

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA UTILIZANDO EL  
ESTÁNDAR ZIGBEE PARA LA TELEMETRÍA DE LOS  
USUARIOS NO REGULADOS DE ELECTROHUILA S.A. E.S.P.  
UBICADOS EN LA CIUDAD DE NEIVA Y SU COMPARACIÓN CON EL  
SISTEMA DE COMUNICACIÓN GPRS**

**OLGA PATRICIA CARDENAS QUICENO**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA  
NEIVA - HUILA  
2013**

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA UTILIZANDO EL  
ESTÁNDAR ZIGBEE PARA LA TELEMETRÍA DE LOS  
USUARIOS NO REGULADOS DE ELECTROHUILA S.A. E.S.P.  
UBICADOS EN LA CIUDAD DE NEIVA Y SU COMPARACIÓN CON EL  
SISTEMA DE COMUNICACIÓN GPRS**

**OLGA PATRICIA CARDENAS QUICENO**

**Trabajo de Pasantía Supervisada presentado como requisito para optar al  
título de Ingeniero Electrónico**

**Director:  
JESUS DAVID QUINTERO POLANCO  
Ingeniero Electrónico**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA  
NEIVA - HUILA  
2013**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del director del proyecto

---

Firma del primer jurado

---

Firma del segundo jurado

Neiva, Enero 29 de 2013.

A la Divina Presencia de Dios en mí por hacer esto posible;  
A mi madre María Olga por su amor y apoyo incondicional;  
A todos mis amigos, profesores y personas que colaboraron de alguna forma.

**OLGA PATRICIA CÁRDENAS**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre María Olga Quiceno, mi compañero José Alexkar Calderón y amigos por su voto de fé, por creer y por su acompañamiento incondicional.

Al Ing. Juan Gabriel Murcia, Jefe de División Gestión Comercial de ELECTROHUILA S.A E.S.P por su colaboración y confianza brindada; al compañero Jhon Fabio Ramírez, Revisor de ELECTROHUILA S.A E.S.P por compartir su conocimiento, experiencia y por su constante apoyo durante el desarrollo del proyecto.

Al Ingeniero Jesús David Quintero Polanco, Profesor de la Universidad Surcolombiana y Director de tesis, por su gran paciencia, interés y guía en la realización de este proyecto. Al Ingeniero Agustín Soto, Jefe de Programa de Ingeniería Electrónica por su constante respaldo, confianza y colaboración.

A todos los profesores, amigos y compañeros que de una u otra forma me colaboraron e hicieron posible el alcance de este gran logro.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION .....	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
2. OBJETIVOS .....	18
3. MARCO TEORICO.....	19
3.1. TELEMETRIA .....	19
3.1.1. Componentes del sistema de telemetría .....	20
3.2. ZIGBEE.....	21
3.2.1. Características .....	21
3.2.2. Tipos de dispositivos .....	22
3.2.3. Arquitectura .....	22
3.2.4. Topologías .....	24
3.3. GPRS.....	25
3.3.1. Arquitectura de la red GPRS.....	26
3.3.2. Calidad de servicio .....	26
3.3.3. Codificación GPRS.....	27
4. SITUACION ACTUAL DE LAS REDES DE TELEMETRIA .....	28
5. DISEÑO DE RED INALAMBRICA ZIGBEE.....	31
5.1. PLANTEAMIENTO DE RED INALÁMBRICA .....	31
5.2. MODULO ZIGBEE XBEE .....	32
5.2.1. Circuito básico.....	32

5.2.2.	Configuración del módulo XBee .....	33
5.2.3.	Instalación de módulos XBee .....	36
5.3.	HARDWARE DE COMUNICACIÓN .....	38
5.3.1.	Adaptador XBee RS232 .....	38
5.3.2.	Gateway XBee .....	38
5.4.	CONFIABILIDAD DE LA RED .....	40
5.4.1.	Pérdidas por propagación en espacio libre .....	40
5.4.2.	Potencia de recepción .....	41
5.4.3.	Margen respecto al umbral .....	42
5.4.4.	Confiabilidad del enlace de comunicación .....	42
6.	COMPARACION RED ZIGBEE - RED GPRS .....	44
6.1.	FUNCIONAMIENTO DE RED GPRS .....	44
6.2.	ANALISIS DE COSTOS RED ZIGBEE - RED GPRS .....	45
6.3.	VENTAJAS RED ZIGBEE - RED GPRS .....	48
6.4.	RED INALAMBRICA ZIGBEE EN LA CIUDAD DE NEIVA .....	48
	CONCLUSIONES .....	53
	RECOMENDACIONES .....	54
	FUENTES DE CONSULTA .....	55
	ANEXOS .....	56

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Esquemas de codificación GPRS.....	27
Tabla 2. Fallas del sistema de telemedida en el año 2011.....	30
Tabla 3. Fallas del sistema GPRS en el año 2011 según operador de red.....	30
Tabla 4. Tipo de fallas por sistema telefónico en Neiva en el año 2011.....	30
Tabla 5. Costos de dispositivos empleados en cada sistema de medición.....	45
Tabla 6. Costo total de equipos por sistema de medición.....	45
Tabla 7. Análisis comparativo de costos para el usuario por sistema de medición.....	46
Tabla 8. Costo total para el usuario por sistema de medición a cinco años.....	46
Tabla 9. Equipos necesarios por cada red inalámbrica.....	52

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema general de un sistema de telemetría.....	19
Figura 2. Diagrama de bloques de un nodo.....	20
Figura 3. Diferentes capas que conforman la pila de protocolos para ZigBee..	23
Figura 4. Diferentes topologías de red disponibles en ZigBee.....	24
Figura 5. Esquema general de transmisión de datos mediante GPRS.....	25
Figura 6. Ubicación de usuarios propios no regulados.....	28
Figura 7. Esquema general de un sistema de telemetría por línea telefónica...	29
Figura 8. Medidor electrónico Alpha II.....	29
Figura 9. Modem USRobotics V.92.....	30
Figura 10. Esquema general de la red inalámbrica.....	31
Figura 11. Módulo Zigbee XBee.....	32
Figura 12. Conexiones mínimas requeridas para el módulo Zigbee.....	33
Figura 13. Verificación de inicio de módulos.....	34
Figura 14. Configuración de módulos.....	34
Figura 15. Detalles de configuración de módulos.....	35
Figura 16. Modo de ubicación de routers.....	36
Figura 17. Diseño de cajilla para módulo Zigbee.....	37
Figura 18. Ubicación de módulo Zigbee y antena en postes de distribución eléctrica.....	37
Figura 19. Gateway XBee.....	38

Figura 20. Diseño de circuito de interface: convertidor RS232/Zigbee.....	39
Figura 21. Sistema de Comunicación GPRS.....	44
Figura 22. Red 1: Subestación Centro.....	49
Figura 23. Red 2: Subestación Planta Diesel.....	50
Figura 24. Red 3: Subestación Norte.....	50
Figura 25. Red 4: Subestación Sur.....	51

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Especificaciones técnicas de módulos ZigBee XBee / XBee-PRO SE.....	56
Anexo 2. Especificaciones técnicas de Gateway ConnectPort X2.....	58
Anexo 3. Listado de usuarios por red inalámbrica diseñada en la ciudad de Neiva.....	60
Anexo 4. Localización de usuarios con fallas por sistema de teled medida mediante comunicación telefónica durante el 2011 .....	60
Anexo 5. Usuarios con fallas por sistema de teled medida mediante comunicación telefónica durante el 2011 en la ciudad de Neiva.....	61
Anexo 6. Pruebas de alcance y potencia de módulos XBee-PRO SE.....	62

## GLOSARIO

**AMR (Automatic Meter Reading):** sistema de recolección de datos de consumo de los medidores de electricidad, usando algún medio de comunicación para transferir datos.

**APN (Access Point Name):** es el nombre de un punto de acceso para comunicación GPRS que debe configurarse en un dispositivo móvil -bien sea teléfono móvil o dispositivo móvil como puede ser un módem 3G- para que pueda acceder a redes computacionales (entre las que se puede incluir Internet).

**Comunicación Inalámbrica:** comunicación sin ninguna conexión física entre el emisor y el receptor, que utilizan el espectro de frecuencia de radio (aéreo), hardware, software y diversas tecnologías para transmitir información.

**CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas):** entidad que regula la prestación de servicios de energía eléctrica, gas natural y gas licuado de petróleo.

**dBm:** es una unidad de medida utilizada, principalmente, en telecomunicación para expresar la potencia absoluta mediante una relación logarítmica. El dBm se define como el nivel de potencia en decibelios en relación a un nivel de referencia de 1 mW.

**Dirección IP:** dirección de 32 bits del protocolo Internet asignada a un host. La dirección IP tiene un correspondiente del host y un componente de la red. Este número identifica de manera unívoca una interface de red conectada a Internet o a una red IP.

**Ethernet:** estándar de transmisión de datos para redes de área local, que se basa en el principio de que los equipos en una red están conectados a la misma línea de comunicación compuesta por cables cilíndricos.

**Gateway:** dispositivo que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes a todos los niveles de comunicación, con el propósito de traducir la información del protocolo utilizado en una red al protocolo usado en la red de destino.

**GSM (Global System for Mobile communications):** es un estándar europeo abierto para que una red digital de teléfono móvil soporte voz, datos, mensajes de texto y roaming en varios países.

**GPRS (Global Packet Radio Service):** es una arquitectura para redes de área amplia que está compuesta de sistemas y protocolos de comunicaciones que hacen posible la transmisión de datos en forma de paquetes a través de una red celular.

**Módem: (modulador-demodulador):** este equipo convierte señales digitales en análogas y viceversa. Los módem se utilizan para enviar datos digitales a través de las redes analógicas como la telefónica o en sistemas inalámbricos.

**PAN (Personal Area Network):** red de comunicaciones que incluye un coordinador de red, y uno o más routers o dispositivos finales (end points).

**Protocolo X.25:** es un estándar para redes de área amplia de conmutación de paquetes que establece mecanismos de direccionamiento entre usuarios, negociación de características de comunicación, técnicas de recuperación de errores.

**Router:** dispositivo de interconexión de redes informáticas que permite asegurar el enrutamiento de paquetes entre redes o determinar la ruta que debe tomar el paquete de datos.

**SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition):** son aplicaciones de software, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos.

**Subestación:** es una instalación destinada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica, con el fin de facilitar el transporte y distribución de la misma. Su equipo principal es el transformador.

**Telemetría:** tecnología que permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema.

**ZigBee:** es una especificación para un conjunto de protocolos de alto nivel que utilizan pequeños radios digitales de baja potencia, basada en el estándar IEEE 802.15.4 para redes inalámbricas de área personal.

**Zonas de Fresnel:** volumen de espacio entre el emisor de una onda - electromagnética, acústica, etc.- y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180°.

## **ABSTRACT**

The main purpose of this project is to design a wireless network using the ZigBee standard, and compares it with a system of wireless transmission of data through the GPRS cellular network, for the telemetry of ELECTROHUILA S.A. E.S.P. unregulated users located in the city of Neiva.

For the creation of the network, XBee ZigBee modules are used to provide durability, low power consumption and efficiency. They also offer the possibility of to be used in different operating modes to fit different types of transmission, from to simulate a simple virtual cable until the management data frames.

These modules can be programmed in different ways to satisfy the requirements of wireless network design for the city. In this way, and with good sight line, you can adjust its location to accomplish networking functions, data transmission or data measurement, around the city.

Considering the location of the unregulated users, is necessary to create several networks around the city, based on the different electric substations that are located within the city limits, and associating users to the nearest substation.

With this project, considering technical and economic aspects, is compared the performance and viability of both types of networks, seeking to minimize failures, lower costs, increase efficiency, improve customer service and expandability. Thus, it is identified in the use of wireless networks using the ZigBee standard, the best option of telemetry system for an eventual implementation by ELECTROHUILA S.A. E.S.P.

Keywords: Telemetry, wireless, ZigBee, GPRS.

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto es diseñar una red inalámbrica utilizando el estándar ZigBee, y compararla con un sistema de transmisión inalámbrica de datos a través de la red celular GPRS, para la telemetría de los usuarios no regulados de ELECTROHUILA S.A. E.S.P. ubicados en la ciudad de Neiva.

Para la creación de la red, se utilizan módulos ZigBee XBee que ofrecen duración, bajo consumo y eficiencia. Además ofrecen la posibilidad de usarse de distintos modos de operación para adecuarse a distintos tipos de transmisión de información, desde simular un sencillo cable virtual hasta un manejo de tramas de datos.

Estos módulos permiten programarse de distintas formas para satisfacer con los requerimientos de la red inalámbrica a diseñar para la ciudad. De esta forma, y con buenas condiciones de línea de vista, se puede adecuar su ubicación para cumplir con funciones de creación de redes, transmisión o medición de datos, alrededor de la ciudad.

Considerando la ubicación de los usuarios no regulados, se opta por la creación de varias redes alrededor de la ciudad, tomando como base las diferentes subestaciones que se encuentran dentro del perímetro urbano, y asociando los usuarios a la subestación más cercana.

