de Freescale.

En este apartado se analizan distintos módulos ZigBee a fin de comparar sus especificaciones más relevantes. Entre las especificaciones se pueden mencionar a modo de ejemplo la corriente de transmisión, la corriente de recepción, la dimensión, los tipos de antenas, etc.

Módulos		MaxStream Xbee & Xbee-PRO	Telegesis ETRX1 & ETRX2
Chips		Fabricante Freescale Transmisor: MC13193 Microcontrolador: MC9S08GT60	Fabricante Ember - ETRX1: EM2420 - ETRX2: EM250 * Chips todo en uno, transmisor y microcontrolador
Alcance en espacios interiores		Hasta 30 (Xbee) Hasta 100 m (Xbee-PRO)	Hasta 30 m (ETRX1) Hasta 60 m (ETRX2)
Alcance en espacios exteriores		Hasta 100 (Xbee) Hasta 1,2 km (Xbee-PRO)	Hasta 200 m
Consumo	TX	TX45 mA (XBee) 270 mA (XBee-PRO)	± 35,5 mA
	RX	50 mA (XBee) 55 mA (XBee-PRO)	± 35,5 mA
	Standby	< 10 µA	< 1 µA
Interfaces de comunicación		SPI (Serial Peripheral Interface)	SPI (Serial Peripheral Interface)
Dimensión (cm)		2,438 x 2,761 (XBee) 2,438 x 3,294 (XBee-PRO)	3,77 x 2,04
Antenas		Conector U.FL, antena chip o antena de látigo	Antena integrada, conector U.FL o single port 50Ω pad
Disponibilidad de kit		- XBee Starter Kit - XBee-PRO Starter Kit - XBee Professional Developer Kit * Placas de desarrollo con interfaz RS232 o USB	- Telegesis ETRXnDVKP - Telegesis ETRXnDVKA * Placa de desarrollo con interfaz RS232
Certificación Zigbee		Concedida por la ZigBee Alliance	NO
Integración		Coexistencia en otros entornos ZigBee desplegados	Pila de protocolo de red propietario

Módulos		DLP Design DLP-RF2	Jennic JN5139 Family	Rfsolutions EasyBee
Chips		Fabricante Freescale Transmisor: MC13192 Microcontrolador: MC9S08GT60	Solución ZigBee en chip (en lugar de módulo)	Fabricante Chipcon CC2420 *Chip todo en uno, transmisor y Microcontrolador
Alcance		Hasta 150m	Hasta 400 m (M00/01/03) Hasta 4 km (M02/04)	Hasta 120m
Consumo	<i>TX</i>	34 mA	< 40 mA (M00/01/03) < 120 mA (M02/04)	18 mA
	<i>RX</i>	37 mA	< 40 mA (M00/01/03) < 45 mA (M02/04)	20 mA
	<i>Standby</i>	<3 μ A	<2 μ A	<1 μ A
Interfaces de comunicación		SPI (Serial Peripheral Interface)	SPI (Serial Peripheral Interface)	
Dimensión (cm)		4,32 x 2,79	1,8 x 3 (M00/01/03) 1,8 x 4,05 (M02/04)	1,97 x 4,35
Antenas		Antena integrada	Antena integrada, conector SMA o conector U.FL	Antena integrada
Disponibilidad de kit		- DLP-RF2SENS - DLP-RF2RELAY - DLP-RF2PROTO	JN5139 ZigBee Evaluation Kit	PICDEM Z Development Kit Microchip Technology) Placa de desarrollo con interfaz RS232
Certificación Zigbee		NO	NO	NO
Integración		Compatible con otros DLP-RF2 u otros módulos basados en el chip MC13193	-	-

Tabla 2.2 Comparativa entre diferentes módulos ZigBee.

	Especificaciones*				Funciones de red		
	Frecuencia	Potencia de salida	Máximo alcance	RF Velocidad de datos	Protocolo	Multipunto	Mesh
Xbee ZB	2.4 GHz	1.25/2 mW	120 m	250 kbps	ZigBee		✓
Xbee-Pro ZB	2.4 GHz	63 mW*	3.2 km	250 kbps	ZigBee		✓
Xbee ZB SMT	2.4 GHz	3.1/6.3 mW	1.2 km	250 kbps	ZigBee		✓
Xbee-PRO ZB SMT	2.4 GHz	63 mW	3.2 km	250 kbps	ZigBee		✓
Xbee 802.15.4	2.4 GHz	1 mW	90 m	250 kbps	802.15.4	✓	
Xbee-PRO 802.15.4	2.4 GHz	63 mW*	1.6 km	250 kbps	802.15.4	✓	
Xbee-PRO XSC	900 MHz	100 mW	24 km**	9.6 kbps	Proprietary	✓	
Xbee-PRO 900	900 MHz	50 mW	10 km**	156 kbps	Proprietary	✓	
Xbee-PRO DigiMesh 900	900 MHz	50 mW	10 km**	156 kbps	DigiMesh		✓
Xbee DigiMesh 2.4	2.4 GHz	1 mW	90 m	250 kbps	DigiMesh		✓
Xbee-PRO DigiMesh 2.4	2.4 GHz	63 mW*	1.6 km	250 kbps	DigiMesh		✓
Xbee-PRO 868	868 MHz	500 mW	80 km**	24 kbps	Proprietary	✓	
Xbee Wi-Fi	2.4 GHz	16 dBm	300 m	65 kbps	802.11bgn	✓	
Xbee 865LP	865 MHz	12 dBm	4 km	80 kbps	Proprietary (Multipoint and DigiMesh)	✓	✓
Xbee 868LP	868 MHz	12 dBm	4 km	80 kbps	Proprietary (Multipoint and DigiMesh)	✓	✓

Tabla 2.3 Tabla de Especificaciones de los diferentes módulos Xbee.

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 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.

2.4 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 de 16bits única en toda la red. Por eso el número máximo teórico de elementos que puede haber en una red Zigbee es de $2^{16} = 65535$, que es el nº máximo de direcciones de red que se pueden asignar.

Estos módulos Xbee, pueden ser ajustados para usarse en redes de configuración punto-a-punto (peer-to-peer), punto-a-multipunto. Un ejemplo se muestra en la Figura 2.2, donde se muestra una conexión multipunto, con un coordinador, conectado a varios nodos. Digi tiene 2 series de módulos disponibles. Los módulos Xbee Serie 2 permite hacer redes mesh, La serie 1 no lo permite.

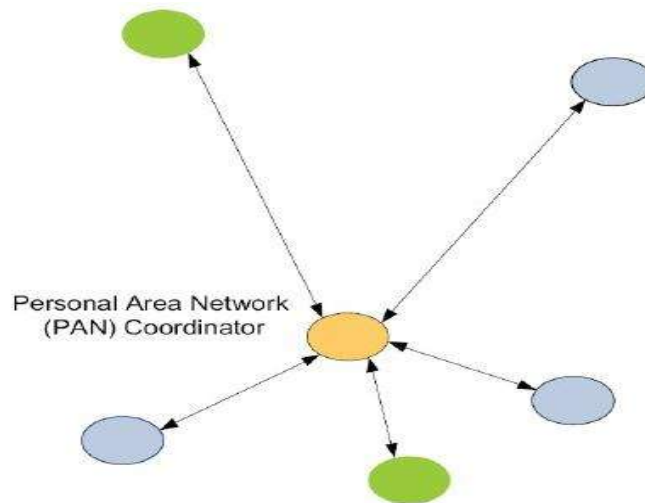


Figura 2.2 Coordinador PAN con múltiples nodos.

En la Figura 2.3 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.

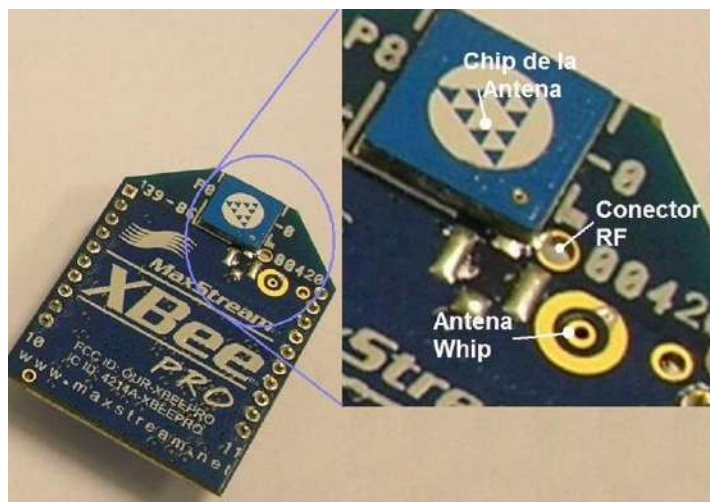


Figura 2.3 Elementos del XBEE

También existen los llamados módulos Xbee PRO de la Serie 1 que se diferencian en la capacidad de alcance, permitiendo en algunos casos duplicar 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.

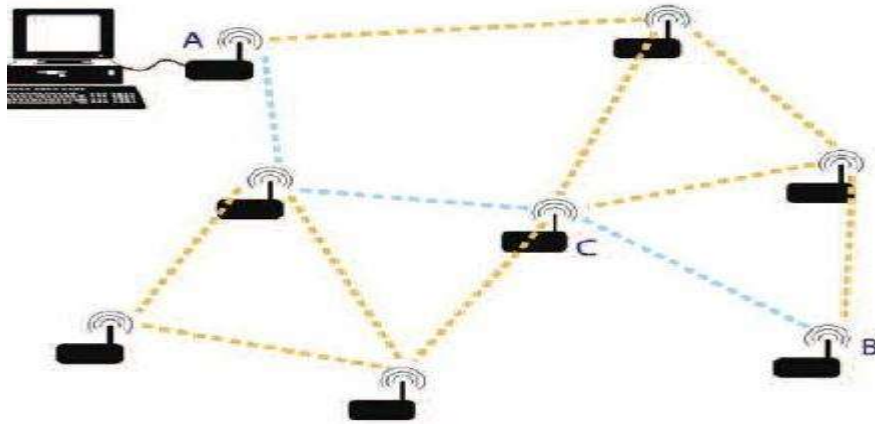


Figura 2.4 Red Mesh para módulos XBEE PRO

La figura 2.4 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 demasiada para que la señal llegue, se utiliza la red MESH para poder alcanzar el extremo, así cada nodo ubicado en medio del camino mostrado en color celeste, funciona como módulo transparente, donde todo lo que le llega es retransmitido hacia el punto "A". Esto funciona así para cada uno de los módulos de la red.

Capítulo 3

Tecnología Xbee.

3.1 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 que se desea para la aplicación requerida por el usuario.

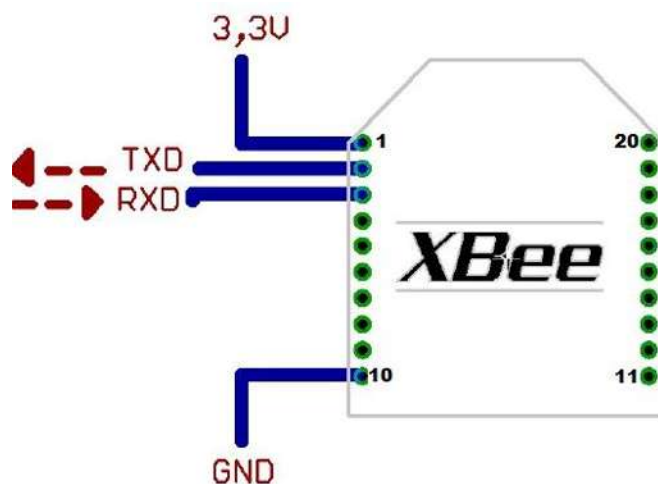


Figura 3.1 Conexiones mínimas requeridas para el Xbee.

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 (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter 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 y CTS), por lo que ésta opción debe estar desactivada en el terminal y en el módulo XBEE. En caso de que se

envíe una gran cantidad de información la capacidad del buffer del módulo se puede desbordar. Para evitar esto existen dos alternativas:

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

3.2 Modos de Operación.

Los módulos Xbee, pueden operar en los 5 modos que se mencionan en la figura 3.2:

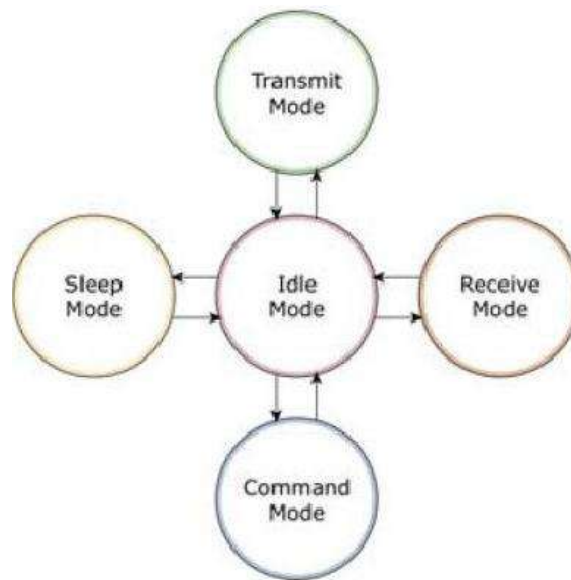


Figura 3.2 Modos de operación del módulo Xbee

3.3 Modo recibir/transmitir.

Se encuentra en estos modos cuando al módulo le llega algún paquete RF a través de la antena (modo Receive) o cuando se manda 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 durante un período de tiempo y es enviada sólo cuando la dirección de destino la solicita. Además es posible enviar información por dos modos. Unicast y Broadcast. Por el primero, 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 por su nombre en inglés acknowledge, acuse de recibo en español, 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. En el modo Broadcast la comunicación se origina en uno de los nodos y se emite hacia todo el resto de los nodos de la red. En este modo, no hay confirmación por ACK.

3.4 Modo de Bajo Consumo (Sleep Mode).

El modo de “sueño” hace posible que el módulo RF entre en un modo de bajo consumo de energía cuando no se encuentra en uso.

Para poder entrar en modo de sueño, se debe cumplir una de las siguientes condiciones:

- Sleep_RQ(pin 9) está en alto y el módulo está en pin sleep mode (SM= 1,2 o 5)
- El módulo ha estado en reposo (no hay transmisión ni recepción de datos) por la cantidad de tiempo definido por ST (Time before Sleep). [ST sólo está activado cuando SM=4,5]

La configuración de los ciclos de sueño se realiza principalmente con el comando SM. Por defecto, los modos de sueño están deshabilitados (SM=0), permaneciendo el módulo en estado de reposo/recepción. En este estado el módulo está siempre preparado para responder a un comando, ya sea por el puerto serial ó la interfaz RF.

3.4.1 Modos de sueño controlado por Pin

3.4.1.1 Pin de Hibernación

Este modo minimiza el consumo de energía cuando el módulo se encuentra en reposo. Este modo se habilita cuando Sleep_RQ (pin 9) está en alto (uno lógico), el módulo completara cualquier transmisión, recepción ó procedimientos de asociación y entrará

en modo de reposo y luego en modo de sueño. En este estado el módulo no responderá a comandos entrantes, ya sea desde la interfaz serial o bien mediante RF. Cuando se baja el estado lógico (cero lógico) de Sleep_RQ (pin 9) el módulo saldrá del modo de sueño y estará listo para recibir o enviar datos.

3.4.1.2 Pin Doze

Este modo funciona de la misma forma que el modo Pin de Hibernación, sin embargo, Pin Doze presenta un tiempo de activación menor y mayor consumo de energía.

Para despertar un módulo operando en modo Pin Doze, se debe bajar Sleep_RQ (pin9) y éste comenzará a transmitir o recibir información cuando la línea CTS este en cero lógico.