Con este proyecto, teniendo en cuenta aspectos tanto técnicos como económicos, se compara el rendimiento y viabilidad de ambos tipos de redes, buscando minimizar fallas, bajar costos, incrementar eficiencia, mejorar servicio al cliente y posibilidad de expansión. De esta manera, se identifica en el uso de redes inalámbricas mediante el estándar ZigBee, la mejor opción de sistema de teledatada para una eventual implementación por parte de ELECTROHUILA S.A. E.S.P.

Palabras claves: Telemetría, red inalámbrica, ZigBee, GPRS.

## INTRODUCCION

Durante años el proceso tradicional para la toma de lecturas a los medidores de energía eléctrica en las empresas comercializadoras se ha realizado mediante el desplazamiento de un lector hasta el sitio donde se encuentra instalado físicamente el medidor, registrar la lectura y luego reportar la información para realizar el proceso de facturación correspondiente a cada usuario.

Con el ingreso de las nuevas normas o regulaciones que rigen a usuarios que pueden escoger su comercializador - llamados usuarios no regulados - y por ende, el mejor precio en kilovatio y servicio, las empresas de servicios públicos han visto la necesidad de realizar la lectura automática de los medidores, de tal forma que el proceso de facturación del consumo sea menos incomoda para el cliente y menos costosa para la empresa prestadora del servicio.

La telemetría de medidores de energía, actualmente conocida como AMR (Automatic Meter Reading) se está aplicando exitosamente en diferentes países donde es preciso contar con un control dinámico y exacto del consumo de energía eléctrica y la posibilidad de obtener registros del consumo en tiempo casi real.

Los primeros que han utilizado esta técnica son los grandes consumidores de energía. Su sistema de telemedida, inicialmente basado en un modem telefónico y una línea telefónica fija, está siendo reemplazado por otras alternativas de transmisión de datos, como la tecnología GSM/GPRS que utiliza la red celular para la comunicación del medidor con el servidor, donde es almacenada la información y los registros de medida.

La dimensión total del concepto AMR está aún evolucionando, y constantemente los desarrolladores de esta tecnología encuentran nuevos beneficios para los usuarios. Algunos de los beneficios de mayor importancia para las empresas de servicios públicos son: realizar una facturación más rápida, menor costo de lectura, mejora significativa en la calidad de la lectura, eliminación de los consumos promedios o consumos "estimados", acceso instantáneo a información alterna sobre el consumo o el medidor, rápida identificación de las interrupciones e interferencias del servicio, y servicios de valor agregado como identificación de perfiles de usuario.

El auge y la proliferación de tecnologías inalámbricas como GPRS y Zigbee, ofrece a las empresas de servicios públicos la posibilidad de mejorar y modernizar los sistemas telemetría para optimizar procesos, bajar costos y reducir fallas relacionadas con la transferencia de datos y perturbación por ruido, presentados en el sistema de transmisión de datos sobre la red de la línea telefónica.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ELECTRIFICADORA DEL HUILA S.A E.S.P en cumplimiento de la resolución 006 de 2003 de la CREG, la cual establece que los agentes comercializadores deben reportar al Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC) la demanda horaria, precisada a través de los medidores que para esta función se tienen dispuestos dentro de cada una de sus fronteras, durante las 72 horas siguientes al día de operación; debe realizar visitas a sitio de acuerdo con las fallas observadas en los reportes de lectura por teledadida.

Actualmente, ELECTROHUILA S.A. E.S.P cuenta con 84 usuarios propios no regulados, los cuales 26 usan la red celular GPRS y los 58 restantes realizan la transmisión de datos a través de la línea telefónica; de estos últimos 37 están ubicados en la ciudad de Neiva y los otros 21 se encuentran en la zona rural y en diferentes municipios del departamento del Huila.

De acuerdo con el INFORME DE FALLAS Y NOVEDADES creado con la información de las actas de visitas de los usuarios no regulados en los últimos 3 años, las fallas más frecuentes y que impiden la lectura remota de los medidores en la ciudad de Neiva, son ocasionadas por problemas en la línea telefónica. Básicamente estos problemas hacen referencia a la presencia de ruido en la línea, generados por malas conexiones en los terminales de las líneas, por empalmes mal realizados o por días de lluvias.

Otros inconvenientes que se presentan son el cambio de número telefónico, la suspensión y corte de la línea que hace la empresa de telecomunicaciones que presta el servicio al usuario.

Estas fallas ocasionan el desplazamiento del revisor de teledadida hasta las instalaciones del usuario para realizar las lecturas que no se pudieron hacer remotamente, lo que se traduce en pérdida de tiempo y dinero tanto para la empresa comercializadora de energía, como para el usuario.

Conforme a los objetivos institucionales de ELECTROHUILA S.A. E.S.P. de obtener el reconocimiento de los clientes ofreciendo disponibilidad, calidad, atención y tarifa competitiva que permita aumentar su participación en el mercado eléctrico y hacer procesos claros, ágiles, confiables, estandarizados y económicos; surge la necesidad de estudiar, analizar y evaluar cual de las dos tecnologías inalámbricas más difundidas en el ámbito industrial de telemetría (GPRS y Zigbee), es la más apropiada, para luego llevar a cabo pruebas pilotos para la implementación de la nueva red.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

- Realizar el estudio y diseño de una red inalámbrica utilizando el estándar Zigbee para la telemetría de los usuarios no regulados ubicados en la ciudad de Neiva de ELECTROHUILA S.A. E.S.P. y su comparación con el sistema de comunicación GPRS.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Estudiar y conocer cada una de las características, ventajas y desventajas del estándar Zigbee y el sistema GPRS.
- Comparar el estándar Zigbee con el sistema de transmisión inalámbrica de datos a través de la red celular GPRS.
- Diseñar una red Zigbee y compararla con una red GPRS para la lectura remota de los medidores de energía de los 37 usuarios no regulados en Neiva.
- Identificar cual de los dos tipos de comunicación inalámbrica estudiados es la más viable técnica y económicamente para la telemetría de los usuarios no regulados ubicados en la ciudad de Neiva de ELECTROHUILA S.A. E.S.P.

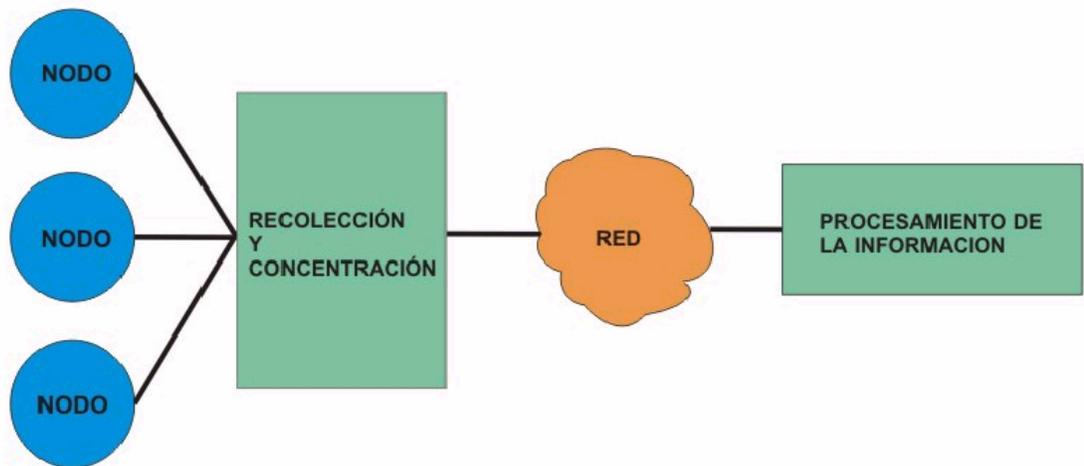
### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1. TELEMETRIA

Los sistemas de telemetría<sup>1</sup> son los encargados de realizar mediciones en un punto remoto para luego transmitirlo a un centro de control; el equipo utilizado en cualquier sistema de telemetría debe ser capaz de medir una magnitud física, producir una señal que pueda modificarse de alguna manera para transportar los datos medidos y transmitir esa señal codificada por algún tipo de canal de transmisión. En la Figura 1. se observa el esquema general de un sistema de telemetría convencional.

La medición a distancia es, sin embargo, relativa, ya que la telemetría también se utiliza para obtener información en lugares cercanos pero de acceso difícil, peligroso e incluso imposible.

*Figura 1. Esquema general de un sistema de telemetría*



*Fuente:*

[http://gavilan.uis.edu.co/~hortegab/radiogis/biblioteca\\_virtual/radiopropagacion/Indoor/papers/%5B1%5D.pdf](http://gavilan.uis.edu.co/~hortegab/radiogis/biblioteca_virtual/radiopropagacion/Indoor/papers/%5B1%5D.pdf)

---

<sup>1</sup> PRADA, Alban; SALAZAR, Gabriel. Sistema de telemetría inalámbrica móvil de corto alcance aplicado a la medición de temperatura. Universidad Industrial de Santander. [En Línea]. 2003. <Disponible en [http://gavilan.uis.edu.co/~hortegab/radiogis/biblioteca\\_virtual/radiopropagacion/Indoor/papers/%5B1%5D.pdf](http://gavilan.uis.edu.co/~hortegab/radiogis/biblioteca_virtual/radiopropagacion/Indoor/papers/%5B1%5D.pdf)>

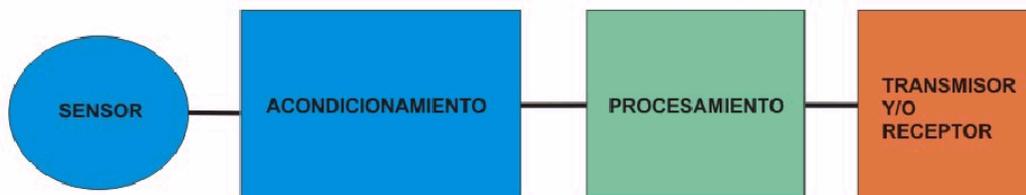
### 3.1.1. Componentes del sistema de telemetría

Los sistemas de telemetría están compuestos por diferentes elementos, y varían dependiendo de la aplicación, pero en general su estructura está constituida por nodos, encargados de hacer la medición de las variables físicas, y de un centro de monitoreo y control.

En un nodo (ver Figura 2.) se encuentra básicamente lo siguiente:

- **Sensor:** instrumento que produce una señal, usualmente eléctrica, que refleja el valor de una propiedad, mediante alguna correlación definida.
- **Acondicionamiento de la señal generada por el sensor:** proceso que se realiza cuando la señal producida por el sensor no se encuentra dentro de unos rangos apropiados para el procesamiento o almacenamiento.
- **Sistema de procesamiento y/o almacenamiento:** encargado de recibir las señales provenientes de los sensores, previo acondicionamiento, y realizar algún proceso para transmitirlo y/o almacenarlo.
- **Sistema de comunicación de datos:** encargado de la transmisión y recepción de datos por un canal, guiado o no, hacia un centro de control, usando un protocolo que permita transmitir diferentes señales, y un dispositivo receptor para recibir información del centro de control.

*Figura 2. Diagrama de bloques de un nodo*



*Fuente:*

[http://gavilan.uis.edu.co/~hortegab/radiogis/biblioteca\\_virtual/radiopropagacion/Indoor/papers/%5B1%5D.pdf](http://gavilan.uis.edu.co/~hortegab/radiogis/biblioteca_virtual/radiopropagacion/Indoor/papers/%5B1%5D.pdf)

## **3.2. ZIGBEE**

ZigBee<sup>2</sup> es un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la ZigBee Alliance. No es una tecnología, sino un conjunto estandarizado de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante.

ZigBee está basado en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (WPAN) y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos, de bajo consumo energético, de bajo costo, y maximización de la vida útil de sus baterías.

### **3.2.1. Características**

- ZigBee opera en las bandas libres ISM (Industrial, Scientific & Medical) de 2.4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (Estados Unidos).
- Velocidad de transmisión de 250 Kbps y un rango de cobertura entre 10 metros y 75 metros.
- A pesar de coexistir en la misma frecuencia con otro tipo de redes como WiFi o Bluetooth su desempeño no se ve afectado, esto debido a su baja tasa de transmisión y a características propias del estándar IEEE 802.15.4.
- Capacidad de operar en redes de gran densidad, lo que ayuda a aumentar la confiabilidad de la comunicación, ya que entre más nodos existan dentro de una red, entonces, mayor número de rutas alternas existirán para garantizar que un paquete llegue a su destino.
- Cada red ZigBee tiene un identificador de red único, lo que permita que coexistan varias redes en un mismo canal de comunicación sin ningún problema.
- Es un protocolo de comunicación multi-salto, es decir, que se puede establecer comunicación entre dos nodos aún cuando estos se encuentren fuera del rango de transmisión, siempre y cuando existan otros nodos intermedios que los interconecten, de esta manera, se incrementa el área de cobertura de la red.
- Su topología de malla (MESH) permite a la red auto recuperarse de problemas en la comunicación aumentando su confiabilidad.

---

<sup>2</sup> VALVERDE, Jorge Carlos. El Estándar Inalámbrico ZigBee. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [En Línea]. 2007. <Disponible en Fuente: <http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf>>

### 3.2.2. Tipos de dispositivos

Se definen tres tipos diferentes de dispositivos ZigBee según su papel en la red:

- **Coordinador ZigBee (ZigBee coordinator, ZC):** El tipo de dispositivo más completo. Puede actuar como director de una red en árbol así como servir de enlace a otras redes. Existe un solo coordinador por cada red, que es el nodo que la comienza en principio. Puede almacenar información sobre la red y actuar como su *centro de confianza* en la distribución de claves de cifrado.
- **Router ZigBee (ZigBee Router, ZB):** Además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario, puede actuar como router interconectando dispositivos separados en la topología de la red.
- **Dispositivo final (ZigBee End Device, ZED):** Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías.

En base a su funcionalidad puede plantearse una segunda clasificación:

- **Dispositivo de funcionalidad completa (FFD):** es capaz de recibir mensajes en formato del estándar 802.15.4. Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar, puede funcionar como coordinador o router o puede ser usado en dispositivos de red que actúen de interface con los usuarios.
- **Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD):** tiene capacidad y funcionalidad limitadas con el objetivo de conseguir un bajo coste y una gran simplicidad. Básicamente, son los sensores/actuadores de la red.

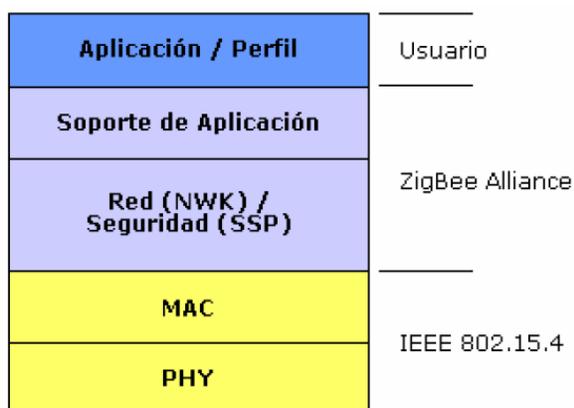
### 3.2.3. Arquitectura

ZigBee es una pila de protocolos, que de manera similar al modelo OSI está constituido por diferentes capas, las cuales son independientes una de la otra. En la Figura 3. se muestran las diferentes capas que conforman la pila de protocolos para ZigBee<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> VALVERDE, Jorge Carlos. El Estándar Inalámbrico ZigBee. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [En Línea]. 2007. <Disponible en Fuente: <http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf>>

Figura 3. Diferentes capas que conforman la pila de protocolos para ZigBee



Fuente: <http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf>

- La capa de más bajo nivel es la capa física (PHY), que en conjunto con la capa de acceso al medio (MAC), brindan los servicios de transmisión de datos por el aire, punto a punto. El estándar trabaja sobre las bandas ISM de uso no regulado, donde se definen hasta 16 canales en el rango de 2.4 GHz, cada una de ellas con un ancho de banda de 5 MHz. Se utilizan radios con un *espectro de dispersión de secuencia directa*, lográndose tasas de transmisión en el aire de hasta 250 Kbps en rangos que oscilan entre los 10 y 75 m, los cuales dependen bastante del entorno.
- La capa de red (NWK) tiene como objetivo principal permitir el correcto uso del subnivel MAC y ofrecer una interface adecuada para su uso por parte de la capa de aplicación. Es responsable de crear una nueva red y asignar direcciones a los dispositivos de la misma. Es en esta capa en donde se implementan las distintas topologías de red que ZigBee soporta (árbol, estrella y mesh network).
- La capa de soporte a la aplicación que es el responsable de mantener el rol que el nodo juega en la red, filtrar paquetes a nivel de aplicación, mantener la relación de grupos y dispositivos con los que la aplicación interactúa y simplificar el envío de datos a los diferentes nodos de la red. La capa de Red y de soporte a la aplicación, son definidas por la ZigBee Alliance.
- La capa de aplicación, no es otra cosa que la aplicación misma y de la que se encargan los fabricantes. Es en esta capa donde se encuentran los ZDO (ZigBee Device Objects) que se encargan de definir el papel del dispositivo en la red, si el actuará como coordinador, router o dispositivo final; la subcapa APS y los objetos de aplicación definidos por cada uno de los fabricantes.

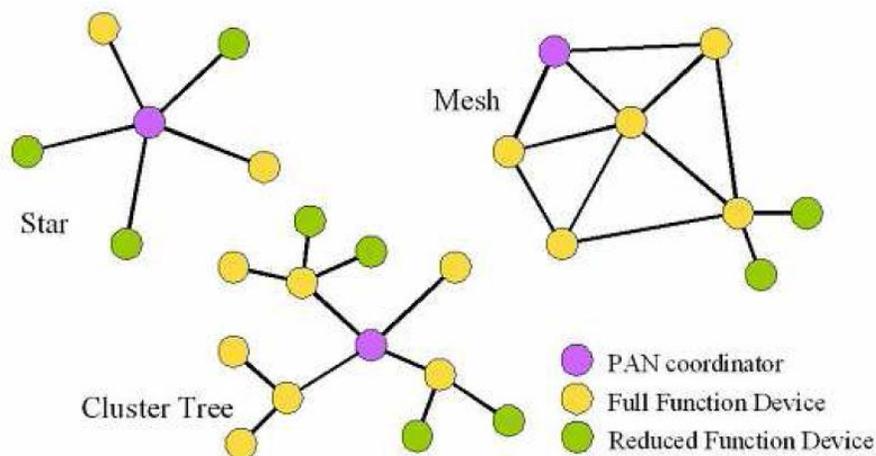
Cada capa se comunica con sus capas subyacentes a través de una interface de datos y otra de control. Las capas superiores solicitan servicios a las capas inferiores, y éstas reportan sus resultados a las superiores.

### 3.2.4. Topologías

En ZigBee existen tres tipos de topologías<sup>4</sup>: estrella, árbol, y en red mallada (mesh network), las cuales pueden observarse en la Figura 4. Siempre hay un nodo de red que asume el papel de coordinador central encargado de centralizar la adquisición y las rutas de comunicación entre dispositivos. Además, si se aplica el concepto de Mesh Network, pueden existir coordinadores o routers, alimentados permanentemente en espera de recibir/repetir las tramas de los dispositivos o sensores.

Sin lugar a dudas, una de las mayores aportaciones del ZigBee y el que mayor interés está despertando a las empresas desarrolladoras de productos, es el concepto de red nodal o mesh network por el que cualquier dispositivo ZigBee puede conectarse con otro dispositivo usando a varios de sus compañeros como repetidores. A este se le conoce como enrutado “multi-salto”, primero hace llegar la información al nodo ZigBee vecino, el cual puede además ser coordinador de la red, para así llegar al nodo destino, pasando por todos los que sean necesarios. De esta manera cualquier nodo ZigBee puede hacer llegar los datos a cualquier parte de la red inalámbrica siempre y cuando todos los dispositivos tengan un vecino dentro de su rango de cobertura.

Figura 4. Diferentes topologías de red disponibles en ZigBee.



Fuente: <http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf>

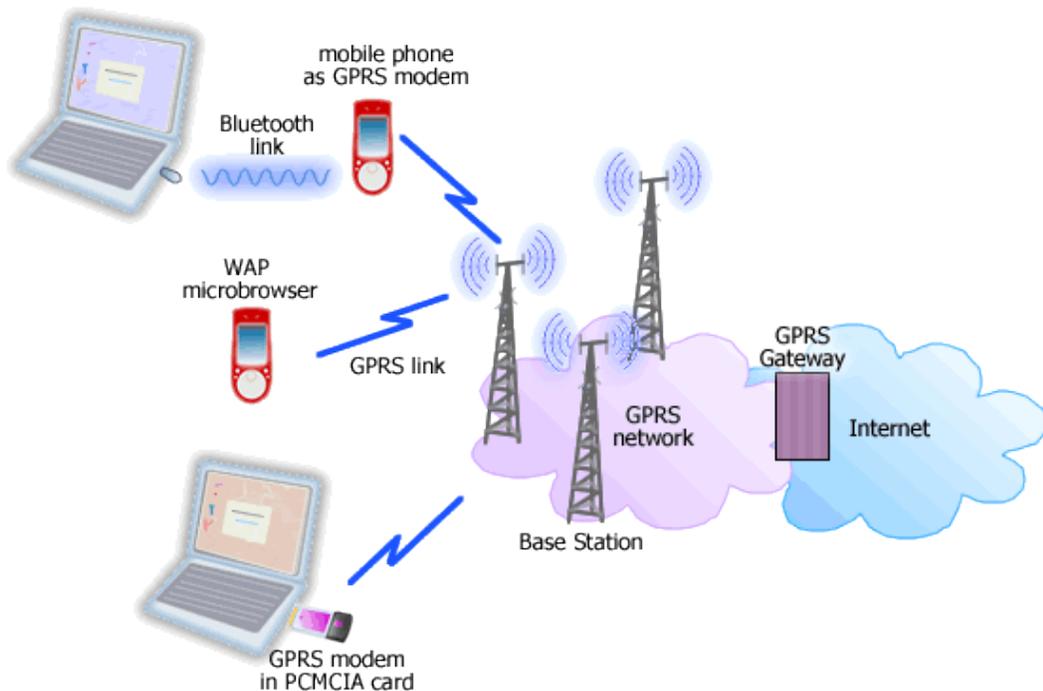
<sup>4</sup> VALVERDE, Jorge Carlos. El Estándar Inalámbrico ZigBee. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. [En Línea]. 2007. <Disponible en Fuente: <http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf>>

### 3.3. GPRS

El estándar GPRS<sup>5</sup> (*General Packet Radio Service*) es una evolución del estándar GSM y es por eso que en algunos casos se denomina GSM++ (o GSM 2+). Dado que es un estándar de telefonía de segunda generación que permite una transición hacia la tercera generación (3G), el estándar GPRS por lo general se clasifica como 2.5G.

GPRS extiende la arquitectura del estándar GSM para permitir la transferencia de paquetes de datos con una tasa teórica de alrededor de 171,2 Kbits/s (hasta 114 Kbits/s en la práctica). Gracias a su modo de transferencia en paquetes, las transmisiones de datos sólo usan la red cuando es necesario. Por lo tanto, el estándar GPRS permite que el usuario reciba facturas por volumen de datos en lugar de la duración de la conexión, lo que significa especialmente que el usuario puede permanecer conectado sin costo adicional. En la Figura 5. se muestra un esquema general de funcionamiento de la transferencia de datos mediante GPRS.

Figura 5. Esquema general de transmisión de datos mediante GPRS



Fuente: <http://justpaste.it/15ap>

<sup>5</sup> INTRODUCCIÓN AL ESTÁNDAR GPRS. [En Línea]. 2012. <Disponible en <http://es.kioskea.net/contents/telephonie-mobile/gprs.php3>>

Para el transporte de voz, el estándar GPRS emplea la arquitectura de red GSM y provee acceso a la red de datos (especialmente Internet) por medio del protocolo IP o del protocolo X.25.

GPRS admite características nuevas que no están disponibles en el estándar GSM y que se pueden clasificar en los siguientes tipos de servicios<sup>6</sup>:

- **Servicio de punto a punto (PTP)**: es la capacidad de conectarse en modo cliente-servidor a un equipo en una red IP.
- **Servicio de punto a multipunto (PTMP)**: constituye la capacidad de enviar paquetes a un grupo de destinatarios (*Multidifusión*).
- **Servicio de mensajes cortos (SMS)**.

### 3.3.1. Arquitectura de la red GPRS

La integración de GPRS a una arquitectura GSM requiere que se añadan nuevos nodos de red denominados **GSN** (nodos de soporte GPRS) ubicados en una red de transporte<sup>7</sup>:

- el router **SGSN (Nodo de soporte de servicio GPRS)** gestiona las direcciones de las terminales de la celda y proporciona la transferencia de la interfaz de paquetes con la pasarela **GGSN**.
- la pasarela **GGSN (Nodo de soporte de pasarela GPRS)** se conecta con otras redes de datos (Internet). En particular, GGSN debe proporcionar una dirección IP a las terminales móviles durante toda la conexión.

### 3.3.2. Calidad de servicio

GPRS integra el concepto de calidad de servicio (QoS), que representa la capacidad de adaptar el servicio a las necesidades de una aplicación. Los criterios de calidad de servicio son los siguientes:

- Prioridad
- Confiabilidad

---

<sup>67</sup> INTRODUCCIÓN AL ESTÁNDAR GPRS. [En Línea]. 2012. <Disponible en <http://es.kioskea.net/contents/telephonie-mobile/gprs.php3>>

Además GPRS define dos clases de confiabilidad:

- Demora
- Rendimiento

### 3.3.3. Codificación GPRS

El estándar GPRS especifica 4 esquemas de codificación, mostrados en la Tabla 1, llamados CS-1, CS-2, CS-3 y CS-4. Cada uno define el nivel de protección de los paquetes contra interferencias para poder degradar la señal según la distancia entre las terminales móviles y las estaciones base. Cuanto mayor sea la protección, menor será el rendimiento.