3.4.2 Modos de sueño cíclicos

3.4.2.1 Sueño cíclico remoto (SM = 4)

El modo de sueño cíclico remoto permite que el módulo revise los datos por la interfaz RF periódicamente. Cuando el parámetro SM se pone a 4, el módulo se configura para efectuar ciclos de sueño, luego, despierta una vez por ciclo para revisar si existen datos en el coordinador de sueño de la red (SM = 0, CE = 1). El módulo remoto envía esta solicitud al coordinador con intervalos de tiempo determinados por el parámetro ST (Periodo de dormido). El coordinador transmitirá los datos que se puedan encontrar en su buffer de salida al módulo remoto una vez recibida la solicitud de datos.

En el caso que el coordinador no tenga datos para ser enviados al módulo que realiza la solicitud, el primero no transmitirá y el segundo retornará a su estado de sueño. Si existen datos para ser enviados al módulo solicitante, el coordinador se quedará despierto y transmitiendo hasta que el Timer ST (Tiempo antes de dormir) se complete.

3.4.2.2 Sueño cíclico remoto y Pin para despertar (SM = 5)

Este modo se utiliza para despertar un módulo remoto, ya sea por la interfaz RF ó al poner en estado bajo el pin Sleep_RQ utilizado para comunicación orientada a eventos. El sueño cíclico funciona de la misma forma que el modo de sueño cíclico remoto con la funcionalidad extra de poder despertar el módulo utilizando un pin.

Cualquier actividad limpiará la cuenta de ST (Tiempo antes de dormir), de esta manera el módulo sólo volverá a dormir luego que no exista alguna actividad durante el periodo de ST. Si el módulo despierta por cambios en el pin Sleep_RQ, los cambios posteriores serán ignorados durante su funcionamiento.

3.4.2.3 Coordinador de sueño

Este modo configura al módulo para funcionar como coordinador de sueño. El coordinador acepta mensajes de un módulo específico con direcciones de 16 o 64 bit y los mantiene en su buffer interno hasta que los módulos remotos despiertan y solicitan datos al coordinador. El parámetro SP del coordinador debe ser puesto con el mismo valor que los módulos remotos, para que se pueda producir la comunicación entre los ciclos de sueño.

3.4.3 Tabla de Resumen modo sleep

A continuación se presenta una tabla que resume los modos de operación, consumos, voltajes y condiciones para entrar en modo de bajo consumo.

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 3.1 Modo Sleep y consumos de corriente.

3.5 Modo de Comando.

Este modo permite ingresar comandos AT al módulo Xbee, para configurar, ajustar ó modificar parámetros. En este modo es posible 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 programa Hyperterminal de Windows, el programa X-CTU 3 ó 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=0x3E84 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 3.3 Ejemplo Comando AT.

En la Figura 3.3 se observa 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 se 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:

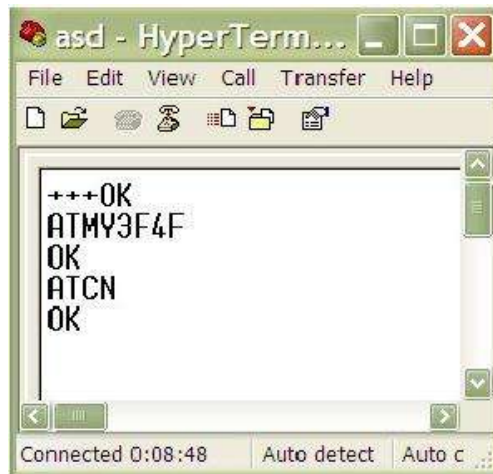


Figura 3.4 Ejemplo escritura de parámetros en la Hyperterminal

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 ó carácter <CR><LF> (Carriage 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 desconectará automáticamente del modo AT. Para que los cambios realizados tengan efecto se debe ingresar 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 ó CN.

Para consultar por algún comando se ingresa el comando directamente sin ningún parámetro, en el ejemplo anterior se ingresaría ATMY. La siguiente figura 3.5 muestra lo citado:

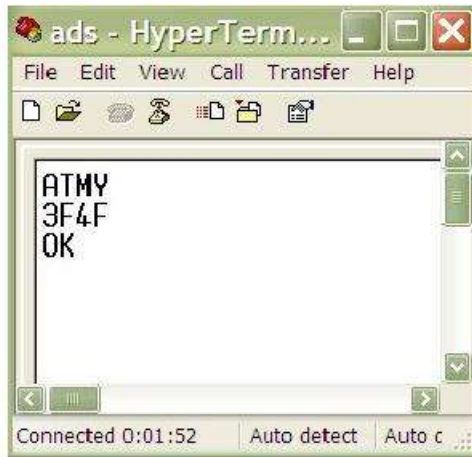


Figura 3.5 Ejemplo lectura de parámetros.

Se observa que se ingresa ATMY, donde el 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 entre sí por una coma (','). Esto se muestra a continuación de las dos formas:

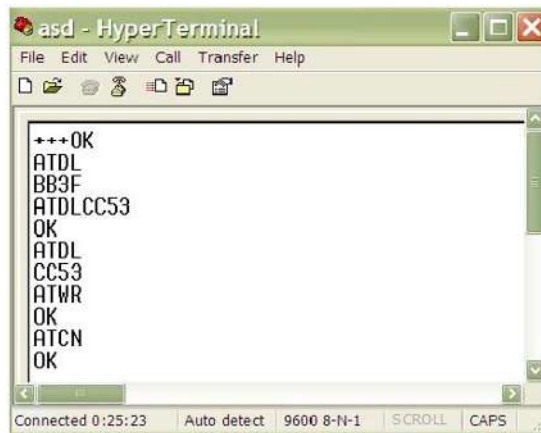


Figura 3.6 Forma normal de emisión de comandos.

En la figura 3.6 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 3.7:

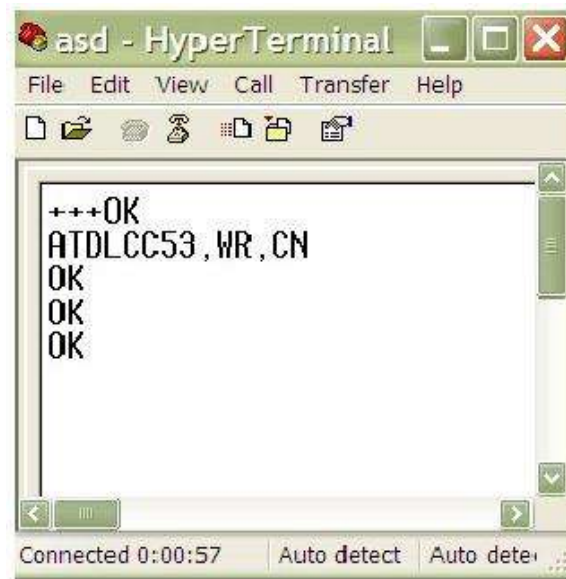


Figura 3.7 Forma abreviada de introducción de comandos.

Se observa que luego de ingresar al modo de comandos, se introduce ATDLCC35,WR,CN que indica que se emitirán 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.

3.6 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 programado 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 cuando se acumulan más de 100 bytes de información.

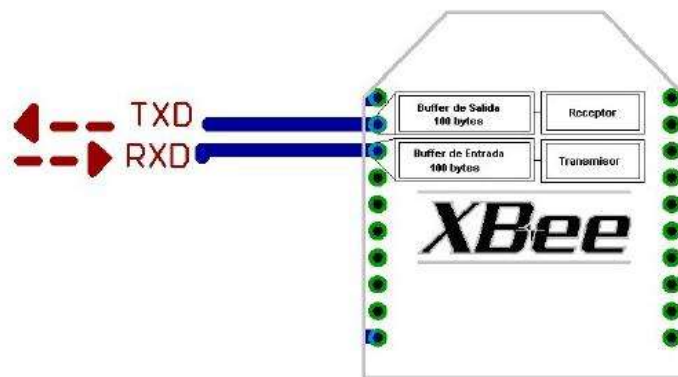


Figura 3.8 Correspondencia de Buffer.

3.7 Modo de operación API

Este modo es más complejo, pero permite el uso de frames con cabeceras que aseguran la entrega 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 ó 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, Associate, 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 al cliente que envía los datos. 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.

Idle

Cuando el módulo no 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.

3.8 Configuración del Módulo XBEE.

En esta sección se explicarán los tipos de redes que soporta el módulo XBee, así como las configuraciones necesarias. 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).

3.8.1 Direccionamiento de los módulos

Los módulos permiten 2 tipos de direccionamiento. El de 16 bit y el de 64 bits. La principal diferencia es que en el 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. Es a través de estas direcciones que los módulos se comunican entre sí.

3.8.2 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 como valores de MY solamente como bits de habilitación). 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.

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.

3.8.3 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, se asigna en la 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 usan 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 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 64bits.

Para el direccionamiento de 64 bit, se debe dejar MY como 0xFFFF (ATMYFFFF) o 0xFFFE (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), recibándose como respuesta los números seriales en formato hexadecimal.

3.8.4 Modo de Conexión Transparente.

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

3.8.5 Modo de Conexión 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 que se define 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 Acknowledge) que indica que el mensaje se recibió correctamente.

En la figura 3.9 se muestra un pequeño ejemplo donde las direcciones se eligieron arbitrariamente:

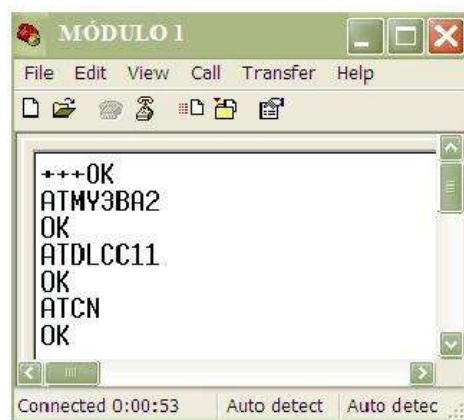


Figura 3.9 Configuración del modulo 1.

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 indicado en la figura 3.10:



Figura 3.10 Configuración del 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 Figura 3.11 muestra un ejemplo gráfico de lo anterior.

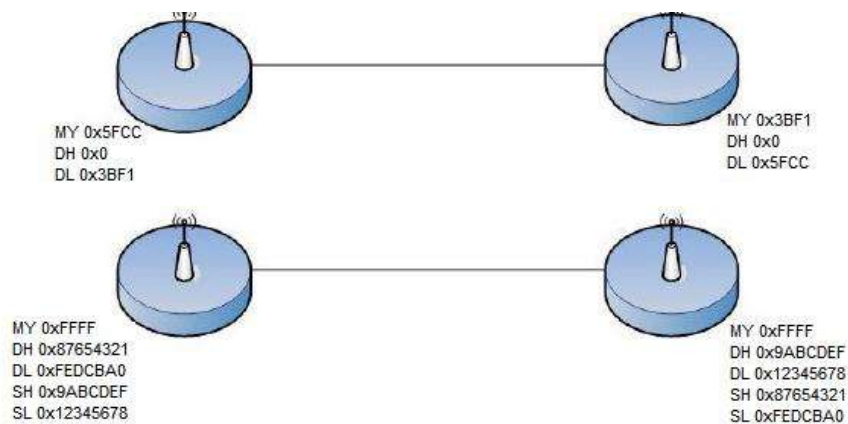


Figura 3.11 Ejemplo direccionamiento 16 y 64 bit

En la figura 3.11 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 Red de Área Personal y al mismo canal. Más adelante se explica cómo configurar la PAN ID y el Canal.

3.8.6 Modo de Conexión 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 ó 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 además de MY y DL. Se utilizará el direccionamiento de 16 bits.

El primer comando es el ID de la PAN. 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 efectuar la comunicación. Según la Figura 3.12, se dispone de 16 canales según el protocolo IEEE 802.15.4. Esta norma indica que entre cada canal deben existir 5 MHz de diferencia, partiendo de la frecuencia base 2.405 GHz se llega hasta los 2.480 GHz.

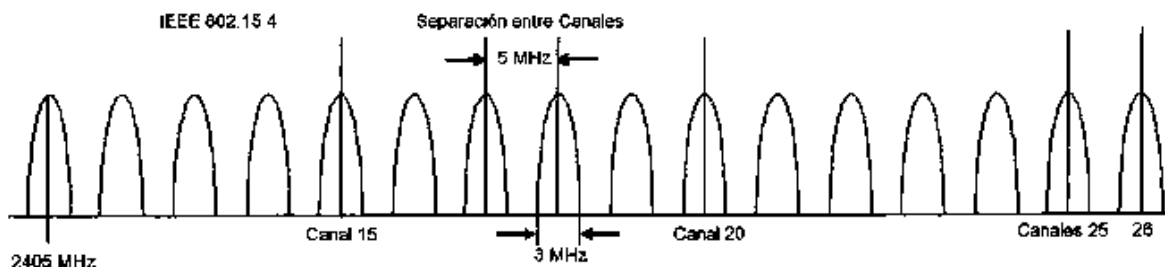


Figura 3.12 Canales disponibles para el protocolo IEEE 802.15.4

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) 0.005 [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
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
16	0x10	2.4275	2.4300	2.4325	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 3.2 Canales de Frecuencia 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 multipunto. La red se vería como:

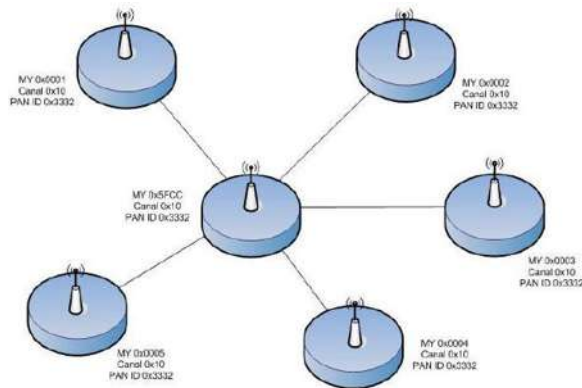


Figura 3.13 Configuración punto-a-multipunto.

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 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.

3.8.7 Broadcast

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

La dirección de Broadcast es:

- DL=0x0000FFFF
- DH=0x00000000

Esta dirección debe ser configurada en todos los nodos de la red, ya sea que estén en direccionamiento de 16 o 64 bits. Así se debe ingresar ATDH0 y ATDL0000FFFF en todos los módulos para que el modo broadcast esté habilitado. La siguiente figura muestra una red de Broadcast:

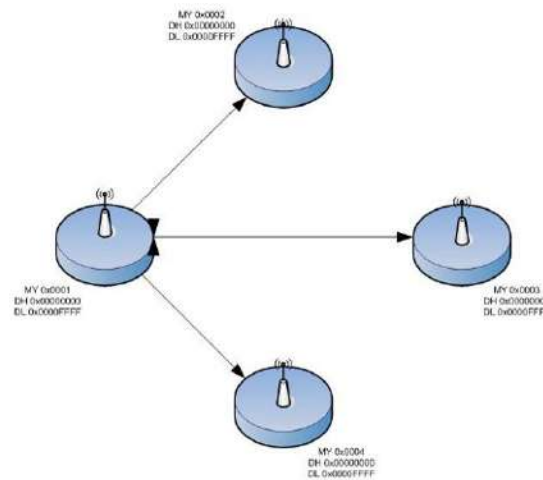


Figura 3.14 Red de Broadcast.

Se observa en la figura 3.14 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.