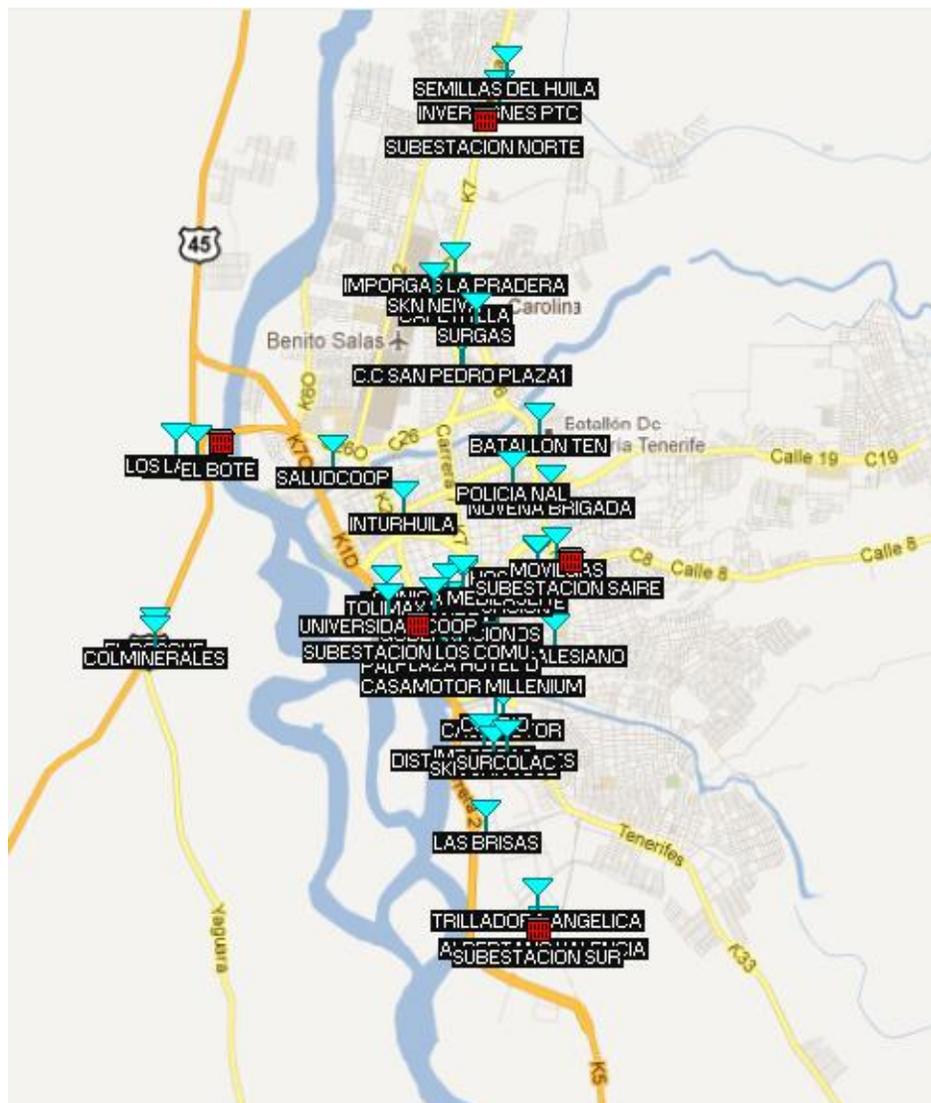
*Tabla 1. Esquemas de codificación GPRS*

<b>Esquema de codificación</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Protección</b>
CS-1	9,05 Kbit/s	Normal (señalización)
CS-2	13,4 Kbit/s	Ligeramente menor
CS-3	15,6 Kbit/s	Reducida
CS-4	21,4 Kbit/s	Sin error de conexión

#### 4. SITUACION ACTUAL DE LAS REDES DE TELEMETRIA

Actualmente, ELECTROHUILA S.A. E.S.P utiliza la línea telefónica como medio para la transmisión de datos de los medidores de 37 usuarios propios no regulados en la ciudad de Neiva, como se observa en la Figura 6.

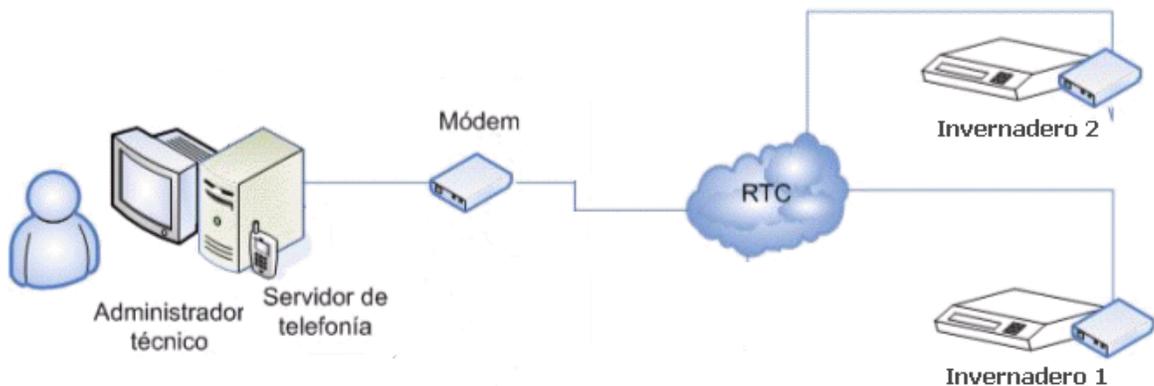
Figura 6. Ubicación de usuarios propios no regulados



Estos usuarios cuentan con medidores electrónicos, como el que se puede ver en la Figura 8, que son capaces de recolectar, procesar, almacenar y transmitir datos de demanda de energía (medidores ELSTER, ACTARIS, entre otros). Éstos registran las mediciones realizadas en intervalos de tiempo programados

previamente. Aprovechando estas características, se utilizan módems telefónicos, como el de la Figura 9, para adquirir los datos correspondientes al consumo de energía, y ser transmitidos posteriormente a través de la línea telefónica propiedad del usuario, hasta la subestación o centro de mando correspondiente. Allí son leídos a través de otro modem telefónico, y transmitidos vía serial a un equipo servidor que, mediante un software de gestión, toma y analiza esos datos para realizar distintas funciones: pruebas de transmisión, registros, sincronizaciones, selección de información, entre otras. En la Figura 7. podemos ver un esquema simple de este sistema de telemetría.

*Figura 7. Esquema general de un sistema de telemetría por línea telefónica*



Fuente: <https://sites.google.com/site/giaxwersoft/telemetry>

*Figura 8. Medidor electrónico Alpha II*

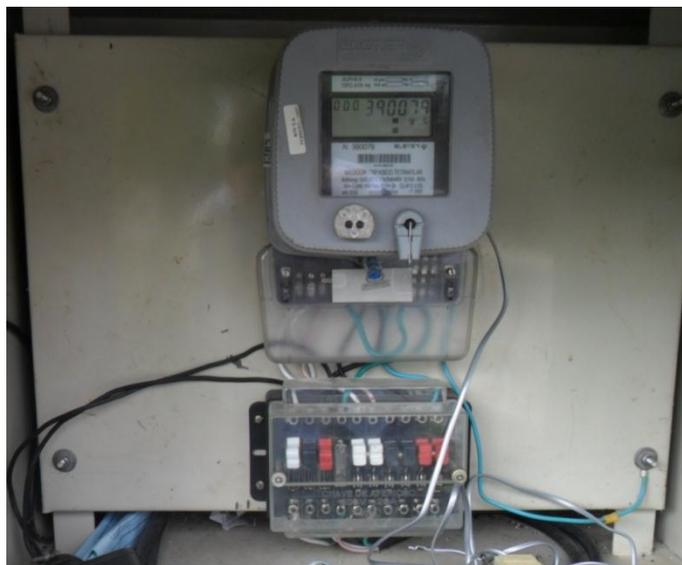


Figura 9. Modem USRobotics V.92



De acuerdo a lo anterior, las fallas más frecuentes de este sistema, son ocasionadas por problemas en la línea telefónica (ruido en la línea generado por malas conexiones en terminales, empalmes mal realizados, etc.), suspensión o corte de la misma, como se resumen en la Tabla 2, Tabla 3. y Tabla 4.

Tabla 2. Fallas del sistema de teled medida en el año 2011

Tipo de Comunicación	Fallas
Telefónico	271 (87%)
Celular	42 (13%)
<b>TOTAL</b>	<b>313</b>

Tabla 3. Fallas del sistema GPRS en el año 2011 según operador de red

Operador de Red	Fallas
Comcel	28
Movistar	14
<b>TOTAL</b>	<b>42</b>

Tabla 4. Tipo de fallas por sistema telefónico en Neiva en el año 2011

Tipo de Falla	Fallas
Daño o bloqueo en modem	28
Daño en línea telefónica	183
<b>TOTAL</b>	<b>211</b>

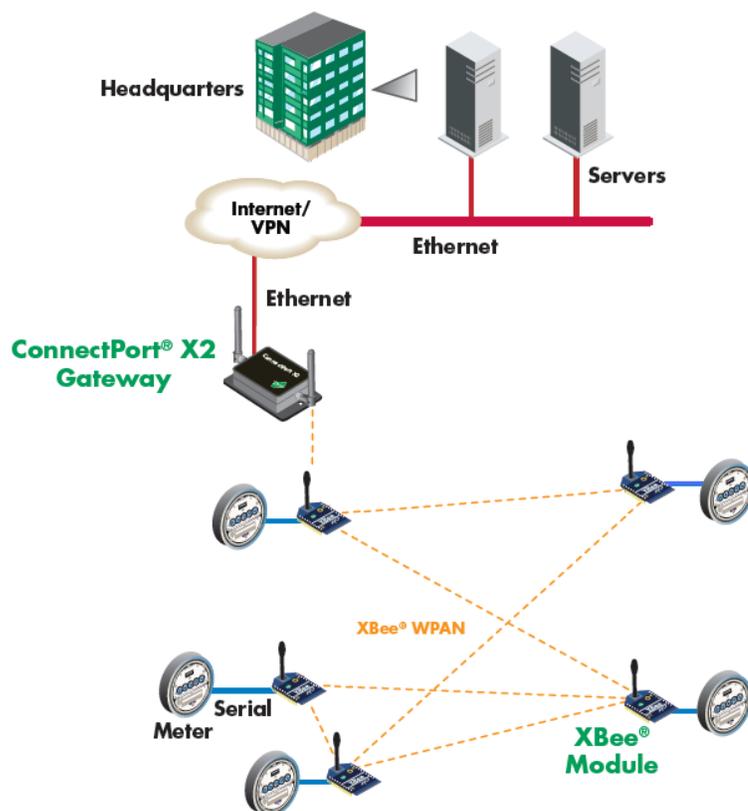
## 5. DISEÑO DE RED INALÁMBRICA ZIGBEE

En esta sección se resume el diseño de una red de comunicación inalámbrica mediante protocolo Zigbee, encargada de la transmisión de datos desde los medidores electrónicos de energía instalados en los usuarios propios no regulados de ELECTROHUILA S.A. E.S.P.

### 5.1. PLANTEAMIENTO DE RED INALÁMBRICA

El sistema de medición remota, consta de medidores de energía eléctrica con un sistema electrónico de procesamiento, conectado a un sistema de comunicación inalámbrica, mediante protocolo Zigbee, creando una red de transmisión con topología de malla (Mesh), hasta a un módulo *Gateway* ubicado en el centro de mando correspondiente o subestación secundaria (Centro, Planta Diesel, Norte, Sur, Oriente) y desde aquí, se enviarán a la subestación de control principal (El Bote), mediante conexión de fibra óptica interna. En la Figura 10. se muestra un esquema general de la red a diseñar.

Figura 10. Esquema general de la red inalámbrica



Fuente: [http://www.digi.com/pdf/ds\\_connectportx2.pdf](http://www.digi.com/pdf/ds_connectportx2.pdf)

## 5.2. MODULO ZIGBEE XBEE

Este proyecto se centra sobre el Módulo Zigbee XBee-Pro SE<sup>8</sup> (mostrado en la Figura 11), el cual requiere un voltaje de alimentación de 3.3V y corrientes de hasta 290mA para transmisión de datos, con la posibilidad de manejar menos de 10uA cuando se encuentra en inactivo; por lo anterior, resultan tener baterías de larga duración, permitiendo un consumo mínimo de energía. Además de comunicación inalámbrica, también utiliza un circuito adaptador de niveles RS232 para realizar comunicación directa con un computador vía serial.

*Figura 11. Módulo Zigbee XBee*



Fuente <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/zigbee-mesh-module/xbee-zb-module#overview>

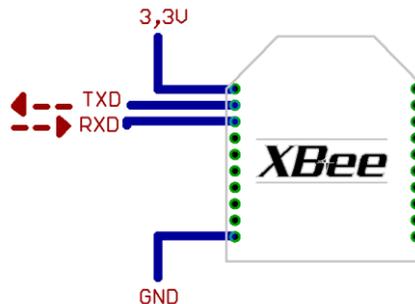
### 5.2.1. Circuito básico

La Figura 12. muestra las conexiones mínimas necesarias para que el Módulo XBee sea utilizado. Luego de esto, se configura de acuerdo al modo de operación seleccionado para la transmisión de datos.

---

<sup>8</sup> XBee-PRO SE (Smart Energy) RF Modules. [En Línea] <Disponible en [http://www.digi.com/standards/smart-energy/assets/90033931\\_A.pdf](http://www.digi.com/standards/smart-energy/assets/90033931_A.pdf)>

Figura 12. Conexiones mínimas requeridas para el módulo Zigbee.



Fuente: [http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia\\_Usuario.pdf](http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuario.pdf)

### 5.2.2. Configuración del módulo XBee

Si bien es cierto que es posible utilizar Hyperterminal de Windows, o cualquier interface de tipo serial, para configurar un módulo XBee, existe un programa llamado X-CTU, el cual permite realizar estas operaciones de manera más natural, fácil y rápida.

En el caso de esta red, no existirá un router final, debido a que todos los módulos deben permitir comunicación inalámbrica, además de la medición de datos vía serial, desde el medidor a aquellos que así se dispongan, garantizando de esta forma, que existan varios enlaces para transmitir información.

Para comenzar, se conecta el módulo XBee al computador y ejecutamos el programa X-CTU. Una vez iniciado, podemos ver una ventana como la de la Figura 13, en la que se muestra un listado de puertos del computador, y se selecciona aquel en el que esté conectado el módulo. También se observa los parámetros de comunicación que se pueden modificar: tasa de baudios, control de flujo, número de bits por datos, paridad y bits de parada. Una vez verificada esta información, seleccionamos *Test/Query* para probar el módulo, y si todo está bien, desplegará un cuadro de diálogo con la información de éste (tipo de módulo XBee, versión del programa interno del microcontrolador que lleva grabado, número único de serie).

A continuación, se procede a configurar cada módulo XBee según la función que realizará en la red -sea coordinador o router- y para ello, accedemos a la pestaña *Modem Configuration*, como se aprecia en la Figura 14. Una vez en ella, seleccionamos *Read* para leer el *firmware* -programa del microcontrolador- que lleva grabado el módulo. De esta forma, se muestran unas listas desplegables y una serie de parámetros de configuración, para seleccionar distintos programas a grabar en los módulos, en función del tipo de dispositivo deseado en la red. Con las tres listas desplegables *Modem XBee*, *Function Set* y *Version* se selecciona el programa a descargar en el módulo.

Figura 13. Verificación de inicio de módulos

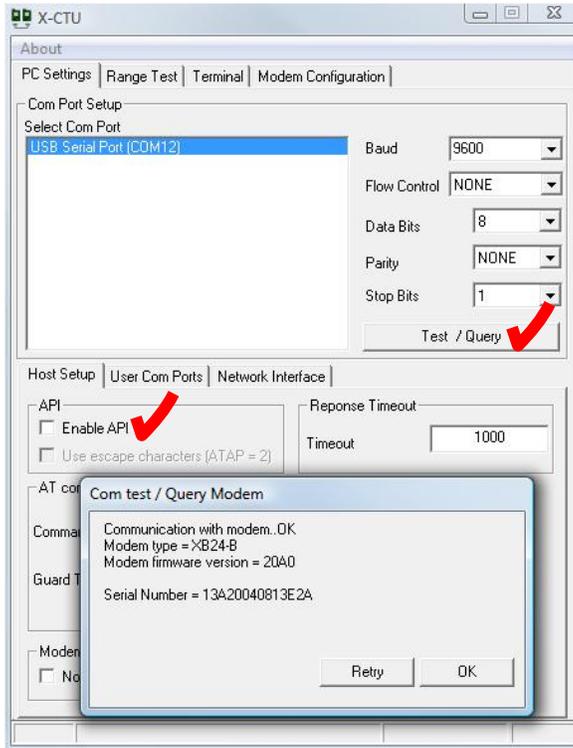
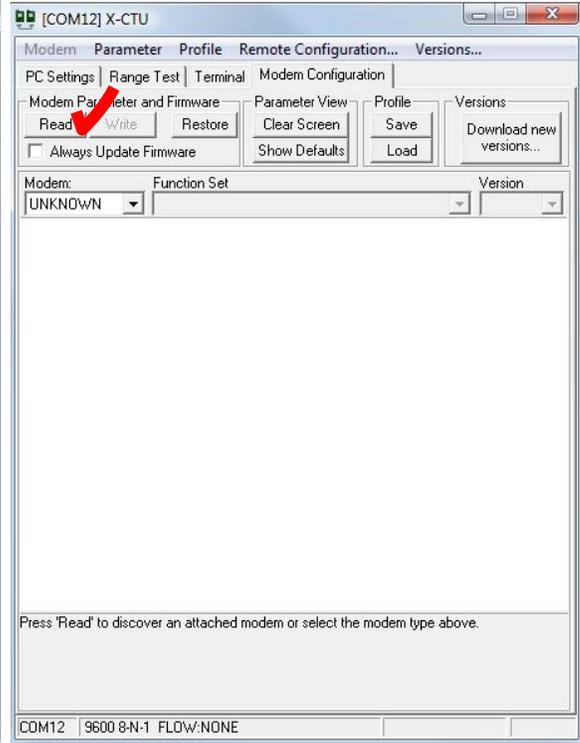


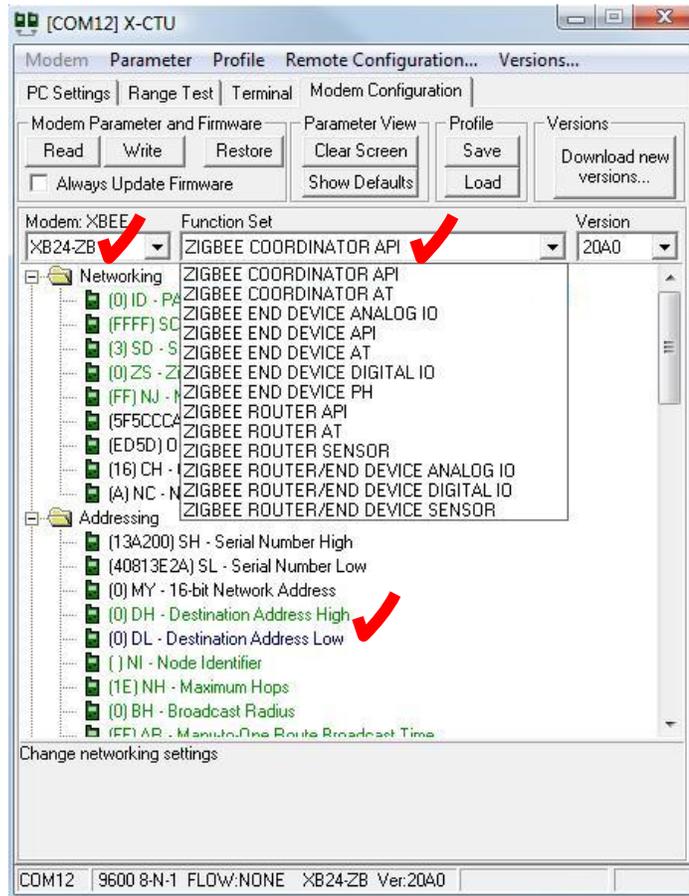
Figura 14. Configuración de módulos



Como se muestra en la Figura 15, *Modem XBee* indica el tipo de módulo adquirido. En *Function Set* se decide si grabar un programa para que el módulo funcione como coordinador, router o dispositivo final. Dentro de cada una de éstas 3 opciones podemos elegir otras más, como que lea un sensor, o active una de sus salidas. La decisión más importante es decidir la configuración de los módulos como AT o como API, es decir, el tipo de comunicación con el puerto serie (UART) del microcontrolador interno del módulo. Para este caso será el modo API, que permite el uso de paquetes de datos con cabeceras, para asegurar la transmisión de éstos<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> FALUDI, Robert. Building Wireless Sensor Networks. Free online Edition. Sebastopol, Ukraine: O'Reilly, 2011.

Figura 15. Detalles de configuración de módulos



### 5.2.2.1. Configuración de coordinador ZigBee

Para establecer la red, se configura uno de los módulos como *ZigBee Coordinator API*. Este módulo debe usar el firmware API para funcionar correctamente, debido a que los datos sólo son transmitidos en modo API. Cuando se cambia de modo AT a API, puede presentarse un mensaje de error que indique que el módulo no se ha conectado. En la pestaña *PC Settings* en el cuadro *Enable API* se habilita la comunicación de este modo.

Una vez establecido el modo API, el módulo sólo puede ser configurado en el software X-CTU. Ahora, se ingresa en el coordinador un identificador de red, o *PAN ID*, que puede seleccionarse entre *0x0* y *0xFFFFFFFFFFFFFFFF*, y luego se selecciona *Write*. Ésta ID debe ser la misma con la que se programa los routers, ya que todos los módulos de la red deben usar el mismo *PAN ID* para comunicarse entre ellos. En este caso, no hay necesidad de especificar la dirección de destino *-DH* y *DL-* ya que el coordinador solo recibirá datos.

### 5.2.2.2. Configuración de router ZigBee

Para completar la red, se configura cada uno de los módulos restantes como *ZigBee Router AT*. Estos módulos usarán el firmware AT para configurarlos fácilmente con una interface serial. Cuando se cambia de modo API a AT, puede presentarse un mensaje de error que indique que el módulo no se conecta. En la pestaña *PC Settings* en el cuadro *Enable API* se deshabilita la comunicación de este modo.

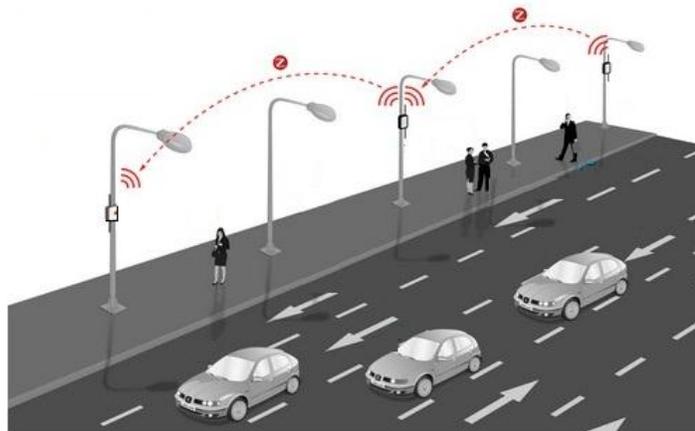
Una vez establecido el modo AT, se ingresa la misma *PAN ID* que se ingresó en el coordinador. Posteriormente se ingresa la dirección del coordinador *DH-DL*.

Cumpliendo con los requerimientos de la red inalámbrica propuesta, es necesario recordar que los módulos que se programaran como routers, se encargarán tanto de extraer la medición desde el medidor electrónico, como de transmitir información de las mediciones desde el usuario hasta el coordinador o *Gateway*.

### 5.2.3. Instalación de módulos XBee

Para garantizar una comunicación óptima entre los routers Zigbee XBee, éstos deben tener línea de vista entre ellos, y a sabiendas de que cada uno debe estar disponible para transmitir información hasta con otros cuatro de éstos, debido a la disposición de las calles en la ciudad, es necesaria la instalación de éstos sobre postes de distribución de energía eléctrica, como se muestra en la Figura 16.

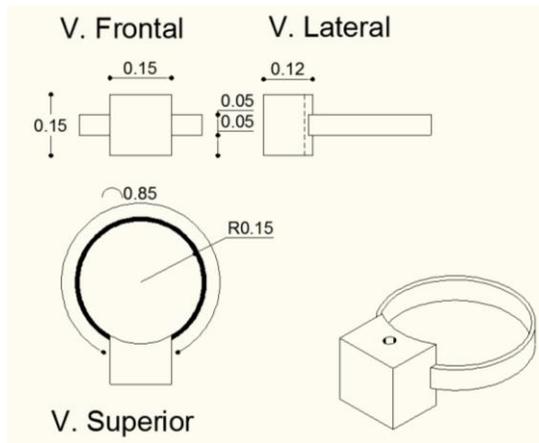
Figura 16. Modo de ubicación de routers



Fuente: <http://davidruyet.wordpress.com/2012/01/12/para-que-sirven-las-smart-city/>

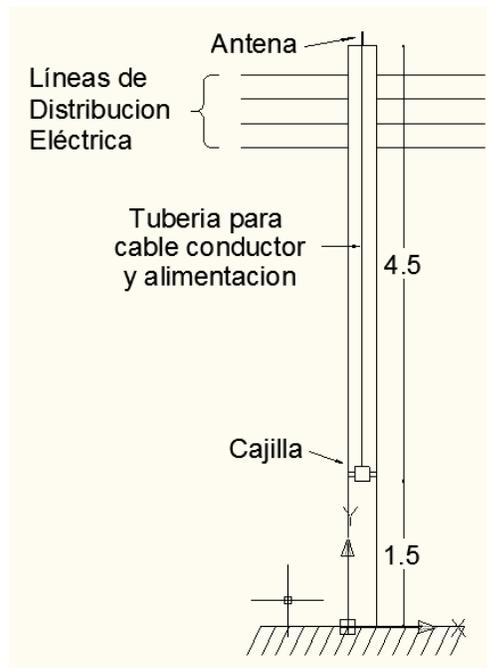
Aprovechando la ubicación y altura de los postes, la antena de comunicación debe estar en la parte superior conectada con el módulo Zigbee, el cual se encontrará en una cajilla dispuesta a una altura de 1.5m sobre el nivel del suelo (como se observa en la Figura 17). De esta forma, se garantiza una fácil instalación y mantenimiento de los módulos por parte de los operarios de ELECTROHUILA S.A. E.S.P. En la Figura 18. se muestra la ubicación de la antena y el módulo sobre los postes de distribución.