3.8.8 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 configuraciones complicadas. El esquemático de los pines se muestra en la siguiente figura:

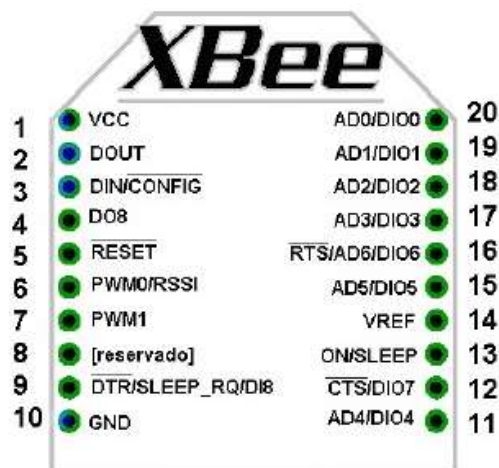


Figura 3.15 Diagrama de pines del módulo Xbee. Vista Superior.

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 2), 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 ó I/O están asociados entre sí, es decir, vienen en pares; es por ello que 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, asignada 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
Dn (con n entre 0 y 8)	0	Deshabilitado
	1	(se verá luego)
	2	ADC (excepto 7 y 8)
	3	Entrada Digital
	4	Salida Digital 'L' (LOW)
	5	Salida Digital 'H' (HIGH)
Pn (con n entre 0 y 1)	0	Deshabilitado
	1	RSSI
	2	PWM
IR	0x0 – 0xFFFF (se multiplica por 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.
IT	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.
IA	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=0xFFFFFFFFFFFFFFFF 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 3.3 Comandos para configurar el 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 solamente, 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	UI	1
IT	5	IA	0x1234 (0xFFFF)

Tabla 3.4 Ejemplo de 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 requiere 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 (ATIU1), 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:

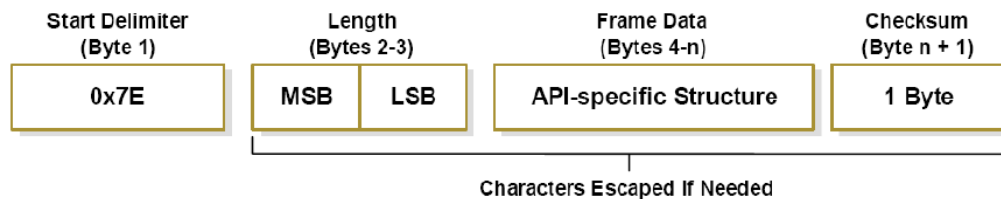


Figura 3.16 Formato del Frame para Cable Virtual.

El primer byte 0x7E indica el comienzo del frame. Los dos bytes siguientes indican el largo solamente de datos del marco (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:

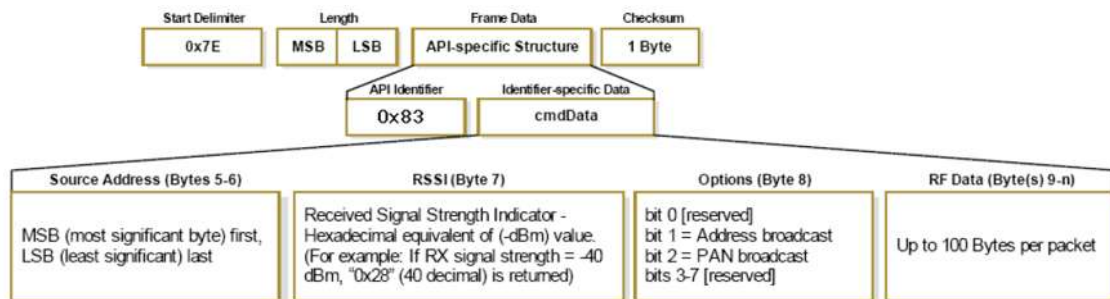


Figura 3.17 Estructura del Frame para Cable Virtual. Ocupando Direccionamiento de 16 bit.

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 longitud, corresponden a los datos obtenidos del modo Cable Virtual provenientes de otro módulo.

3.8.9 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 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 están siempre en modo SLEEP, y envían señales de su existencia (llamadas Beacon) cada cierto intervalo al resto de la red. Así todos los dispositivos deben estar perfectamente organizados para poder comunicarse, ya que de no ser así, existe la posibilidad de pérdida de 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).

3.8.10 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 mejor 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, la cual 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). Todo dispositivo en una PAN tiene un mismo identificador llamado ID (ATID).

Se observa en la figura 3.18 que existen tres redes PAN, las que 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, el canal y el 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 tabla 3.5 indica el nombre de cada bit y su configuración dado cierto valor.

La configuración por defecto es 0x06 (0110 binario), donde el bit N°0, corresponde al último dígito en la extrema derecha.

N°	bit number	valor	Configuración Dispositivo Terminal usando A1
0	ReassignPanID	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.
1	ReassignChannel	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.
2	AutoAssociate	0	El dispositivo no intentará asociarse.
		1	El dispositivo intentará asociarse hasta que tenga éxito.
3	PollCoordOnPinWake	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 3.5 Configuración Dispositivo Terminal. Comando A1

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 3.6 Configuración Coordinador. Comando A2.

3.8.11 Conexión API

Esta conexión agrega información extra a los paquetes de datos RF. Estos ya no son enviados de forma transparente, sino que cada paquete de datos se almacena 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:

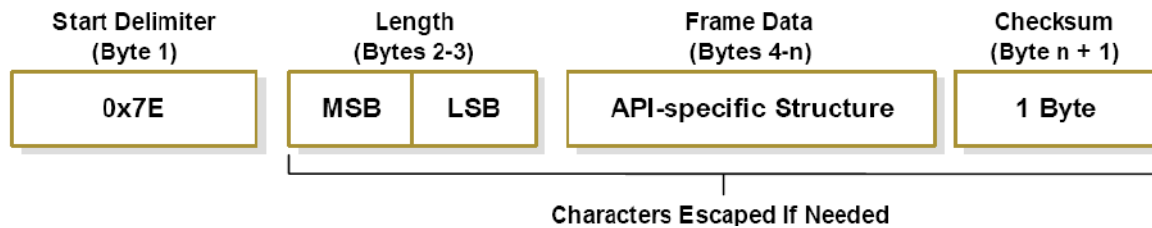


Figura 3.19 Estructura del Frame del modo API.

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 byte 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, está la opción 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.

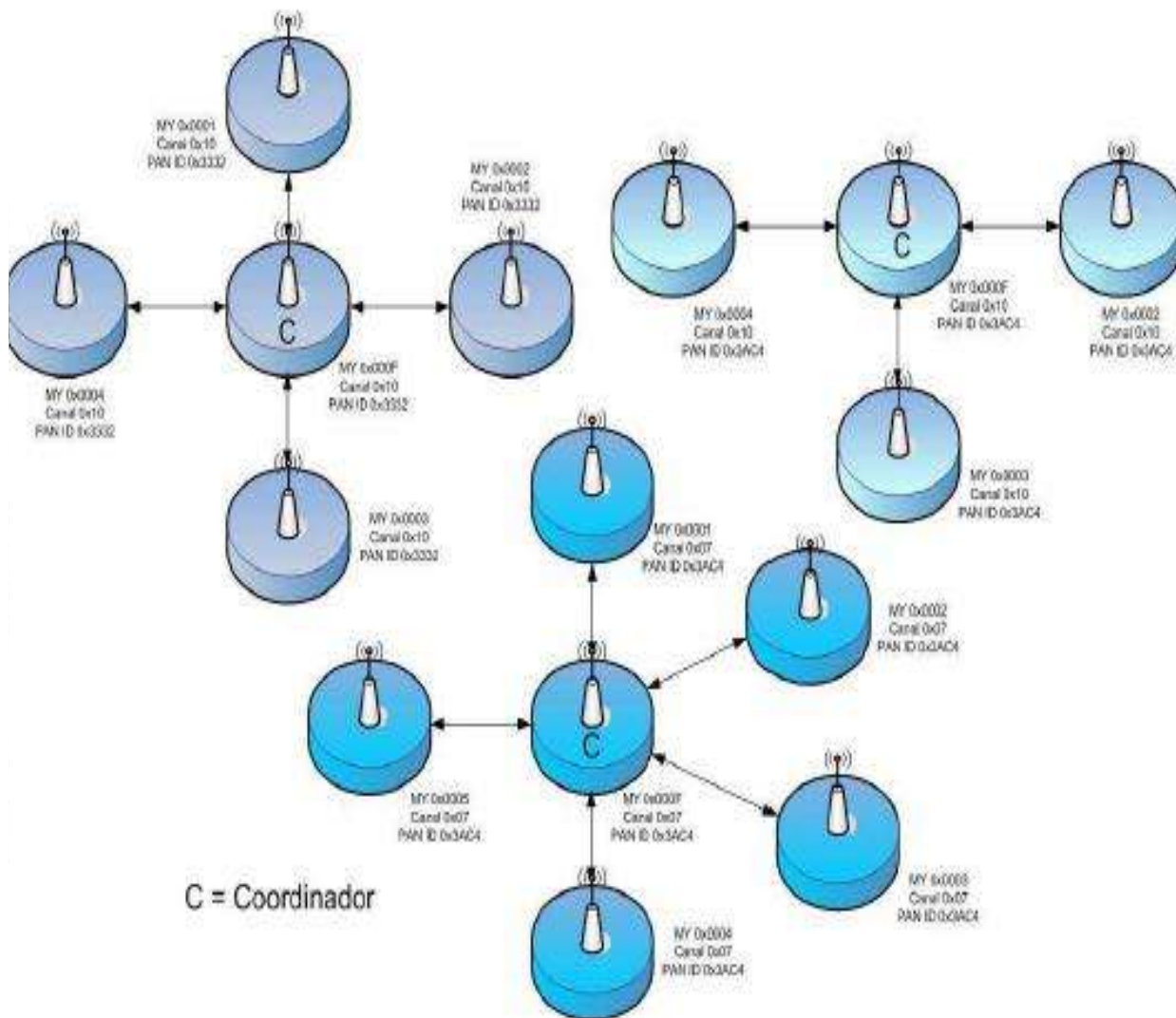


Figura 3.18 Ejemplo varias redes PAN NonBeacon con Coordinador.

Capítulo 4

Diseño y Construcción del Sistema.

4.1 X-CTU software para programar módulos Xbee.

Si bien es cierto que es posible utilizar Hyperterminal de Windows para configurar un módulo XBEE, existe un programa llamado X-CTU, el cual permite realizar esta operación de manera más natural, fácil y rápida.

El ejecutable se puede encontrar en la página oficial de XBEE. El manual de configuración e instalación de drivers se encuentran en el siguiente archivo pdf de la pagina de soporte técnico de la empresa Digi.

http://ftp1.digi.com/support/documentation/90001003_A.pdf

Cuando se corre el programa se verá lo siguiente:

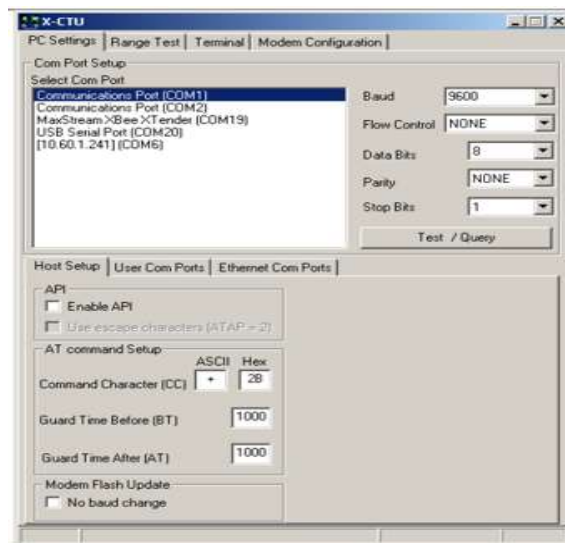


Figura 4.1 Pestaña PC Settings.

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, tales como el símbolo elegido para salir del modo de comandos, que por defecto corresponde al signo + (2B en hexadecimal).

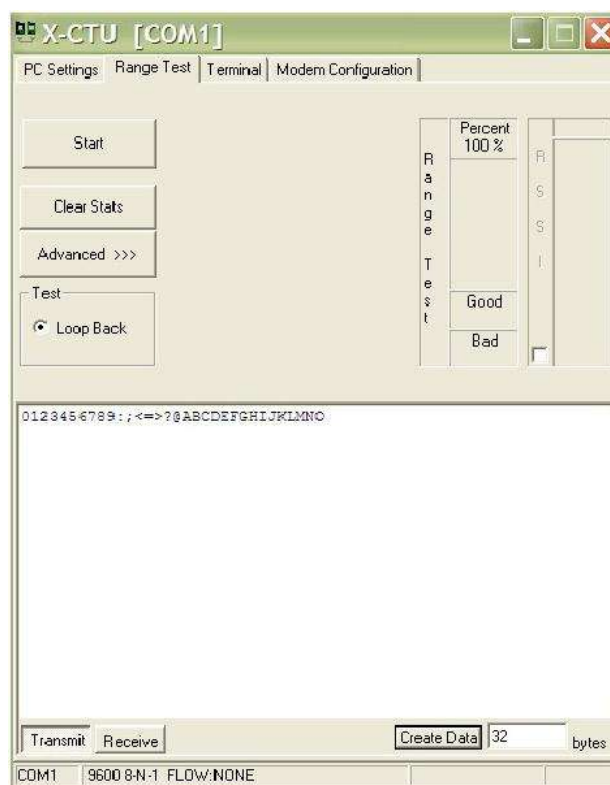


Figura 4.2 Pestaña Range Test.

En la pestaña Range Test, se dispone de una opción que permite 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 cuáles datos llegan correctamente y cuáles no. A partir de esa estadística se puede determinar el rango o alcance de la señal.

En la opción de Terminal, el funcionamiento es idéntico al de una Hyperterminal. Todo lo escrito aquí, entra directamente al módulo como si estuviera en el modo de comandos.



Figura 4.3 Pestaña Terminal.



Figura 4.4 Pestaña modem Configuration.

La pestaña de MODEM Configuration véase la figura 4.4, permite leer, guardar o cargar cierta configuración predeterminada. Permite ver cómo está configurado cada módem, cambiar alguna característica para luego guardarla, o bien, cargarla de una previamente guardada.

4.2 Instalación XBEE EXPLORER

La placa XBEE EXPLORER se conecta por medio del puerto USB. Para ello se utiliza un conector Mini USB el cual luego se conecta al PC. Por medio de este puerto logra la alimentación necesaria para alimentar el módem XBEE.

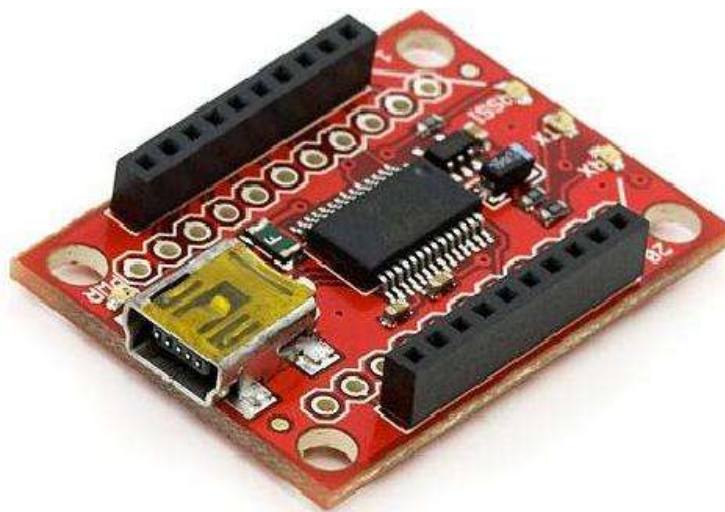


Figura 4.5 Placa Xbee Explorer modulo para programar los Xbee de la serie 1 y 2

Para que esta placa pueda funcionar, es necesario instalar unos driver llamados VCP (Virtual COM Port), que modifican el USB para simular que el XBEE está conectado a un puerto serial. Éstos se pueden encontrar en FTDI Chip (<http://www.ftdichip.com/FTDrivers.htm>).