Figura 17. Diseño de cajilla para módulo Zigbee



Nota: Distancias en metros

Figura 18. Ubicación de módulo Zigbee y antena en postes de distribución eléctrica



Nota: Distancias en metros

### 5.3. HARDWARE DE COMUNICACIÓN

En el diseño de la red inalámbrica, el hardware utilizado gira alrededor de los elementos y equipos proporcionados para el módulo Zigbee XBee, como lo son adaptadores RS232 y el módulo Gateway<sup>10</sup> para realizar la interface entre protocolo Zigbee y Ethernet.

#### 5.3.1. Adaptador XBee RS232

Para realizar de una forma sencilla, el módulo lleva un circuito para comunicación serial con un computador o dispositivo con interface serial, como se muestra en la Figura 20. El circuito se alimenta con una fuente externa de 5 a 12 voltios y tiene protección contra inversión de polaridad, así como LED's indicadores de la actividad del módulo para supervisar su funcionamiento.

#### 5.3.2. Gateway XBee

Es el encargado de crear una conexión y convertir las señales recibidas desde los módulos XBee, de protocolo Zigbee a Ethernet (ver Figura 19). Esto permite que la información sea manipulada por sistemas de control como SCADA.

*Figura 19. Gateway XBee*

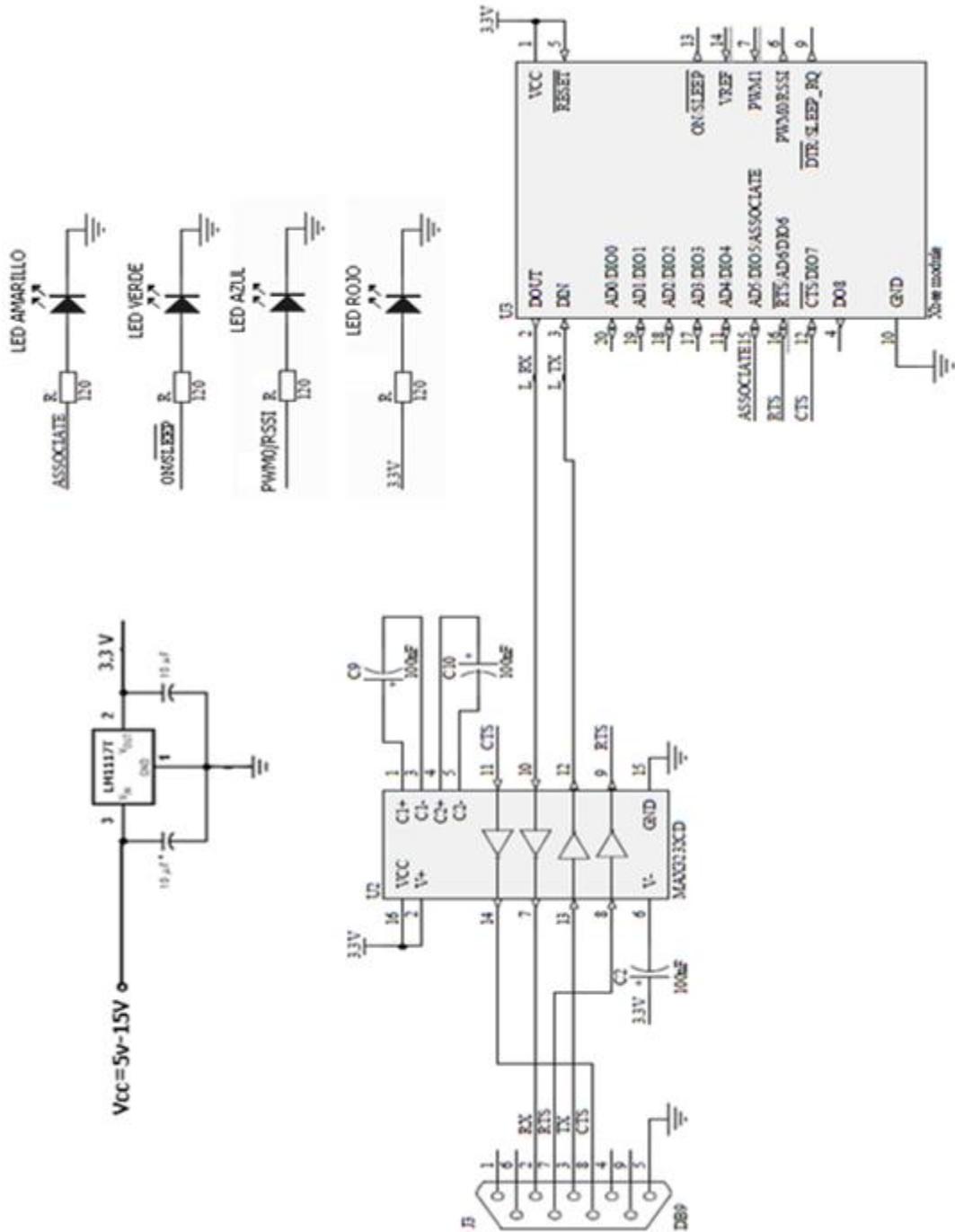


*Fuente: <http://www.digi.com/products/wireless-routers-gateways/gateways/connectportx2gateways#overview>*

---

<sup>10</sup> XBee Gateway. [En Línea]. <Disponible en [http://www.digi.com/pdf/ds\\_connectportx2.pdf](http://www.digi.com/pdf/ds_connectportx2.pdf)>

Figura 20. Diseño de circuito de interface: convertidor RS232/Zigbee



## 5.4. CONFIABILIDAD DE LA RED

Para el manejo de señales de radiofrecuencia por lo general se deben varios factores que pueden afectar su propagación como lo son:

- Línea de vista
- Zonas de Fresnel
- Multitrayectorias
- Perdidas en espacio libre
- Potencia de recepción
- Margen respecto al umbral
- Confiabilidad de los enlaces

Para el caso de nuestra red, los principales inconvenientes se podrían presentar en la línea de vista, las perdidas en espacio libre y potencia de recepción. Los dos primeros inconvenientes, debido a que pueden existir ramificaciones de arboles que interfieran en alguna medida la transmisión de información, a pesar de que debe existir buena línea de vista entre los módulos gracias a la corta distancia entre ellos y la ubicación de sus antenas. El segundo inconveniente deriva de los anteriores, ya que, en caso de presentar interferencias, puede existir disminución de la potencia de la señal.

Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario definir el nivel mínimo de señal recibida en la transmisión (potencia umbral del receptor), para lo que se hallan las perdidas en espacio libre, la potencia de recepción y el margen respecto al umbral.

### 5.4.1. Pérdidas por propagación en espacio libre

La pérdida en el espacio libre mide la dispersión de la potencia en un espacio libre sin obstrucciones. Ésta es proporcional a la distancia y también proporcional a la frecuencia. En dB, esto resulta en la siguiente ecuación<sup>11</sup>:

$$A_{o_{dB}} = 20 \log \left( 4\pi d \frac{f}{\lambda} \right)$$

$$d \text{ (Distancia máxima entre dos routers)} = 250m$$

$$f \text{ (frecuencia de banda)} = 2.4 \text{ GHz}$$

$$A_{o_{dB}} = 20 \log \left( 4\pi(250) \frac{2400}{300} \right)$$

$$A_{o_{dB}} = \mathbf{88,004 \text{ dB}}$$

---

<sup>11</sup> WAYNE, Tomasi. Sistemas de comunicaciones electrónicas. Cuarta edición. México: Prentice hall, 2003.

## 5.4.2. Potencia de recepción

La potencia de recepción<sup>12</sup> ( $P_{RX}$ ) se halla mediante la diferencia que existe entre la potencia del emisor, las atenuaciones (por propagación en espacio libre, cables, conectores, entre otras) y las ganancias de antena. Esta potencia se determina para el enlace más distante, y garantizar así una buena comunicación, usando la siguiente ecuación:

$$P_{RX} = P_{TX} - A_{g1} - A_{g2} + G_1 + G_2 - A_0 - A$$

Donde:

$P_{RX}$  → Potencia de Recepción<sup>13</sup>

$P_{TX}$  → Potencia de transmisión (máxima permitida por el módulo)

$A_{g1} = A_{g2}$  → Atenuación por cable y conector<sup>14</sup> 1 y 2 respectivamente

$G_1$  → Ganancia de antena 1 (máxima permitida por antena tipo whip)

$G_2$  → Ganancia de antena 2 (máxima permitida por antena tipo whip)

$A_0$  → Perdida por propagación en espacio libre

$A$  → Atenuación por desvanecimiento, interferencia, difracción, etc.<sup>15</sup>

Teniendo que:

$$P_{TX} = \underline{18 \text{ dBm}} \quad A_{g1} = A_{g2} = \underline{5 \text{ dB}} \quad G_1 = G_2 = \underline{15 \text{ dBi}} \quad A_0 = \underline{88,004 \text{ dB}} \\ A = \underline{10 \text{ dB}}$$

La potencia de recepción será:

$$P_{RX} = P_{TX} - A_{g1} - A_{g2} + G_1 + G_2 - A_0 - A$$

$$P_{RX} = 18 - 5 - 5 + 15 + 15 - 88,004 - 10$$

$$\mathbf{P_{RX} = -60,004 \text{ dBm}}$$

---

<sup>12</sup> WAYNE, Tomasi. Sistemas de comunicaciones electrónicas. Cuarta edición. México: Prentice hall, 2003.

<sup>13</sup> Para nuestra red, este valor debe estar entre -40dbm y -80dbm para garantizar la recepción de datos.

<sup>14</sup> Las atenuaciones generadas por cable y conector de antenas generalmente son nulas debido a que se utilizan equipos con antenas integradas y estas están acopladas eliminando esta atenuación, aunque para este caso se considera de 5 dB.

<sup>15</sup> Para este caso, se considera una atenuación de 10 dB por desvanecimiento, difracción, interferencia, etc.

### 5.4.3. Margen respecto al umbral

Se determina mediante la diferencia entre la potencia de recepción y la potencia umbral de receptor, y se halla aplicando la siguiente ecuación<sup>16</sup>:

$$Mu = P_{RX} - P_u$$

Donde:

$P_{RX}$  → Potencia de Recepción

$P_U$  → Potencia de Umbral del receptor (dBm)

$M_U$  → Margen respecto al umbral (dBm)

### 5.4.4. Confiabilidad del enlace de comunicación

La confiabilidad del sistema se define como el porcentaje de tiempo que un enlace no se suspende por efecto del desvanecimiento. Ésta se determina al resolver las ecuaciones de confiabilidad de Barnett-Vignant<sup>17</sup> y como resultado se obtiene la siguiente fórmula:

$$R = 1 - 10^{\frac{30 \log(d) + 10 \log(6ABf) - 70 - Mu}{10}}$$

Donde:

$d$  → Distancia del trayecto (Km)

$f$  → Frecuencia del enlace (GHz)

$A$  → Factor de rugosidad del terreno.

= 4 sobre agua o sobre un terreno muy liso.

= 1 sobre un terreno promedio con alguna rugosidad.

= 1/4 sobre un terreno muy rugoso y montañoso.

$B$  → Factor para convertir la peor probabilidad mensual en una anual.

= 1 para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual.

= 1/2 para áreas calientes y húmedas.

= 1/4 para áreas continentales promedio.

= 1/8 para áreas muy secas o montañosas.

---

<sup>16</sup> FLICKENGE, Rob. Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo, Una guía práctica para planificar y construir infraestructuras de telecomunicaciones de bajo costo. Segunda edición. Londres: Limehouse Book Sprint Team, 2007.

<sup>17</sup> WAYNE, Tomasi. Sistemas de comunicaciones electrónicas. Cuarta edición. México: Prentice hall, 2003.

Teniendo que:

$$d = 0.25 \text{ Km} \quad f = 2.4 \text{ GHz} \quad A = 1 \quad B = \frac{1}{2}$$

Y despejando  $Mu$  (margen respecto al umbral) de esta ecuación se obtiene:

$$Mu = 30 \log(d) + 10 \log(6ABf) - 70 - 10 \log(1 - R)$$

Teniendo como referencia los valores hallados anteriormente y considerando una confiabilidad de los enlaces de 99.99% se tiene que:

$$Mu = 30 \log(0.25) + 10 \log\left(6 * 1 * \frac{1}{2} * 2.4\right) - 70 - 10 \log(1 - 0.9999)$$

$$Mu = -18,06179 + 8,5733 - 70 + 40$$

$$\mathbf{Mu = -39,488 \text{ dBm}}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación de margen de umbral se tiene:

$$-39,488 = -60,004 - P_u$$

$$\mathbf{P_u = -20,515 \text{ dBm}}$$

## 6. COMPARACION RED ZIGBEE - RED GPRS

### 6.1. FUNCIONAMIENTO DE RED GPRS

De los 84 usuarios propios no regulados, ELECTROHUILA S.A. E.S.P cuenta con 26 que usan la red celular GPRS. Su sistema de teledicada utiliza la red celular para la comunicación del medidor con el servidor, donde son almacenados la información y los registros de medida.

Una conexión GPRS está establecida por la referencia a su nombre del punto de acceso (APN). Para fijar una conexión de GPRS para un módem inalámbrico, un usuario debe especificar un APN, opcionalmente un nombre y contraseña de usuario, y muy raramente una dirección IP, todo proporcionado por el operador de red. La transferencia de datos de GPRS se cobra por volumen de información transmitida (en kilo o megabytes).

La configuración GPRS es sólo una modificación de la forma de transmitir datos en una red GSM, pues se pasa de la conmutación de circuitos en GSM, donde el circuito está permanentemente reservado mientras dure la comunicación, aunque no se envíe información en un momento dado, a la tecnología de conmutación por paquetes, en la que la información se transmite en pequeñas ráfagas de datos a través de una red basada en IP. En la Figura 21. se observa un esquema general de un sistema de comunicación basado en red celular GPRS.

Figura 21. Sistema de Comunicación GPRS



Fuente: [http://exemys.com.ar/beta/espanol/productos/1modulo-de-telecontrol-y-telemetria-celular-gsm-gprs/Puerto\\_serie.shtml](http://exemys.com.ar/beta/espanol/productos/1modulo-de-telecontrol-y-telemetria-celular-gsm-gprs/Puerto_serie.shtml)

## 6.2. ANALISIS DE COSTOS RED ZIGBEE - RED GPRS

Una vez establecido el diseño de la red inalámbrica ZigBee y conocer las características de la red GPRS utilizada por ELECTROHUILA S.A. E.S.P., se procede a realizar un análisis presupuestal de los sistema de medición por línea telefónica, GPRS y ZigBee.

En la Tabla 5. y Tabla 6. se observan los costos de los dispositivos y equipos que se utilizan para la implementación de cada tipo de sistema, teniendo en cuenta que los medidores electrónicos se usan en todos los sistemas, por lo que no se incluyen en ésta.

*Tabla 5. Costos de dispositivos empleados en cada sistema de medición*

SISTEMA	ITEM	DESCRIPCION	VALOR UNITARIO	VALOR + IVA
ACTUAL	US Robotics V.92	Fax Modem 56k	\$ 450.000,00	\$ 522.000,00
	Línea Telefónica Básica	Servicio Telefónico Mensual	\$ 17.133,00	\$ 19.870,00
GPRS	Gsm1318-50	Módem Spider SAG+ de Enfora con Antena y Fuente	\$ 334.450,00	\$ 387.962,00
	Plan de Datos Mensual	Plan de Datos 5 Megas Comcel	\$ 16.800,00	\$ 20.000,00
	Plan de Datos Mensual	Plan de Datos 5 Megas Movistar	\$ 19.320,00	\$ 23.000,00
ZIGBEE	Gateway Connect Port 2x	Gateway ZigBee-Ethernet	\$ 550.600,00	\$ 638.696,00
	Adaptador XBee-RS232	Modulo XBee 3.2km, Antena 2.4 GHz Y Fuente	\$ 232.200,00	\$ 280.000,00

*Tabla 6. Costo total de equipos por sistema de medición*

SISTEMA	TOTAL SISTEMA
ACTUAL	\$ 541.870,00
GPRS	\$ 430.962,00
ZIGBEE	\$ 918.696,00

Ahora, este costo total por sistema solo se hace por valor unitario. En la Tabla 7 y Tabla 8 podemos ver un análisis detallado de costos a cinco años para el usuario, en el que se añaden otros conceptos como equipos medidores electrónicos, mantenimientos y visitas por fallas, etc.

*Tabla 7. Análisis comparativo de costos para el usuario por sistema de medición*

SISTEMA	CONCEPTO	VALOR CONCEPTO POR AÑO				
		1	2	3	4	5
ACTUAL	Servicio Telefónico	240.000,00	240.000,00	240.000,00	240.000,00	240.000,00
	Inversión <sup>18</sup>	1.798.000,00				
	Mantenimiento	300.000,00	300.000,00	300.000,00	300.000,00	300.000,00
	<b>Total Anual (\$)</b>	2.338.000,00	540.000,00	540.000,00	540.000,00	540.000,00
GPRS	Servicio Plan de Datos	208.800,00	208.800,00	208.800,00	208.800,00	208.800,00
	Inversión <sup>19</sup>	1.647.200,00				
	Mantenimiento	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00
	<b>Total Anual (\$)</b>	1.906.000,00	258.800,00	258.800,00	258.800,00	258.800,00
ZIG-BEE	Servicio Telefónico o Plan de Datos	0	0	0	0	0
	Inversión <sup>20</sup>	2.188.352,94				
	Mantenimiento	49.411,76	49.411,76	49.411,76	49.411,76	49.411,76
	<b>Total Anual (\$)</b>	2.237.764,71	49.411,76	49.411,76	49.411,76	49.411,76

*Tabla 8. Costo total para el usuario por sistema de medición a cinco años*

SISTEMA	VALOR NETO PRESENTE TASA (3%)
ACTUAL	\$ 4.218.672,95
GPRS	\$ 2.784.451,52
<b>ZIGBEE</b>	<b>\$ 2.350.905,92</b>

<sup>18</sup> Incluye: Medidor electrónico + Módem telefónico

<sup>19</sup> Incluye: Medidor electrónico + Módulo celular

<sup>20</sup> Incluye: Medidor electrónico + Inversión realizada por 1 de 34 usuarios para la instalación de 94 módulos correspondientes a una red inalámbrica

Desde el punto de vista económico y teniendo en cuenta el costo total por sistema a cinco años, el usuario ahorra hasta 16% utilizando el sistema de medición basado en tecnología ZigBee con respecto al sistema basado en GPRS y hasta un 45% con respecto al sistema actual de medición por línea telefónica.

### **6.3. VENTAJAS RED ZIGBEE - RED GPRS**

Como se detalló anteriormente, la gran ventaja que tiene una red de telemetría diseñada para protocolo Zigbee sobre una para GPRS consiste en su eficiencia y en los costos de operación y transmisión de datos.

Un módulo que maneja protocolo Zigbee es mucho más económico que un módem celular. A pesar de esto, debido a la gran cantidad de módulos Zigbee a utilizar, se equipararían costos de la red Zigbee, si no es que se aumentarían con respecto a la red GPRS. Pero, como para la transmisión de información a través de módems celulares se necesita contratar planes de transmisión de datos, el costo de operación -además de ser alto en su fase de instalación y puesta en funcionamiento- es constante, a diferencia de la red Zigbee que transmite información libremente entre sus dispositivos.

Además de las ventajas de tipo económico, el manejo de módulos ZigBee ofrece una gran ventaja como lo es la duración y vida útil, debido a su bajo consumo energético (3.3V a 300mA para transmisión y 45mA para recepción) y al ahorro que se presenta cuando éstos a modo inactivo (menos de 15mA). También se presentan ventajas por el tipo de red diseñada (Mesh), ya que, de esta forma existen múltiples nodos intermedios que permiten transmitir información de un nodo a otro mediante varios enlaces, lo cual aumenta la confiabilidad y el área de cobertura de la red.

### **6.4. RED INALÁMBRICA ZIGBEE EN LA CIUDAD DE NEIVA**

Teniendo la mejor opción de red inalámbrica para utilizar, en cuanto a eficiencia y costos, ahora se ubican los nodos de la red en la ciudad de Neiva para prestar el servicio de medición a los 37 usuarios propios no regulados, mediante el sistema de medición mediante red inalámbrica ZigBee. Para esto, se utilizan como punto base las subestaciones de energía que se encuentran dentro del perímetro urbano de la ciudad, creando así, varias redes inalámbricas que se comunicarán con la subestación principal (El Bote) mediante Ethernet y sistemas SCADA.

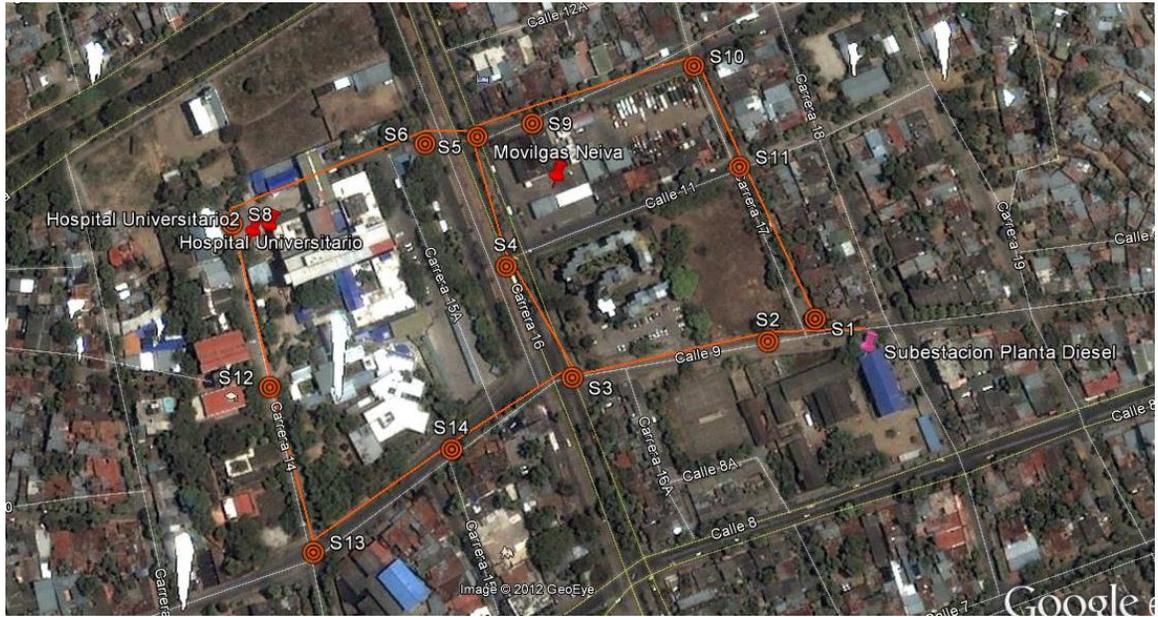
De acuerdo a lo anterior, se crean cuatro redes. La *Red 1* comprende los usuarios que se encuentran en el centro y algunos del sur de la ciudad, entre Avenida Circunvalar y Carrera 10, y entre Avenida La Toma y Calle 9 Sur, tomando como base la subestación "Centro" ubicada en el Centro Comercial Los Comuneros, como se aprecia en la Figura 22.

Figura 22. Red 1: Subestación Centro



La Red 2 comprende los usuarios que se encuentran en el centro oriente de la ciudad, entre Carrera 13 y Carrera 18, y entre Avenida La Toma y Calle 8, tomando como base la subestación “Planta Diesel”, ubicada en la Carrera 18 con Calle 9, como se aprecia en la Figura 23.

Figura 23. Red 2: Subestación Planta Diesel



La Red 3 comprende los usuarios que se encuentran al norte de la ciudad, sobre la Carrera 7 entre Calles 74 y Calles 81, tomando como base la subestación “Norte”, ubicada en la Carrera 7 con Calle 74C, como se aprecia en la Figura 24.

Figura 24. Red 3: Subestación Norte



La Red 4 comprende los usuarios que se encuentran al sur de la ciudad, sobre la Calle 26 Sur entre Carrera 5 y Carrera 20, tomando como base la subestación "Sur", ubicada sobre la Carrera 5 vía al Sur, como se aprecia en la Figura 25.

Figura 25. Red 4: Subestación Sur



En la Tabla 9. se observa un listado con el número de nodos y equipos necesarios por cada red inalámbrica diseñada.

Para garantizar que, en sitios como la Red 3, en la que hay solo un camino de conexión entre usuarios y subestación se realice la transmisión de datos hasta la base, la distancia entre dos nodos consecutivos es menor a 150 metros, siendo la distancia entre dos nodos, con un nodo entre ellos, de máximo 300 metros. De esta forma, si uno de ellos presenta fallas, la transmisión se realiza con otro nodo ubicado a continuación, o con otro ubicado dentro del alcance y con línea de vista.

A pesar de la gran utilidad de las redes diseñadas, debido a su ubicación, algunos usuarios no se asocian a ninguna de éstas. Lo anterior debido a que no resulta viable la extensión de las redes hasta algunos lugares aislados, alejados con respecto a una de las subestaciones, como lo es el caso de ExpoCafé, Surgas, Centro Comercial San Pedro Plaza, o algunos usuarios a las afueras de la ciudad, como Halliburton, que tendrán, debido a su viabilidad específica, el servicio de telemedida usando modem celular.