Conecte la placa XBEE EXPLORER al puerto USB, y aparecerá una ventana para instalar los driver. Indique la localización de los drivers descargados anteriormente e instálelos a su sistema operativo. El archivo para Windows XP es CDM 2.04.06 WHQL Certified.zip. Descomprima en alguna carpeta y luego instale el driver según indiquen las instrucciones de las ventanas que aparezcan. En caso de no aparecer nada ó si se

presenta algún error, debe instalar los drivers manualmente. Para ello diríjase al Panel de Control>Sistema. En la pestaña Hardware presione el botón Device Manager. En Universal Serial Bus controller, aparecerá algún puerto USB con un símbolo de interrogación en amarillo. Haga click derecho y presione Update Driver. Siga las instrucciones indicando la ubicación de los archivos descargados. Luego cada vez que conecte el módem utilizando el XBEE EXPLORER, aparecerá una ventana que preguntará por un archivo llamado ftlang.dll. Indíquele donde se encuentra (dentro de la carpeta del archivo descargado de los drivers) y presione el botón de comando ACEPTAR.

Por defecto el driver asigna el menor puerto disponible. Para cambiarlo, se debe ir a Panel de control>Sistema 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 se debe de hacer click en la pestaña Port Settings y luego, en el botón Avanzado. En la ventana que aparezca es posible elegir algún otro puerto, siempre y cuando no esté en uso.

Para comprobar la correcta instalación del dispositivo, 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 figura 4.6, donde el puerto USB corresponde al puerto COM 31.

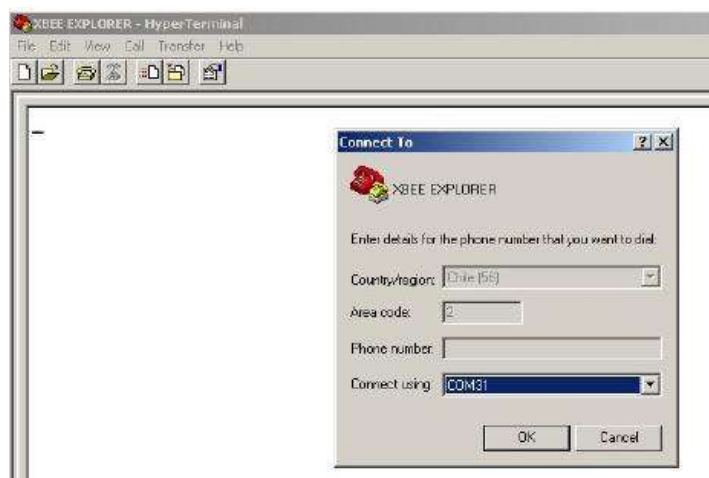


Figura 4.6 XBEE EXPLORER conectado en el puerto COM 31.

A continuación se preguntara por la velocidad de conexión. Se debe elegir la de 9600 baudios, que es la que viene por defecto en los módulos. En el campo data bits se coloca el valor de 8, en Parity (paridad) se coloca none (ninguno) ,Stop bits (bits de parada) se coloca en 1 y finalmente en flow control (control de flujo) se selecciona hardware. Luego en el hyperterminal no presione nada por un segundo, presione +++, después espere por un segundo. Si la conexión está bien, aparecerá un OK y todo estará listo para configurar los módem.

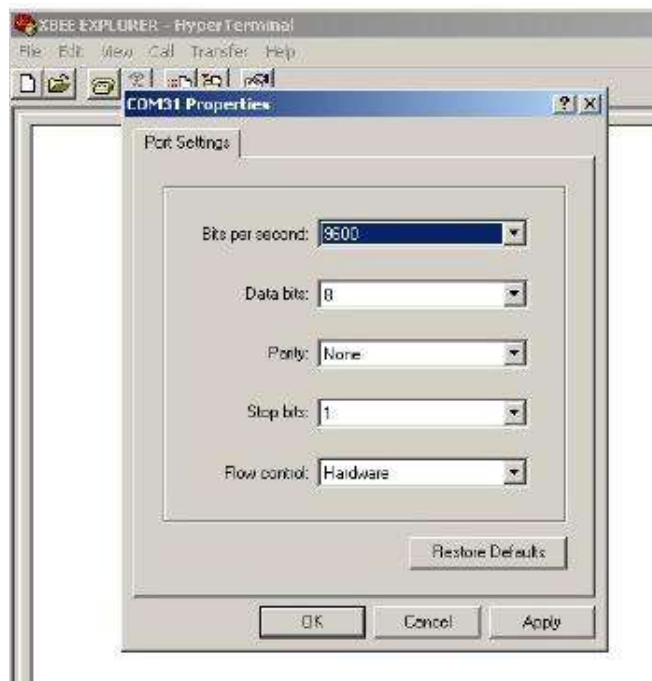


Figura 4.7 Configuración de conexión.

4.3 Lectura I/O Digitales y Analógicas.

La siguiente tabla muestra cómo leer las entradas y salidas de los pines, ya sea que éstas se configuren como digitales o como analógicas. Se sabe que se tienen 9 I/O ó GPIO las cuales pueden ser usadas como salida digital (entregan valores digitales 0-LOW ó 1-HIGH), o entrada digital (obtiene valores digitales 0-LOW ó 1-HIGH) o solo 7 de ellas como conversor ADC (convertidor analógico al digital), ya que otras 2 son PWM. Para elegir entre una u otra se configura según la siguiente tabla:

Configuración I/O			
N° de pin	Nombre del pin	Digital ó ADC	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/DIO 6	Digital y ADC	ATD6
12	DIO7	Sólo Digital	ATD7
9	DI8	Sólo entrada Digital	ATD8

Tabla 4.1 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. Es oportuno señalar 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 4.2 Ejemplo Configuración para DIO 2.

4.4 Utilización del PWM.

Existe un comando que permite la generación de un PWM. El módulo posee dos 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. El ciclo de trabajo siempre es de 64µseg 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). De este modo si M0=0 (0% duty cycle), si M0=0x1FF (50% duty cycle) y si M0=0x3FF (100% duty cycle).

4.5 PRUEBA ECO.

Para esta prueba se necesitarán 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 esta prueba es configurar una conexión para que los módulos se enlacen, es decir, todo lo que se envía desde uno, aparecerá en el otro. Pero además, a uno de ellos se le conectarán entre sí los pines DIN y DOUT propios. Esto creará un efecto ECO, lo que provocará que el módem que no tiene el ECO cuando mande algún dato al otro módem receptor, este último, lo reenviará al dato de vuelta. Así, en el módem principal se creará un efecto de que todo lo que se envía aparece de nuevo en la pantalla.

4.5.1 Prueba ECO Usando Hyperterminal

Para abrir el Hyperterminal siga en Windows la ruta Inicio->Programas->Accesorios->Comunicaciones. Enseguida se crea una nueva conexión utilizando el puerto al cual se encuentra el módulo. En este caso se usó el puerto 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.

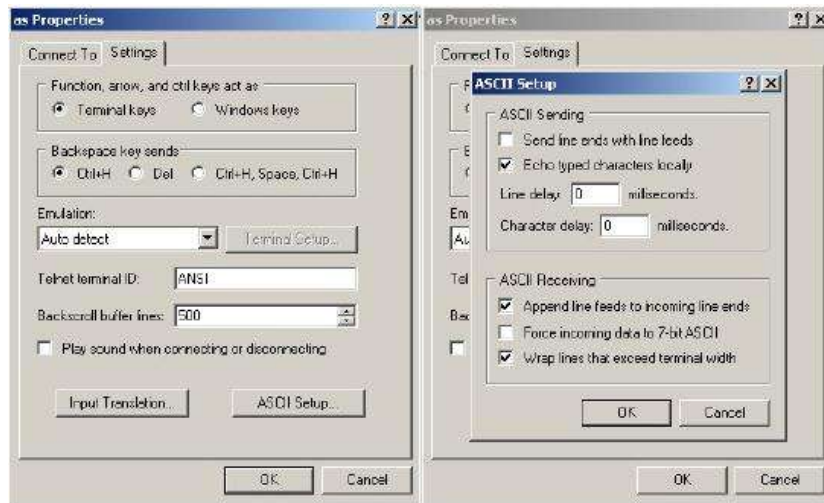


Figura 4.8 Configuración de la Hyperterminal.

Posteriormente se ingresan los comandos que se observan en la figura 4.9:

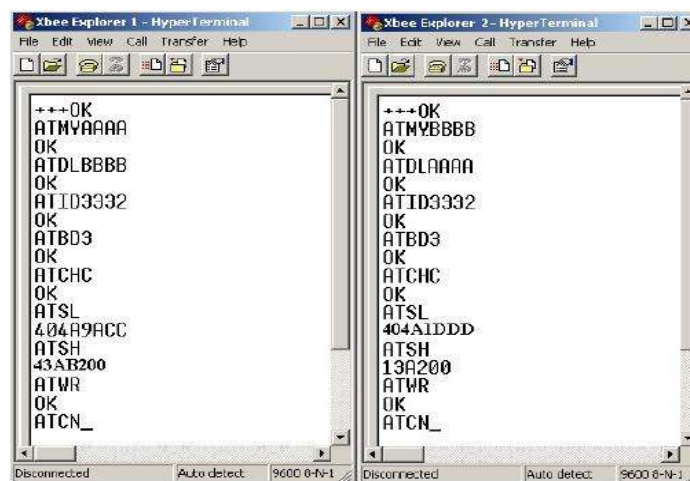


Figura 4.9 Comandos AT por Hyperterminal.

Se parte con el signo +++ que indica el ingreso al modo de comandos. El Hyperterminal llamado Xbee Explorer 2, será el que posea el eco 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 tiene un ritmo 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 antes como valores por defecto. La dirección del módulo 2 quedó como

MY=0xB BBB, mientras que la de destino es DL=0xAAAA. Para el módulo 1, esto último a la inversa. 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 ECO. Esto hará que todo lo que se escriba en un módem se devolverá y aparecerá en la pantalla de vuelta.

4.5.2 Prueba ECO Usando X-CTU

La ventaja de usar este programa, es la facilidad 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 ventana en la figura 4.10 con la información del modelo del módem XBEE que se usa y la versión del Firmware.

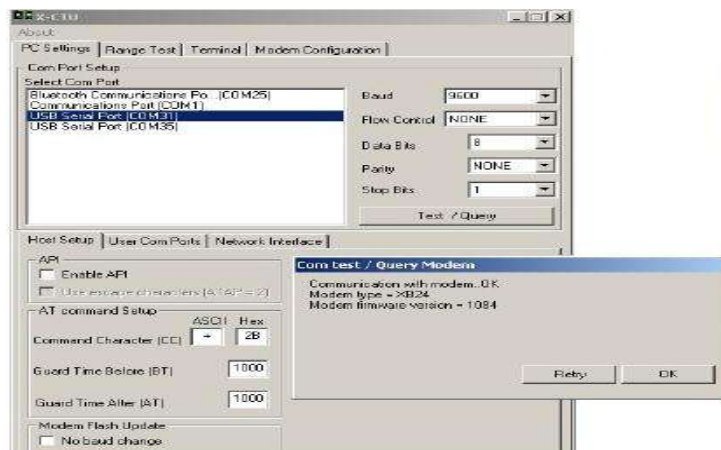


Figura 4.10 Prueba para verificar la conexión.

Luego en la pestaña Terminal, es posible realizar cambios tal y como aparecen en la hyperterminal. La figura 4.11 muestra unos cuantos comandos escritos.

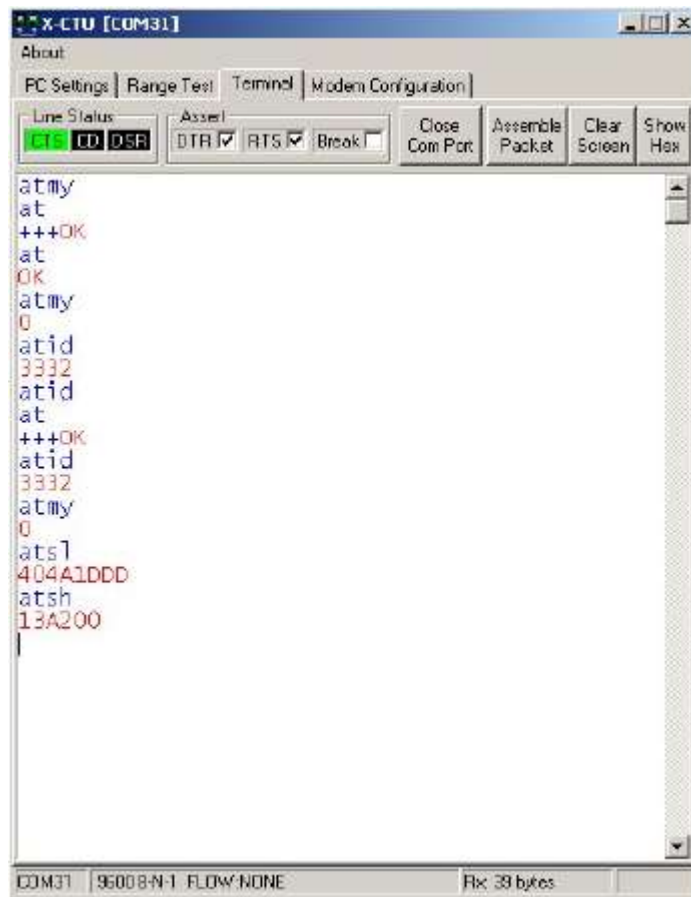


Figura 4.11 Pestaña Terminal de X-CTU.

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 teclea +++ 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 y 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.

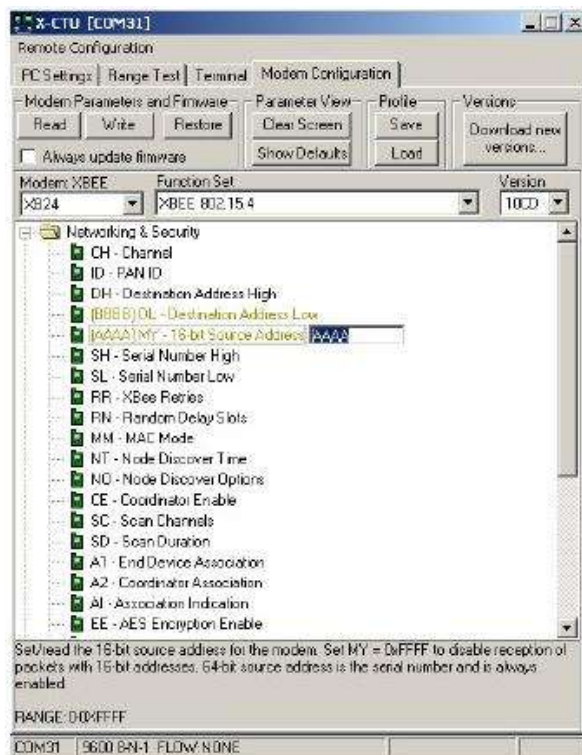


Figura 4.12 Modem Configuration.

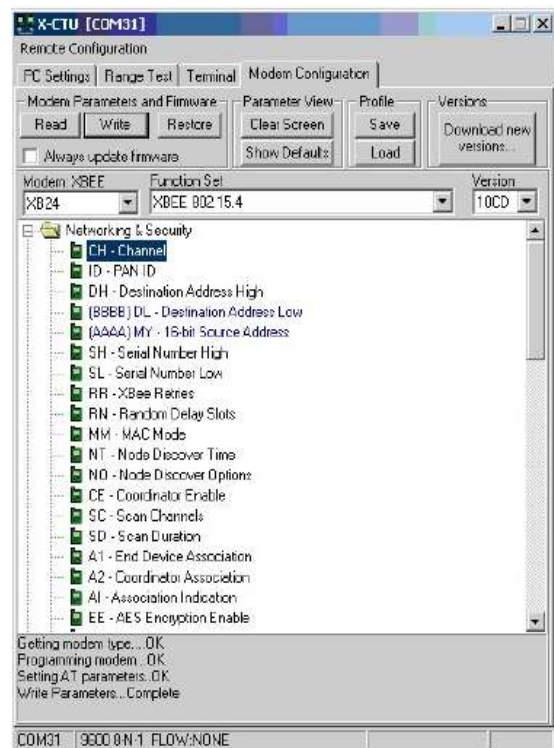


Figura 4.13 Proceso completo.

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 en la figura 4.12, donde aparece una barra que indica el proceso. Una vez terminado lo anterior, aparecerán los valores modificados en color azul lo que indicara que está listo, como se muestra en la figura 4.13.

4.6 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 código mostrado en la figura 4.14:

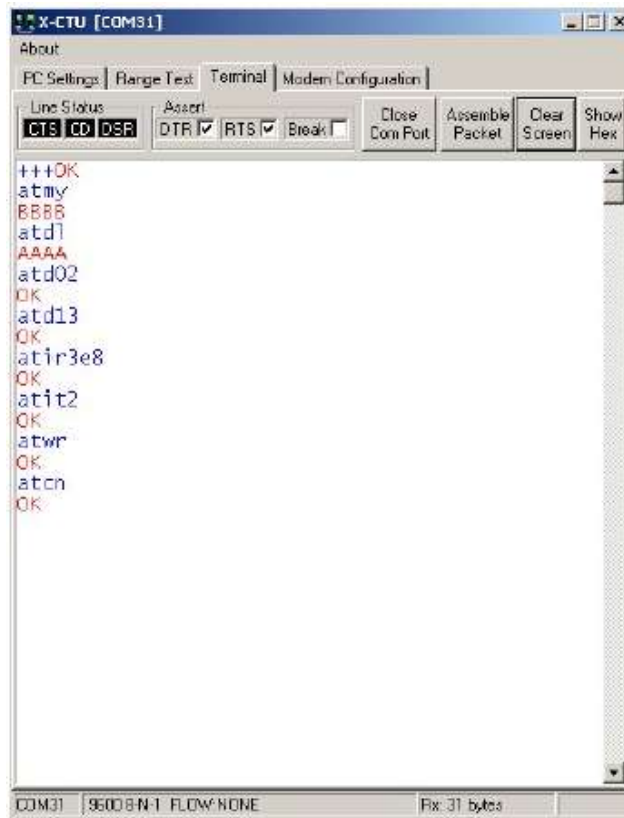


Figura 4.14 Configuración Cable virtual para el módulo 1.

Se observa que se asignó la dirección MY=0xB BBBB al módulo 1, de destino DL=0xB BBBB y DIO-0 como ADC con D0=2 y DIO-1 como entrada digital con D1=3.

Además se configuró el periodo 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, se configura el módulo como se muestra en la figura 4.15 con dirección MY=0xA AAAA y destino DL=0xB BBBB. 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 BBBB, dirección que corresponde al módulo 1. Al final se graba y se aplican los cambios ó 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.



Figura 4.15 Configuración Cable virtual para el 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 3.4, se obtiene lo siguiente en el programa X-CTU:

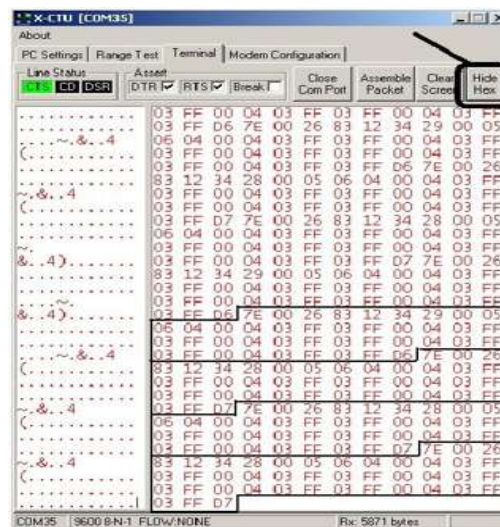


Figura 4-16 Ejemplo Cable Virtual.

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 4.16 se marcaron los bloques de datos que llegan. Se debe recordar del ejemplo, que se

muestran 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	Mascara De Canal	Estado Líneas Digitales	Valor Primer Conversor	Valor Segundo Conversor

Tabla 4.3 Esquema del Frame de Datos.

En el frame de datos anterior, se repiten cinco veces los últimos 6 bytes. 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 el valor 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 cuáles 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							DI0		

Tabla 4.4 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, las dos lecturas medidas tienen el mismo valor, 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 4.5 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 ó bit más significativos.								LSB ó bit menos significativos.							
-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 4.6 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 hay valores para los bit 11 hasta el 15.

4.7 Configuración modos de bajo consumo

A continuación se presentan ejemplos de configuración de los ciclos de sueño para un módulo XBee.

4.7.1 Modo sleep con SM=4

Comandos AT:

```
ATSM4           // SM = 4
ATST 0x000B     // ST queda configurado con 11 [ms]
ATSP 0x0004     // SP queda configurado con 4*10[ms] = 40[ms]
```

Con SM=4, el módulo permanece en modo sleep o dormido durante el tiempo SP y revisa si se tienen datos provenientes desde el coordinador durante el tiempo ST. Este ciclo se repite en el tiempo.

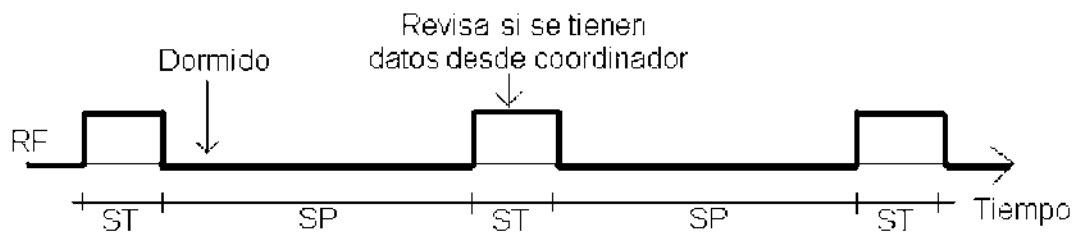


Figura 4.17 Diagramas de tiempos para SM=4.

4.7.2 Modo Sleep con SM=5

Comandos AT:

```
ATSM5           // SM = 5
ATST 0x000B     // ST queda configurado con 11 [ms]
ATSP 0x0004     // SP queda configurado con 4*10[ms] = 40[ms]
```

Con SM=5, el módulo realizará el mismo ciclo anterior pero solo despertará si SLEEP_RQ (pin 9) pasa a LOW, y permanecerá en modo sleep si este pin se encuentra en HIGH.

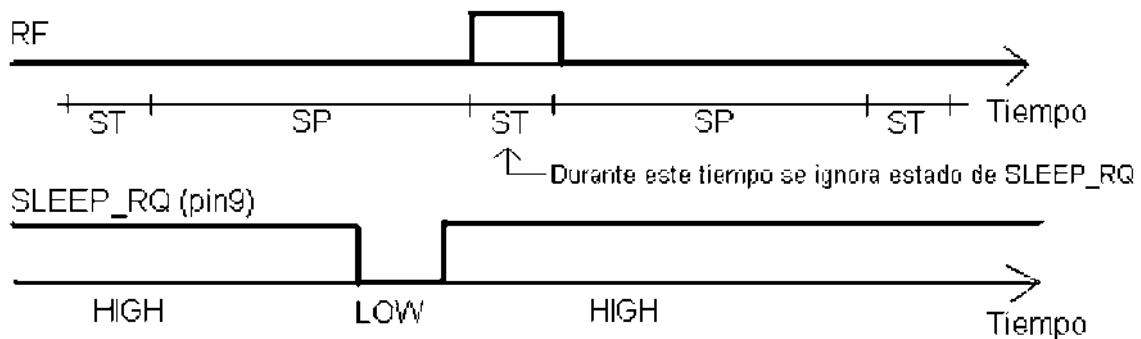


Figura 4.18 Diagramas de tiempos para SM=5

4.7.3 Modo Sleep con SM=1

Comandos AT:

ATSM1

Con SM=1, El módulo RF solo revisa si existen datos provenientes desde el coordinador cuando el estado de SLEEP_RQ es LOW. Si el estado es HIGH el módulo RF permanecerá en hibernación.

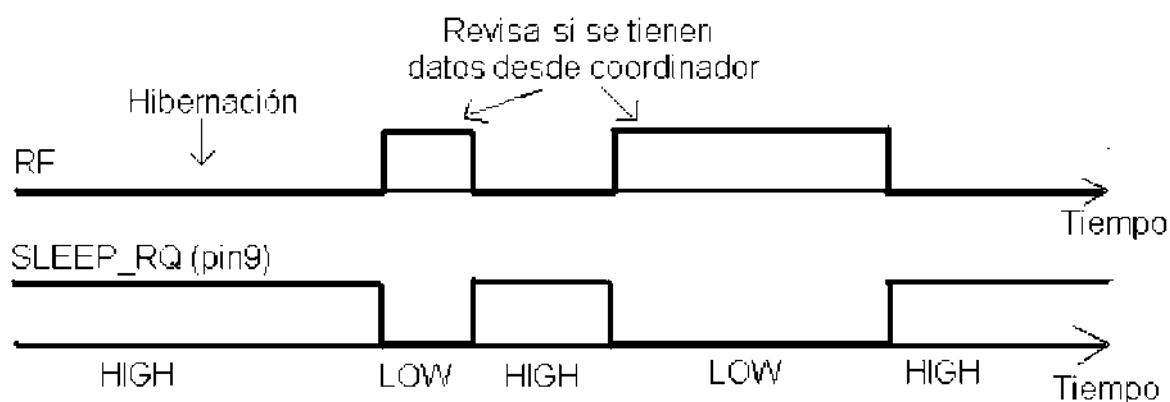


Figura 4.19 Diagramas de tiempos para SM=1

En la tabla 4.7 se muestra un resumen de los comandos AT más importantes y que varios de ellos se utilizaron para las pruebas realizadas.

Comando AT	Rango	Descripción
A1	0-0x0F	Describe el modo de Asociación de un módulo. Utilizado como Dispositivo Terminal (CE=0). Defecto=0.
A2	0-0x0F	Describe el modo de Asociación de un módulo utilizado como Coordinador (CE=1). Defecto=0.
AC	-	Aplica los cambios realizados explícitamente en la configuración.
AP	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.

Comando AT	Rango	Descripción
BD	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
CC	0-0xFF	Establece el carácter de secuencia a ser usado entre tiempos de esperas para entrar al modo de comandos. Defecto=0x2B (carácter ASCII +)
CH	0-0x0B – 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.
CE	0-1	Indica el comportamiento del módulo. Defecto=0. 0 Dispositivo Terminal. 1 Coordinador.
CN	-	Salte del modo de Comando.
D0-D4	0-5	Ajusta la configuración de los pines I/O. 0 Deshabilitado. 1 – 2 ADC. 3 Entrada Digital. 4 Salida Digital LOW.
D5	0-5	Mismas funciones que D0 - D4, exceptuando lo siguiente: 1 Indicador de Asociación.
D6	0-5	Mismas funciones que D0 - D4, exceptuando lo siguiente: 1 Control de Flujo RTS. 2 No tiene conversor ADC
D7	0-5	Mismas funciones que D0 - D4, exceptuando lo siguiente: 1 Control de Flujo CTS. 2 No tiene conversor ADC
D8	Sólo 0 y 3	Ajusta la configuración del pin DI-8 (pin 9). 0 Deshabilitado. 3 Entrada Digital
DB	0x17- 0x5C (x1dBm)	Lee la potencia de la señal del módulo del cual provino el último paquete RF recibido
DL	0 - 0xFFFFFFFF	Ajusta los 32 bits menos significativos para direccionamiento. Defecto = 0.
DH	0 - 0xFFFFFFFF	Ajusta los 32 bits más significativos para direccionamiento. Defecto = 0.
GT	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.

Comando AT	Rango	Descripción
IA	0-0xFFFFFFFFFFFFFFFF	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.)
ID	0 - 0xFFFF	Ajusta la dirección PAN del módulo. Defecto =0x3332
IR	0 - 0xFFFF (x1 ms)	Ajusta la tasa de muestreo de los pines I/O. Defecto = 0.
IS	1 - 0xFF	Fuerza 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).
IT	1 - 0xFF	Número de muestras DIO y ADC que se deben esperar, antes de transmitir. Defecto = 1.
IO	8 bits	Ajusta los niveles de las salidas digitales. Cada bit representa el nivel de los pines I/O configurados como salida.
M0-M1	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
MY	0 - 0xFFFF	Configura la dirección de 16 bits para el módulo. Si My=0xFFFF o 0xFFFE, se habilita el modo de
NB	0-4	Ajusta la Paridad para la comunicación serial UART del módulo. Defecto =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.
ND	-	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 Number Low). - DB (Fuerza de la señal proveniente de este módulo)
NI	String de 20 caracteres ASCII.	- NI (Identificador del Nodo) Define con un String el nodo o módulo
P0 - P1	0-2	Configura el pin PWM0 y PWM1. Defecto P0 =1, Defecto P1=0. 0 Deshabilitado. 1 RSSI. 2 PWM habilitado.
RE	-	Restaura los valores de los parámetros a los valores por defecto que vienen de fábrica.
SM	0-6	Configura el modo de operación SLEEP. Defecto =0.

Comando AT	Rango	Descripción
		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 Coordinador.
SL	0 - 0xFFFFFFFF	Entrega los 32 bit menos significativos del Número Serial del módulo.
SH	0 - 0xFFFFFFFF	Entrega los 32 bit más significativos del Número Serial del módulo.
SP	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.
ST	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.
T0 – T7	0 - 0xFF (x100 ms)	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.
IU	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.
VL	-	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
VR	0 - 0xFFFF	Indica cual versión de firmware se encuentra actualmente en el módulo.
WR	-	Guarda en la memoria no-volátil del módulo, todos los valores de los parámetros.

Tabla 4.7 Resumen de Comandos.

En la tabla 4.8 se describe el nombre, función y dirección de cada pin del xbee pro de la serie 2 que se utilizó para realizar todas las pruebas realizadas en el proyecto.

N° de Pin	Nombre	Dirección	Descripción
1	VCC	-	Fuente de alimentación
2	DOUT	Salida	UART salida de datos
3	DIN/CONFIG	Entrada	UART entrada de datos
4	DO8*	Salida	Salida digital 8

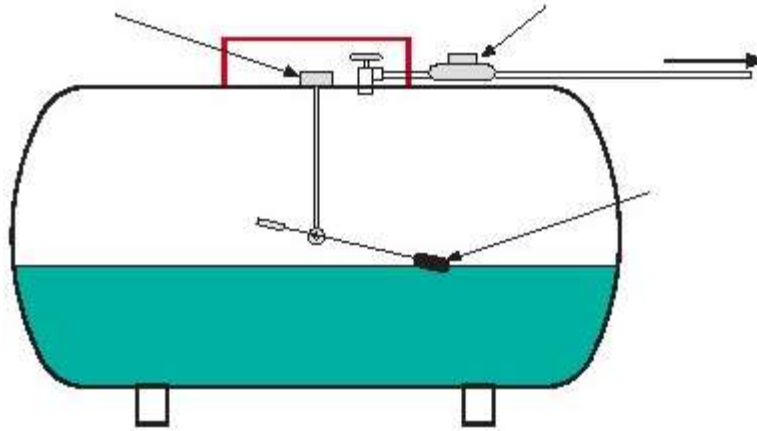
N° de Pin	Nombre	Dirección	Descripción
5	RESET	Entrada	Módulo de reinicio (pulso de reposición debe ser al menos de 200 nanosegundos)
6	PWM0/RSSI	Salida	PWM salida 0/RX indicador de intensidad de la señal
7	PWM1	Salida	Salida del PWM 1
8	[reservado]	-	No conectarse
9	DTR/SLEEP_RQ/DI8	Entrada	Pin de Línea de control de sueño ó entrada Digital 8
10	GND	-	Tierra ó Masa
11	AD4/DIO4	Ent ó Sal	Entrada Analógica 4 ó Digital I/O 4
12	CTS/DIO7	Ent ó Sal	Listo para enviar el control de flujo ó Digital I/O 7
13	ON/SLEEP	Salida	Módulo indicador de Estado
14	VREF	Entrada	Voltaje de Referencia para las entradas de A/D
15	Associate/AD5/DIO5	Ent ó Sal	Indicador de Asociado, entrada Analógica 5 ó Digital I/O 5
16	RTS/AD6/DIO6	Ent ó Sal	Solicitar para enviar el control de flujo, entrada analógica 6 ó Digital I/O 6
17	AD3/DIO3	Ent ó Sal	Entrada Analógica 3 ó Digital I/O 3
18	AD2/DIO2	Ent ó Sal	Entrada Analógica 2 ó Digital I/O 2
19	AD1/DIO1	Ent ó Sal	Entrada Analógica 1 ó Digital I/O 1
20	AD0/DIO0	Ent ó Sal	Entrada Analógica 0 ó Digital I/O 0

Tabla 4.8 Diagrama de pines.

4.8 Tanque estacionario

Es un recipiente de acero diseñado especialmente para contener gas lp a una alta presión y que a diferencia de los cilindros portátiles es surtido en su lugar por una pipa. Tienen forma cilíndrica y pueden ser colocados en forma horizontal o vertical. La mayoría de los tanques estacionarios son horizontales. No se recomiendan los tanques verticales debido a que los flotadores y carátulas de porcentaje que miden la existencia de gas líquido en los tanques horizontales no miden correctamente en los tanques verticales.

Hay tanques estacionarios pequeños para casas desde 120 litros para uso doméstico, hasta los más comunes de 300 litros y hay grandes tanques estacionarios de hasta 5,000 litros para comercios e industrias.



¿Cómo se mide la existencia de gas Lp en un tanque estacionario?

Todos los tanques estacionarios (grandes y pequeños) cuentan con un flotador y una carátula graduada en porcentaje que indican la capacidad total del tanque y la existencia de gas líquido, similar a los que se muestran en la figura 4.21. La carátula de porcentaje se atornilla en la parte superior del flotador.

La carátula de porcentaje es la misma para todos los tanques, el flotador es diferente y depende del diámetro del tanque, no de su capacidad. Entre mayor el diámetro del tanque, el largo del flotador será mayor, ya que los engranes deben quedar exactamente en la parte media del tanque estacionario.



El flotador, como su nombre lo indica, flota en la superficie del gas líquido y lo sigue hacia arriba o hacia abajo según vaya cambiando el nivel del gas LP.

Los engranes cambian la dirección del movimiento del flotador, y lo transmiten a través de una varilla de aluminio hacia la parte superior del tanque en donde se encuentra la carátula de porcentaje, la que de esta forma sigue el movimiento del flotador e indica con una aguja la cantidad de gas en porcentaje de la capacidad total del tanque.

Normalmente las carátulas de porcentaje marcan del 5% al 95% de existencia. El sensor del medidor se coloca abajo de la carátula de porcentaje y traduce el movimiento de la aguja de la carátula a una señal electrónica que es transmitida por el Xbee hasta el circuito medidor, el cual traduce esta señal para mostrarla en el display del Medidor en litros de existencia de gas LP.

4.9 Instalación del Sensor en el tanque estacionario

Peligro no retirar los 4 tornillos grandes de las esquinas por que se escapara el gas



Figura 4.21 Paso 1

Observe el porcentaje de existencia que marca la aguja de la carátula antes de quitarla que para este ejemplo es 90% y con un desarmador de cruz desatornille la carátula de porcentaje existente.



Figura 4.22 Paso 2

Retire la carátula de la taza del tanque y con el trapo húmedo limpie la taza y déjela libre de polvo y suciedad



Figura 4.23 Paso 3

Coloque el sensor en la taza del tanque estacionario como se muestra.



Figura 4.24 Paso 4

Coloque la carátula de porcentaje sobre el sensor como se muestra, cuidando que la oreja triangular de la carátula coincida con la muesca triangular de la taza del tanque estacionario.



Figura 4.25 Paso 5

Atornille a la carátula y el sensor con los 2 tornillos provistos (que son más largos que los que quitó) como se muestra. Apriete al llegue solamente. No apriete con más fuerza, pues puede romper a la carátula ó al sensor ó impedir el libre movimiento de la aguja de la carátula.



Figura 4.26 Paso 6

El sensor instalado debe de quedar como se muestra abajo de la carátula de porcentaje y la aguja debe de marcar el mismo porcentaje de existencia que tenía en el Paso 1. Que para este ejemplo era de 90%.

El medidor también muestra la existencia de gas LP como porcentaje de la capacidad total del tanque. El sensor del medidor es mucho más sensible a los cambios de nivel del gas en el tanque que la carátula de porcentaje. De manera que se obtiene una medición

más precisa de la existencia de gas LP con el sensor de efecto hall que con la carátula de porcentaje.

4.10 Cálculo de despacho de entrada de gas LP

El gas que surte la cisterna entra al tanque bajo presión en estado líquido y comprime y convierte al gas vapor dentro del tanque en líquido, por lo tanto la existencia final de gas después del surtido es la suma del gas despachado por la cisterna y la del gas vapor que ya estaba en el tanque y que fue comprimido.

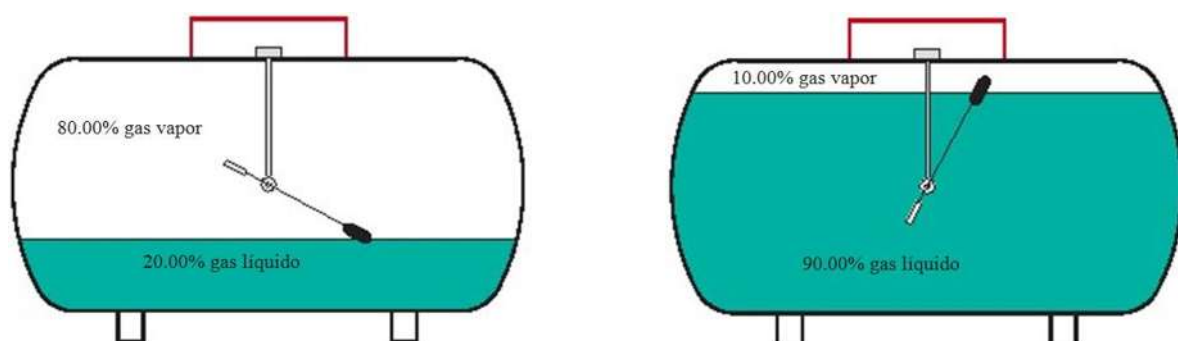


Figura 4.27 Estado inicial y final del tanque estacionario.

Para este ejemplo, en que se surte 70% de gas líquido ($90\% - 20\% = 70\%$) se comprime y convierte el 70% de gas vapor a líquido y sólo queda un 10% de gas vapor en lugar del 80% inicial.

Por lo tanto para calcular el gas despachado correctamente hay que tomar en cuenta el gas vapor. Si no se toma en cuenta el gas vapor entonces se estará calculando un despacho de gas 3% mayor al real

Capacidad del tanque = 300 litros

Porcentaje medido de existencia inicial= 20%

Porcentaje medido de existencia final= 90%

Ejemplo 1 sin tomar en cuenta el gas vapor:

Porcentaje surtido = 90% - 20% = 70%

Gas surtido = $(300 * 70) / 100 = 210$ litros

Ejemplo 2 tomando en cuenta el gas vapor:

Existencia inicial en litros de gas líquido = $(300 * 20) / 100 = 60$ litros

Existencia inicial en litros de gas vapor = $300 - 60 = 240$ litros

Existencia inicial en litros equivalentes de líquido del gas vapor = $240 * 0.03 = 7.2$ litros equivalentes.

Existencia inicial total en litros de gas LP = $60 + 7.2 = 67.2$ litros

Existencia final en litros de gas líquido = $(300 * 90) / 100 = 270$ litros

Existencia final en litros de gas vapor = $300 - 270 = 30$ litros

Existencia final en litros equivalentes de líquido del gas vapor = $30 * 0.03 = 0.9$ litros equivalentes.

Existencia final total en litros de gas LP = $270 + 0.9 = 270.9$ litros

Gas surtido realmente = Existencia final total - Existencia inicial total = $270.9 - 67.2 = 203.7$ litros

Como se puede concluir de los ejemplos anteriores, si no se toma en cuenta el gas vapor al calcular un despacho de gas LP se sobreestima éste en un 3% (210 contra el despacho real de 203.7 litros). Para calcular más fácilmente el despacho real se puede usar la siguiente fórmula:

FORMULA SIMPLIFICADA:

Gas surtido real = cap. tanque * (porcentaje final - porcentaje inicial) / 100 * 0.97

Gas surtido real = $300 * (90\% - 20\%) / 100 * 0.97 = 203.7$ litros

resultando lo mismo que el Ejemplo 2.

Nota: La medición no es correcta si se hace cuando el porcentaje inicial es menor al 5% ni cuando el final es mayor al 95%. Por razones de seguridad no se debe de llenar un tanque a más del 90% de su capacidad.

4.11 PIC18F4550 características principales

El PIC 18F4550, pertenece a los microcontroladores PIC18 de gama alta. Posee una arquitectura RISC (reduced instruction set computer) de 16 bits longitud de instrucciones y 8 bits de datos. La tabla muestra en resumen las características fundamentales de este microcontrolador y de sus antecesores los PIC18F2455/2550/4455.

CARACTERÍSTICAS	PIC18F2455	PIC18F2450	PIC18F4455	PIC18F4550
Frecuencia de Operación	Hasta 48MHz	Hasta 48MHz	Hasta 48MHz	Hasta 48MHz
Memoria de Programa (bytes)	24k	32k	24k	32k
Memoria RAM de Datos (bytes)	2k	2k	2k	2k
Memoria EEPROM Datos (bytes)	256	256	256	256
Interrupciones	19	19	20	20
Líneas de E/S	24	24	35	35
Temporizadores	4	4	4	4
Módulos de Comparación/Captura/PWM (CCP)	2	2	1	1
Módulos de Comparación/Captura/PWM mejorado (ECCP)	0	0	1	1
Canales de Comunicación Serie	MSSP.EUSART	MSSP.EUSART	MSSP.EUSART	MSSP.EUSART
Canal USB	1	1	1	1
Puerto Paralelo de Transmisión de Datos (SPP)	0	0	1	1
Canales de Conversión A/D de 10 bits	10 canales	10 canales	13 canales	13 canales
Comparadores analógicos	2	2	2	2
Juego de instrucciones	75 (83 ext.)	75 (83 ext.)	75 (83 ext.)	75 (83 ext.)
Encapsulados	PDIP2 8pines SOIC2 8pines	PDIP2 8pines SOIC2 8pines	PDIP40 pines QFN 40 pines TQFP40 pines	PDIP40 pines QFN 40 pines TQFP40 pines

Tabla 4.9 Resumen de las principales características Pic18f4550

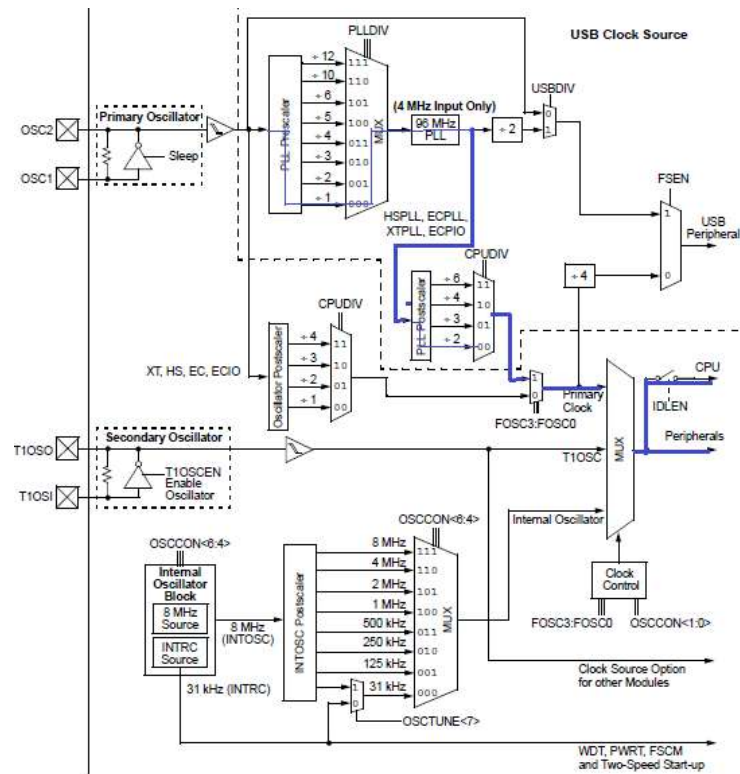


Figura 4.28 Configuración cristal de 4 MHz

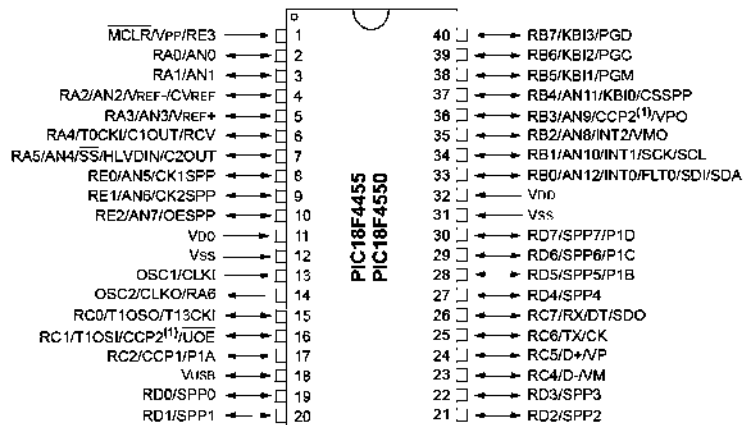


Figura 4.29 Pin out del microcontrolador pic18f4550

4.12 Diagrama esquemático del circuito receptor

El siguiente diagrama contiene los elementos básicos para el funcionamiento del pic18f4550 que son un cristal de 20 MHz así como capacitores, resistencias y un push botón para resetear el microcontrolador. El arreglo de capacitores y resistencias así como

el push botón y el cristal son las que el fabricante recomienda para su correcto funcionamiento.

Por otra parte el diagrama esquemático también muestra una hilera de 15 pin out que será donde se conectara el display LCD, y finalmente contiene un Xbee con su pertinente conexión vía serie con el pic18f4550 con elementos básicos para su correcto funcionamiento, así como un diodo zener de 3.3 volts en el pin 1 Vcc del Xbee, ya que la placa será alimentada con 5 volts y el voltaje de alimentación del Xbee es de 3.3 volts, tiene que limitarse el voltaje con este diodo zener de 3.3 volts

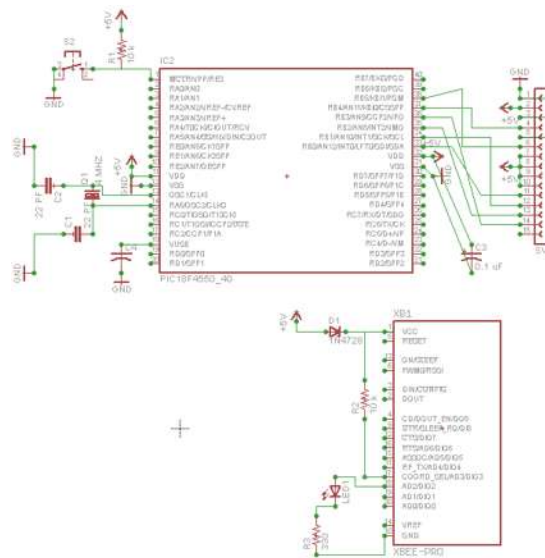


Figura 4.30 Diagrama de conexión circuito receptor.

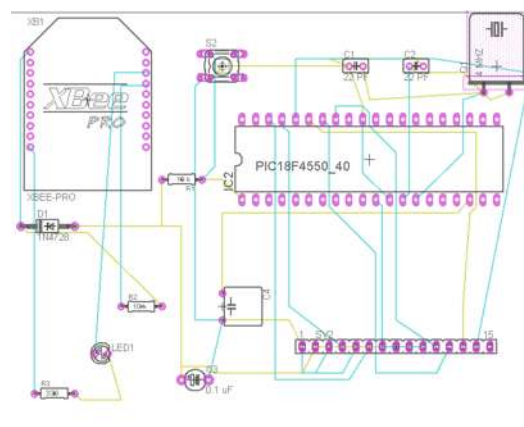


Figura 4.31 Placa con los elementos del circuito receptor

4.13 Programa del circuito receptor

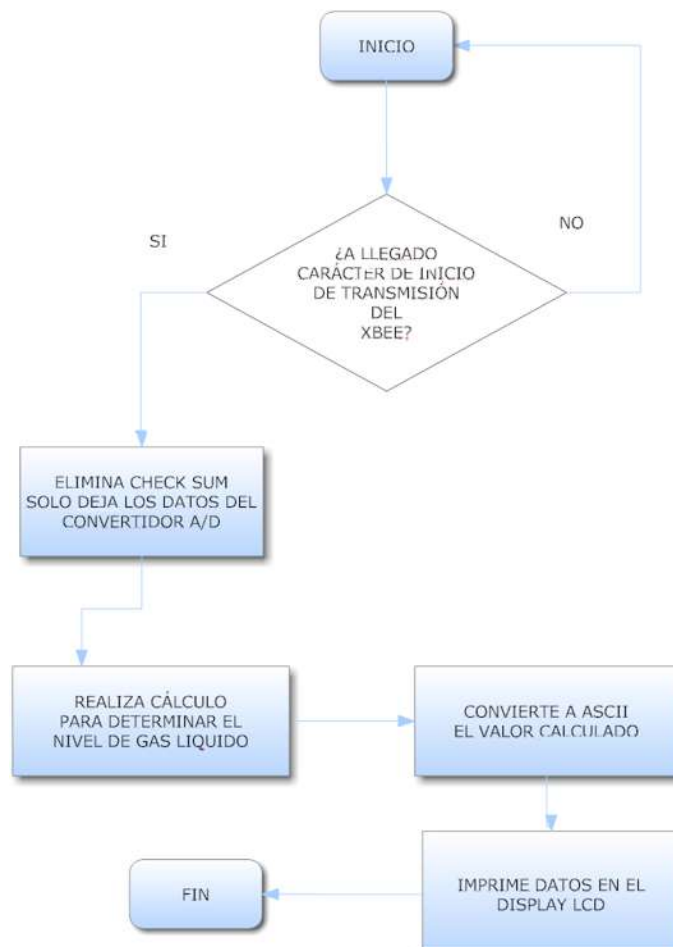


Figura 4.32 Diagrama flujo de datos del circuito receptor.

4.14 Configuración transmisión –recepción cable virtual

Transmisor	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Canal}=\text{C} \\ \text{PANID}=\text{8A} \\ \text{MY}=\text{0004} \\ \text{DL}=\text{0003} \end{array} \right.$	Receptor	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Canal}=\text{C} \\ \text{PANID}=\text{8A} \\ \text{MY}=\text{0003} \\ \text{DL}=\text{0004} \end{array} \right.$
------------	--	----------	--

Comandos escritos desde la hyperterminal para el Xbee transmisor:

ATCH000C, ID008A, MY0004, DL0003

Comandos escritos desde la hyperterminal para el Xbee receptor:

ATCH000C, ID008A, MY0003, DL0004

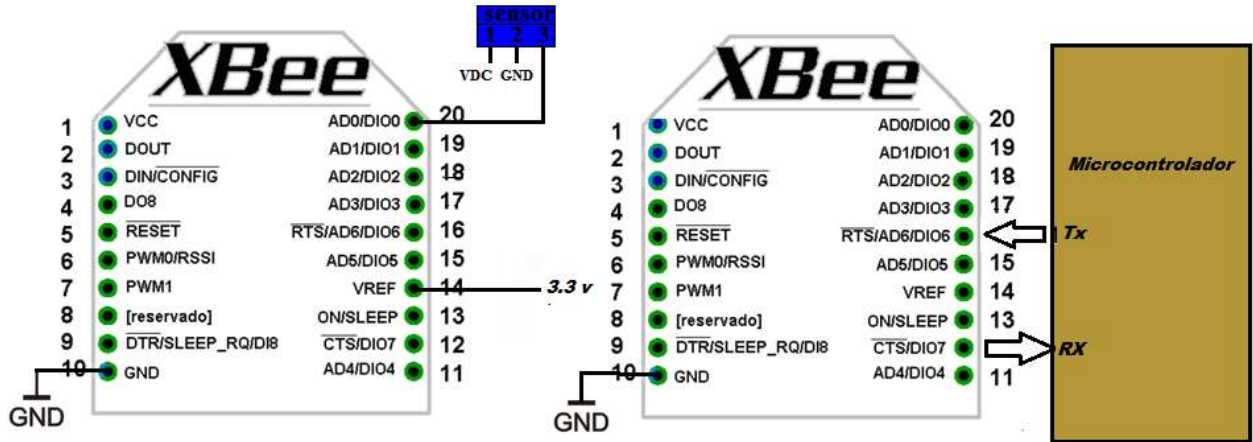


Figura 4.33 conexión física cable virtual

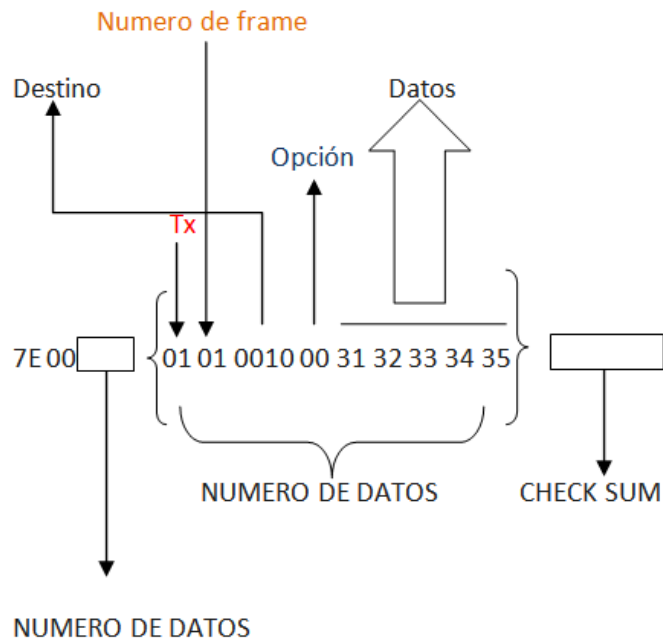


Figura 4.34 Elementos de la Trama 1

CHECK SUM: se suma en hexadecimal

$$1+1+10+31+32+33+34+35 = \{1\}11$$

FF-11=EE

Ck=EE

Ejemplo transmitir ZURY:

7E 00 09 01 01 008A 00 5A 55 52 59 93

Suma=16C

ck= FF-6C

ck=93

PARA MANDARLO A 8A

CK=FF-E6

7E 00 09 01 01 008A 00 5A 55 52 59 19

4.15 Programa en labview recepción de información en la PC

En la figura 4.35 se ve el diagrama de bloques del programa en labview para la recepción de la información proveniente del sensor conectado al Xbee. El programa consiste en configurar el puerto COM al que se conectara el Xbee receptor en la PC la configuración consiste en determinar en qué puerto COM se conectó a la PC así como configuraciones básicas de la comunicación serial que son velocidad de comunicación en este caso utilicé una velocidad de 9600 baudios ,el bit de paridad se colocó en la opción NO y una recepción de 8 bits, la otra parte del programa consiste en determinar el valor de la cabecera de la trama de paquetes que envía el Xbee transmisor, determinar si ha llegado el valor 7E que es el que indica el inicio de cabecera ,posteriormente checa si ha llegado un valor cero si es así lee la longitud de la trama a continuación el FrameID y finalmente los datos más el CheckSum ya que se han leído todos estos valores el programa se encarga de descomponer toda la trama recibida y mediante concatenaciones de cadenas en labview solo se dejan algunos valores de interés como es el valor leído por el sensor ,la potencia con la que están llegando los paquetes de información y la dirección del Xbee que está transmitiendo los paquetes posteriormente esta información es manipulada matemáticamente por las ecuaciones mostradas en la sección 4.27 para poder desplegar el valor medido al usuario de manera porcentual.

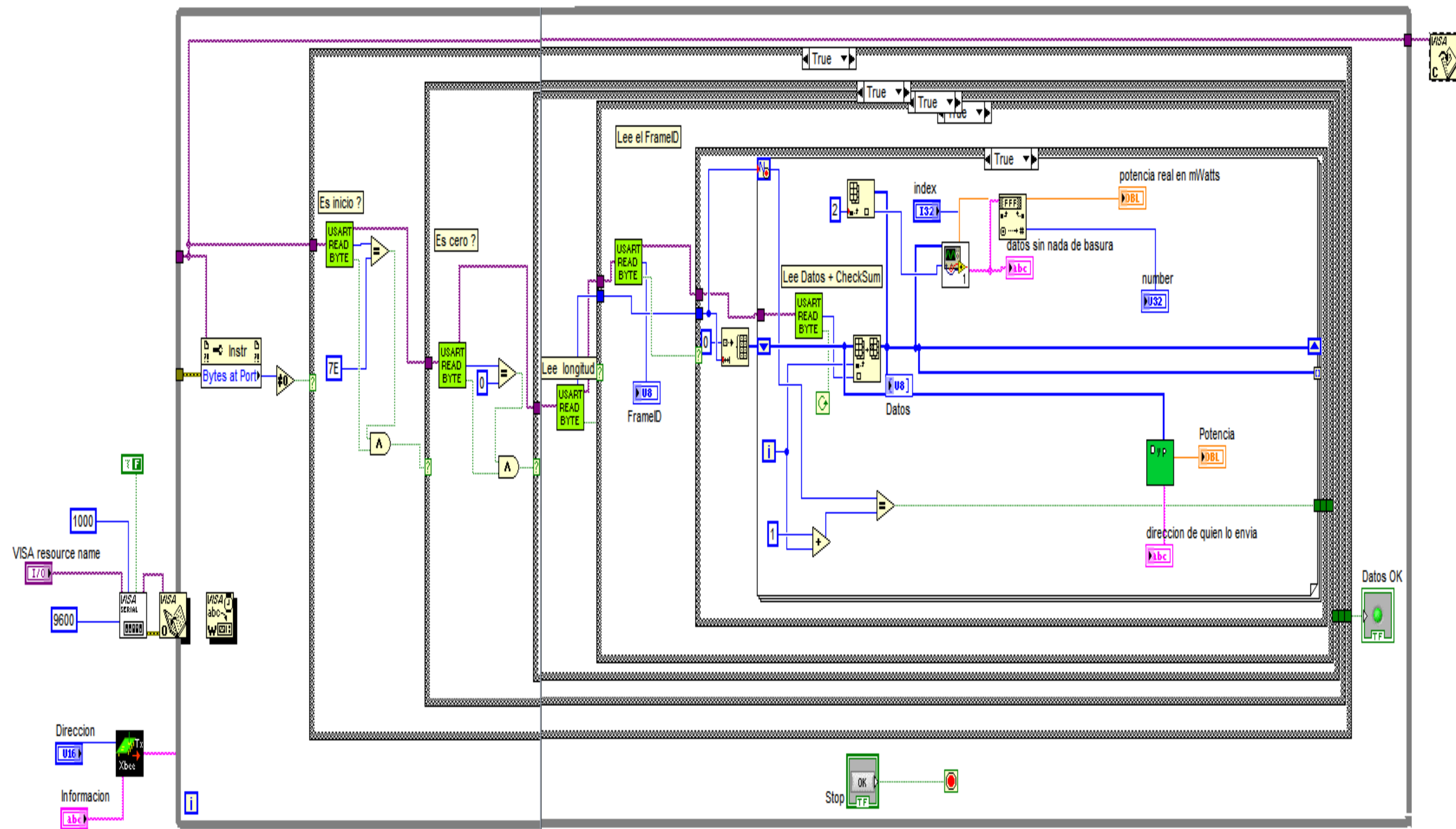


Figura 4.35 Diagrama de bloques para la recepción en la PC

4.16 Carátula R3D

Aplicación

La carátula R3D (Rochester Remote Ready Dial) es controlada magnéticamente y es compatible con un sensor de Efecto Hall. Las carátulas R3D son utilizadas en tanques estacionarios donde se requiere de una lectura directa, además de tener lecturas remotas utilizando el sensor de Efecto Hall cuando sea requerido. Existe disponibilidad para todos los modelos de indicadores de nivel marca Rochester (Junior, Senior y Snap On).

El Sensor de Efecto Hall está diseñado para una fijación rápida en la carátula R3D. Una vez instalado el sensor, este provee un nivel de voltaje proporcional al porcentaje de nivel de líquido en el tanque.



Información General y Características

La carátula R3D está diseñada para permitir un segundo acoplamiento magnético, el cual es utilizado para transmitir el movimiento del flotador del indicador al sensor de Efecto Hall cuando es instalado.

El Sensor de Efecto Hall es una tecnología de estado sólido y no requiere de contactos en movimiento, por lo tanto no tiene desgaste por contacto mecánico. Su función es la de convertir la intensidad del campo magnético en una señal eléctrica.

La Carátula R3D y el sensor de Efecto Hall pueden ser utilizados en los indicadores de nivel existentes en los tanques para proveer una señal eléctrica, la cual puede ser utilizada para el monitoreo remoto del nivel de los tanques.

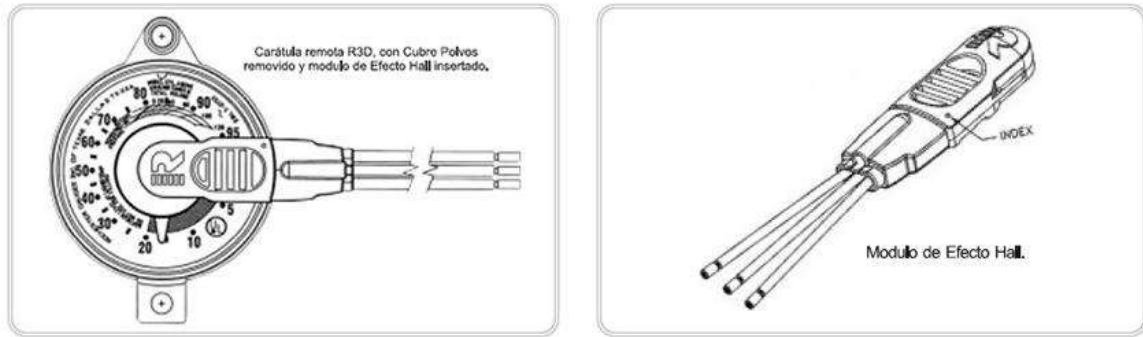


Figura 4.36 Sensor de efecto hall montado en la caratula R3D

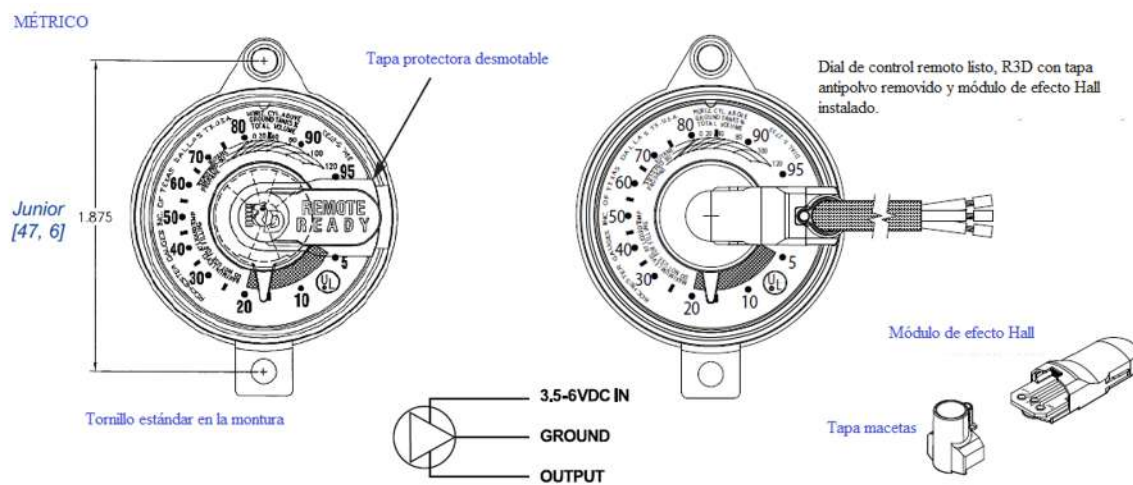


Figura 4.37 Sensor R3D y su configuración pin-out.

Especificaciones generales

Temperatura de operación: -40°C a 80°C

Precisión: $\pm 4\%$ de la escala completa (no incluye errores de calibración del flotador)

Repetitividad: $\pm 1\%$

Rango de voltaje de operación: 3.5 a 6.0 vcd / radiométrica

Voltaje de salida: 5-80% de tensión de entrada @ 5-80% volumen

Resolución: infinita

Corriente de funcionamiento: 4.5mA.

Corriente de salida: $\pm 1\text{mA}$.

Capítulo 5

Pruebas y Resultados del Prototipo desarrollado.

5.1 Pruebas y evaluación del equipo.

Se realizaron las pruebas de alcance de los módulos de ZigBee tanto dentro como fuera de una habitación para comprobar la distancia a la que estos se pueden comunicar. En el interior de la habitación el alcance normal y sin errores se verificó hasta una distancia de 30m como se muestra en la Figura 5.1, a partir de lo cual se comenzaron a experimentar pérdidas en la transmisión como se ve en la Figura 5.2. La pérdida total se registró a una distancia mayor a los 60m.

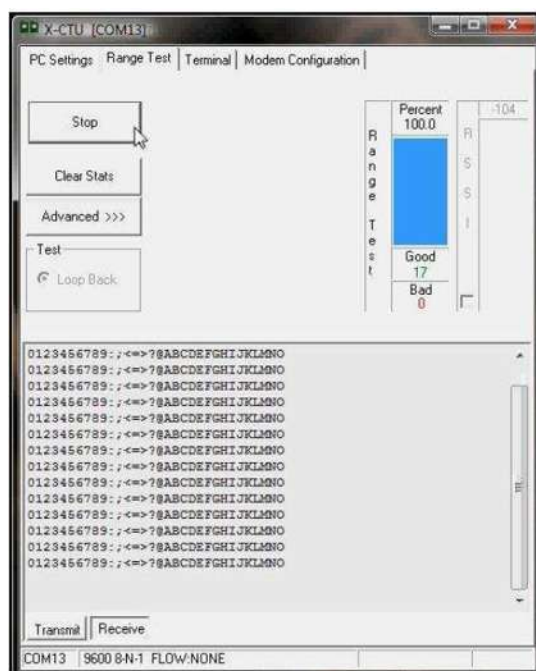


Figura 5.1 Monitoreo de trama antes de los 30m.

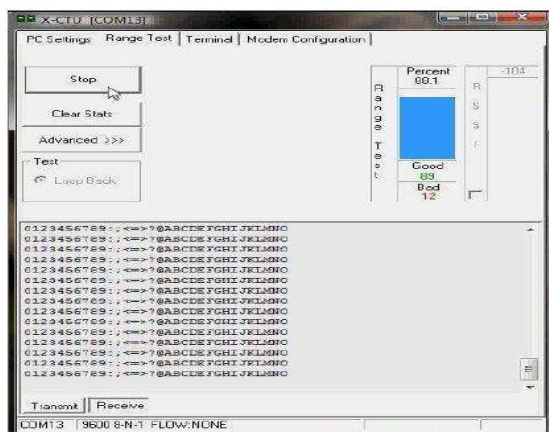


Figura 5.2 Monitoreo a 200m.

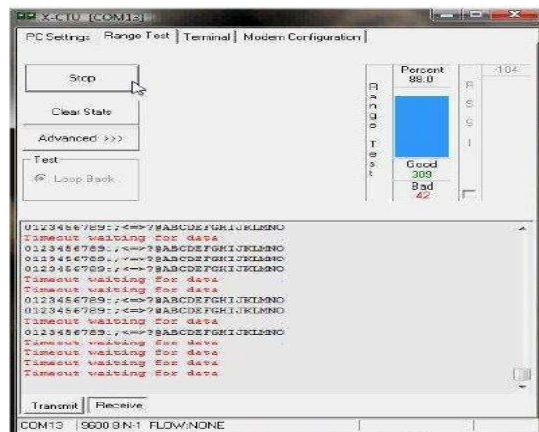


Figura 5.3 Pérdida de tramas después de 40m

Se realizaron también pruebas de alcance fuera de una habitación, pero con línea de vista entre el transmisor y el receptor.

El enlace entre el transmisor y el receptor se realizó de manera correcta hasta una distancia de aproximadamente 200m como se muestra en la Figura 5.3. A partir de los 250m comenzaron a existir pérdidas (Figura 5.4), hasta que al llegar a una distancia mayor a los 300m la pérdida de las tramas fue total como se ve en la Figura 5.5

Las pruebas de enlace las realice utilizando el programa X-CTU el cual envía tramas de prueba y muestra el porcentaje de datos recibidos correctamente por el receptor, así como el porcentaje de datos perdidos.

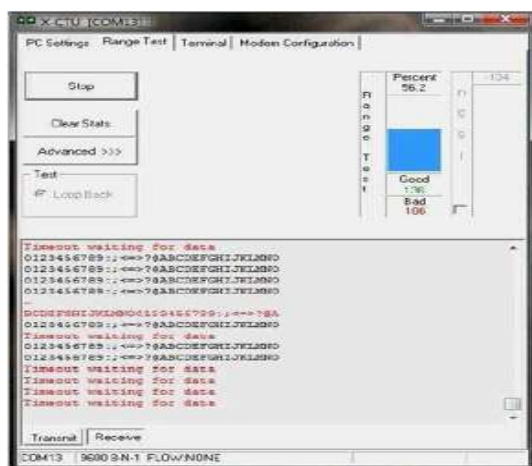


Figura 5.4 Pérdida de tramas a partir de los 250m.

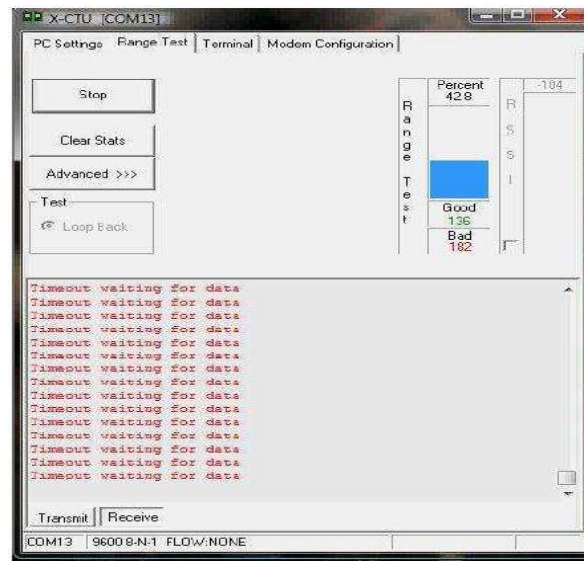


Figura 5.5 Pérdida total de tramas a partir de los 300m.

Capítulo 6

Conclusiones y Trabajos a Futuro.

6.1 Conclusiones Particulares

La tecnología Xbee es un sistema fiable para la instrumentación inalámbrica ya que en interiores tiene un rango de 30 metros sin presentar pérdidas de información, teniendo en cuenta que la distancia que puede haber en una casa habitación en interiores entre un tanque estacionario y el receptor difícilmente excede los 30 metros de distancia con obstáculos, ya que la línea de visión para exteriores hasta los 200 metros que es más que suficiente en cualquier casa habitación, las mejoras que se pueden realizar a este sistema de monitoreo de nivel de líquido en un tanque estacionario principalmente se sitúa en elegir los Xbee de alta gama y las antenas correctas de alta ganancia para tener mayores distancias de comunicación entre el transmisor y el receptor, otra de las mejoras que se pueden realizar al sistema es sustituir el microcontrolador pic18f4550 por un microcontrolador de bajo consumo como puede ser un Texas instruments ó cualquier otro del mercado, por el momento este sistema solo es un prototipo que es una base para el desarrollo de sistemas de instrumentación inalámbricos inteligentes que a continuación mencionare en trabajos futuros.

6.2 Trabajos Futuros

Con las pertinentes modificaciones al prototipo desarrollado se pueden realizar los siguientes sistemas:

- Monitoreo y control del volumen, temperatura, humedad de granos almacenados en un silo.

- Sistema inteligente que programe el abastecimiento de combustibles en grandes contenedores de grandes industrias
- Sistema inteligente que controle alarmas, encendido y apagado de luces, el llenado de un tinaco, control de accesos en las habitaciones de una casa

Bibliografía:

Fecha (18/04/2012)

<http://www.digi.com/xbee/>

<http://www.digi.com/learningcenter/stories/measuring-tank-levels-in-a-brewery>

<http://www.digi.com/support/kbase/kbaseresultdetl?id=2213>

http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Uusuario.pdf

Instrumentación

(23/04/2012)

http://www.isa-spain.org/images/biblioteca_virtual/rt0411%20-%20instrumentaci%C3%ADn%20sin%20hilos.pdf

http://www.uniboyaca.edu.co/fcei/index.php?option=com_content&view=category&id=131&layout=blog&Itemid=647

Control moderno Ogata cuarta edición (24/04/2012)

http://books.google.com.mx/books?id=OK148EPC_m0C&printsec=frontcover&dq=ingenieria+de+control+moderna+ogata+4+edicion&hl=es&sa=X&ei=1DaXT9PTLujW2AXBuPDVDO&sqi=2&ved=0CDOQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false

http://web.udl.es/usuarios/w3511782/Control_de_procesos/Unidades_files/apunt_s_10-11.pdf

Gas GPL ó LP (25/04/2012)

http://es.wikipedia.org/wiki/Gas_Blau

http://www.dte.upct.es/personal/fjortiz/docencia/comun%20ea_eg/Ud1%20Anexo%201%20-%20Historia.pdf

Caratula R3D

<http://rochester-mexico.com.mx/caratula-r3d/> (27/04/2012)

GLOSARIO

Acuse de recibo :(Acknowledgement).- Un tipo de mensaje que se envía para indicar que un bloque de datos ha llegado a su destino sin errores. Un acuse de recibo puede también ser negativo (No Acknowledgement - NOACK), es decir, indicar que un bloque de datos no ha llegado a su destino.

Asíncronamente: Tipo de comunicación donde cada byte se transmite del emisor al receptor de modo independiente. Es la que utilizan los módems, por ejemplo.

Bluetooth.- Bluetooth es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPANs) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia segura y globalmente libre.

Broadcast: Paquete de datos enviado a todos los nodos de una red. Los paquetes ó tramas broadcast se identifican por una dirección broadcast, FF:FF:FF:FF:FF ó 255.255.255.255 respectivamente.

Codificación: Proceso preestablecido y controlado aplicado a una señal durante su generación y que altera sus características originales, dificultando el entendimiento de la información.

Controlador: Pequeño programa que sirve para reconocer y controlar un dispositivo de hardware específico.

Decodificación: Proceso inverso al de codificación de la señal, aplicado durante su recepción y que restablece las características originales de la señal, posibilitando el entendimiento de la información por parte de los suscriptores.

Firmware: Es el " software que está dentro del hardware". Se refiere a los programas grabados en memorias no volátiles cuya función es asegurar su correcto funcionamiento.

Frecuencia: El número de vibraciones o ciclos por unidad de tiempo. La frecuencia de las ondas electromagnéticas suele medirse en ciclos por segundo, llamados hertz en honor del físico alemán Heinrich Hertz.

Latencia: En redes informáticas de datos se denomina latencia a la suma de retardos temporales dentro de una red, un retardo es producido por la demora en la propagación y transmisión de paquetes dentro de la red.

Modulación: Modificación de alguno de los parámetros que definen una onda portadora (amplitud, frecuencia, fase), por una señal moduladora que se quiere transmitir (voz, música, datos).

Ondas Electromagnéticas: Perturbaciones que se propagan con la velocidad de la luz, consistentes en ondas de campo eléctrico y de campo magnético perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación, las ondas de luz, en particular, son de esta naturaleza.

Oscilador: Es un circuito que es capaz de convertir una señal continua en una que varíe de forma periódica en el tiempo; estas oscilaciones pueden ser sinusoidales, cuadradas, triangulares, etc., dependiendo de la forma que tenga la onda producida.

Payload: Carga útil; paquete a enviar. Los datos relacionados con la transmisión (emisor, destinatario, etc.) no se consideran Payload.

Pull-up: En electrónica se denomina pull-up bien a la acción de elevar la tensión de salida de un circuito lógico, bien a la tensión que, por lo general mediante un divisor de tensión, se pone a la entrada de un amplificador con el fin de desplazar su punto de trabajo.

Radiofrecuencia: El término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz.

Redes ad-hoc: Grupo de dispositivos inalámbricos que se comunican directamente entre ellos (punto a punto) sin la utilización de un punto de acceso. Permiten la conexión directa entre varios nodos sin ninguna gestión específica de la red.

Routers: Dispositivo conectado a dos o más redes que se encarga únicamente de tareas de comunicaciones.

Supertrama: Tipo de entramado común que se utiliza en los circuitos T1. Está compuesta por 12 tramas de 192 bits cada una, en las que el bit 193 brinda verificación de errores y otras funciones.

Temporizadores: Los temporizadores así como su nombre lo dice son mecanismos que funcionan o hacen una operación por cierto tiempo donde el tiempo es ajustado de acuerdo al uso dado.

Throughput: Transferencia Real. Cantidad de datos que son transmitidos a algún punto de la red.

Topología: Es el mapa o idea de la red. La topología física describe el trazado de los hilos y los cables y la topología lógica o eléctrica describe el flujo de los mensajes.

Trama: Unidad única de información de capa de enlace de datos.

Transceptor: Dispositivo que realiza, dentro de una misma caja o chasis, funciones tanto de transmisión como de recepción, utilizando componentes de circuito comunes para ambas funciones.

Unicast: Mensaje que se envía a un solo destino de red.

Wi-fi: Tecnología de comunicación inalámbrica que permite la conexión a una red local. Es un acrónimo de Wireless Lan.