Tabla 9. Equipos necesarios por cada red inalámbrica

RED	TIPO DE EQUIPO	EQUIPOS NECESARIOS
CENTRO	Usuarios	20
	Routers	77
	Gateway	1
	<b>Total Nodos x Red</b>	<b>97</b>
PLANTA DIESEL	Usuarios	3
	Routers	14
	Gateway	1
	<b>Total Nodos x Red</b>	<b>18</b>
NORTE	Usuarios	2
	Routers	9
	Gateway	1
	<b>Total Nodos x Red</b>	<b>11</b>
SUR	Usuarios	2
	Routers	6
	Gateway	1
	<b>Total Nodos x Red</b>	<b>8</b>
<b>TOTAL NODOS</b>		<b>134</b>

## CONCLUSIONES

- Aprovechando las características del estándar de comunicación ZigBee, y una vez demostrada, técnica y económicamente su viabilidad, con respecto al sistema de teledioda mediante comunicación GPRS, se realizó el diseño de un sistema de teledioda, mediante varias redes inalámbricas ZigBee, para los usuarios no regulados de ELECTROHUILA S.A. E.S.P. en la ciudad de Neiva.
- Considerando el alcance que poseen, los módulos ZigBee XBee a ubicar en el perímetro urbano, deben estar a una distancia máxima de 250 mts y con línea de vista entre ellos. Sin embargo, para garantizar el flujo de datos a través de las distintas redes, los módulos se ubican a una distancia máxima de 150 mts, tomando como base la distribución geográfica de las calles de la ciudad, dando varias posibilidades de transmisión a cada módulo.
- El diseño de las redes inalámbricas mediante estándar ZigBee se basa en la ubicación de las subestaciones eléctricas que se encuentran dentro del perímetro urbano de la ciudad, asociando cada usuario a la subestación más cercana. A pesar de esto, algunos usuarios están lo bastante aislados o alejados de alguna subestación, haciendo que la extensión de alguna de estas redes hasta su ubicación sea técnica y económicamente inviable; por lo anterior, estos usuarios tienen en el sistema de teledioda por comunicación GPRS la opción más viable a utilizar.
- Cabe resaltar las distintas posibilidades de uso de los módulos ZigBee XBee dentro de una red inalámbrica, como lo son creación de redes, transmisión de información y medición de datos. También los posibles modos de transmisión de información que éstos ofrecen, permitiendo versatilidad en el diseño y creación de distintos tipos de redes.
- A pesar de la fuerte inversión económica inicial que se puede realizar en una eventual implementación de redes inalámbricas mediante estándar ZigBee, éste resulta rentable a mediano y largo plazo, tanto para el usuario como para ELECTROHUILA S.A. E.S.P., a comparación de los otros sistemas de teledioda; lo anterior debido a su confiabilidad, eficiencia y durabilidad.

## RECOMENDACIONES

- Teniendo en cuenta las características de cada tipo de módulo ZigBee XBee, es posible mejorar el alcance de la red y la eficiencia de la red usando otros módulos que poseen mayor alcance. Cabe aclarar que sus características se deben adaptar a la creación y diseño de redes tipo malla.
- Es necesario para la eficiencia de la transmisión de datos, mantener la línea de vista entre los nodos a instalar, ubicándolos en sitios como esquinas o plazas donde hayan varias posibilidades de conexión, o a una distancia regular, para que en caso de presentarse alguna falla, se garantice la transmisión de datos, disminuyendo de esta forma, las posibles interferencias -árboles, vallas, etc.- que se puedan presentar en un entorno específico.
- Considerando el alcance que poseen, los módulos ZigBee XBee a ubicar en el perímetro urbano, deben estar a una distancia máxima de 250 mts y con línea de vista entre ellos. Sin embargo, para garantizar el flujo de datos a través de las distintas redes, los módulos se ubican a una distancia máxima de 150 mts, tomando como base la distribución geográfica de las calles de la ciudad, dando varias posibilidades de transmisión a cada módulo.
- Como Neiva es una ciudad en desarrollo, las redes inalámbricas diseñadas mediante estándar ZigBee están susceptibles a expansión -e incluso nuevas redes pueden ser diseñadas- de acuerdo a la futura demanda de usuarios que se pueda presentar. Lo anterior puede potenciar el funcionamiento de todas las redes, ya que entre más nodos existan en las redes, más opciones para transmitir datos existirán.
- En cuanto a la ubicación propuesta de los módulos ZigBee XBee sobre los postes de la red de distribución eléctrica, se diseña de esta forma para que, en caso de fallas, los operadores puedan tener fácil acceso al módulo y realizar con eficacia y prontitud, los trabajos y correcciones que sean requeridos. Sin embargo, la ubicación de la antena -con el fin de maximizar la línea de vista- obliga a la realización de ciertas labores en alturas por parte del personal operario.

## FUENTES DE CONSULTA

- **BIBLIOGRAFIA**

ELECTROHUILA S.A. E.S.P. - INFORME DE FALLAS Y NOVEDADES, 2011.

ELECTROHUILA S.A. E.S.P. - MANUAL DE OPERACION TELEMEDIDA, 2012.

FALUDI, Robert. Building Wireless Sensor Networks. Free online Edition. Sebastopol, Ukraine: O'Reilly, 2011.

FLICKENGE, Rob. Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo, Una guía práctica para planificar y construir infraestructuras de telecomunicaciones de bajo costo. Segunda edición. Londres: Limehouse Book Sprint Team, 2007.

WAYNE, Tomasi. Sistemas de comunicaciones electrónicas. Cuarta edición. México: Prentice hall, 2003.

- **MEDIOS TELEINFORMATICOS**

<http://es.kioskea.net/contents/telephonie-mobile/gprs.php3>

[http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia\\_Usuario.pdf](http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuario.pdf)

[http://gavilan.uis.edu.co/~hortegab/radiogis/biblioteca\\_virtual/radiopropagacion/Indoor/papers/%5B1%5D.pdf](http://gavilan.uis.edu.co/~hortegab/radiogis/biblioteca_virtual/radiopropagacion/Indoor/papers/%5B1%5D.pdf)

<http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf>

[http://www.digi.com/standards/smart-energy/assets/90033931\\_A.pdf](http://www.digi.com/standards/smart-energy/assets/90033931_A.pdf)

[http://www.digi.com/pdf/chart\\_xbee\\_rf\\_features.pdf](http://www.digi.com/pdf/chart_xbee_rf_features.pdf)

[http://www.digi.com/pdf/ds\\_connectportx2.pdf](http://www.digi.com/pdf/ds_connectportx2.pdf)

- **RECURSOS HUMANOS**

Jhon Fabio Ramirez, Ingeniero Electrónico, Revisor Especializado de Electrohuila S.A. E.S.P.

Juan Gabriel Murcia, Ingeniero Eléctrico, Jefe de Division de Electrohuila S.A. E.S.P.

Jesús David Quintero, Ingeniero Electrónico, Docente de la Universidad Surcolombiana.

# ANEXOS

## Anexo 1. Especificaciones técnicas de módulos ZigBee XBee/XBee-PRO SE

### 1. Overview

The XBee/XBee-PRO Smart Energy RF Modules are designed to support the implementation of Smart Energy Devices which operate within the ZigBee Smart Energy Application Profile. The modules require minimal power and provide reliable delivery of data between remote devices.



The XBee/XBee-PRO SE firmware release can be installed on XBee series 2 modules. The SE firmware is a firmware upgrade to XBee ZB or ZNet modules.

The XBee SE firmware is based on the EmberZNet 3.x ZigBee PRO Feature Set mesh networking stack and includes support for ECC encryption and key establishment as required for the Smart Energy profile. XBee SE modules must have an installed certificate from a certificate authority in order to join a network which is running with Authentication enabled, or to use APS encryption for peer-to-peer communication with a unique pair of link keys.

### Key Features

#### High Performance, Low Cost

##### XBee

- Indoor/Urban: up to 133' (40 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 400' (120 m)
- Transmit Power: 2 mW (3 dBm)
- Receiver Sensitivity: -96 dBm

##### XBee-PRO

- Indoor/Urban: up to 300' (90 m), 200' (60 m) for International variant
- Outdoor line-of-sight: up to 1 mile (1600 m), 2500' (750 m) for International variant
- Transmit Power: 50mW (17dBm), 10mW (10dBm) for International variant
- Receiver Sensitivity: -102 dBm

#### Advanced Networking & Security

- Retries and Acknowledgements
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
- Each direct sequence channel has over 65,000 unique network addresses available
- Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported
- Self-routing, self-healing and fault-tolerant mesh networking

#### Low Power

##### XBee

- TX Peak Current: 40 mA (@3.3 V)
- RX Current: 40 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 1 uA

##### XBee-PRO

- TX Peak Current: 295mA (170mA for International variant)
- RX Current: 45 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 uA

#### Easy-to-Use

- No configuration necessary for out-of box RF communications
- API Command Mode for configuring module parameters
- Small form factor
- Extensive command set
- Free X-CTU software (Testing and configuration software)
- Free and unlimited technical support

## Specifications

Specifications of the XBee®/XBee-PRO® SE RF Module

Specification	XBee	XBee-PRO
<b>Performance</b>		
Indoor/Urban Range	up to 133 ft. (40 m)	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) international variant
Outdoor RF line-of-sight Range	up to 400 ft. (120 m)	Up to 1 mile (1600 m), up to 2500 ft (750 m) international variant
Transmit Power Output	2mW (+3dBm), boost mode enabled 1.25mW (+1dBm), boost mode disabled	50mW (+17 dBm) 10mW (+10 dBm) for international variant
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Data Throughput	up to 35000 bps (see chapter 4)	up to 35000 bps (see chapter 4)
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 - 230400 bps (non-standard baud rates also supported)	1200 - 230400 bps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-96 dBm, boost mode enabled -95 dBm, boost mode disabled	-102 dBm
<b>Power Requirements</b>		
Supply Voltage	2.1 - 3.5 V	3.0 - 3.4 V
Operating Current (Transmit, max output power)	40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 35mA (@ 3.3 V, boost mode disabled)	295mA (@3.3 V), 170mA (@3.3 V) international variant
Operating Current (Receive)	40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 38mA (@ 3.3 V, boost mode disabled)	45 mA (@3.3 V)
Idle Current (Receiver off)	15mA	15mA
Power-down Current	< 1 uA @ 25°C	< 10 uA @ 25°C
<b>General</b>		
Operating Frequency Band	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960 x 1.297 (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip, RPSMA, or U.FL Connector	Integrated Whip, Chip, RPSMA, or U.FL Connector
<b>Networking &amp; Security</b>		
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer, and Mesh	Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer, and Mesh
Number of Channels	16 Direct Sequence Channels	14 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional)	PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional)
<b>Agency Approvals</b>		
United States (FCC Part 15.247)	FCC ID: OUR-XBEE2	FCC ID: MCO-XBEEPRO2
Industry Canada (IC)	IC: 4214A-XBEE2	IC: 1846A-XBEEPRO2
Europe (CE)	ETSI	ETSI
Australia	C-Tick	C-Tick
Japan	R201WW07215214	R201WW08215142
RoHS	Compliant	Compliant



## Specifications

## ConnectPort<sup>®</sup> X2

General	
Management	HTTP/HTTPS web Interface, Password access control, IP service port control, Optional secure enterprise management via iDigi <sup>®</sup> Device Cloud™
Protocols	UDP/TCP, DHCP, SNMPv1
Total Memory	8 MB Flash, 16 MB RAM
LEDs	Ethernet status, Power, ZigBee link/activity
Security	SSL tunnels
Dimensions (L x W x H) and Weight	Commercial: 2.75 in x 3.75 in x 1.25 in (7.0 cm x 9.5 cm x 3.2 cm); 0.20 lb (0.09 kg) Industrial: 5.50 in x 2.75 in x 1.13 in (13.9 cm x 7.0 cm x 2.9 cm); 0.44 lb (0.20 kg)
Antenna	
XBee Antenna	4" dipole; RP-SMA connector
Wi-Fi (optional)	4" dipole with 2' cable, tabletop mountable; RP-SMA connector
Interfaces	
RF	ZigBee, 802.15.4
Ethernet/Wi-Fi	
Wi-Fi	802.11b/g (Industrial version only)
Ports	1 RJ-45 port
Physical Layer	10/100Base-T
Data Rate	10/100 Mbps (auto-sensing)
Mode	Full or half duplex (auto-sensing)
Wi-Fi (802.11b/g)	
Frequency	2.4 GHz
Data Rate	Up to 11 Mbps w/fallback
Modulation	DBPSK (1 Mbps), DQPSK (2 Mbps), CCK (11,5.5 Mbps)
Transmit Power	16 dBm typical
Receiver Sensitivity	-82 dBm @ 11 Mbps
Modes	Ad-hoc & AP Client Modes only; Access Point Mode not supported
Power Requirements	
Power Input	0-30VDC
Power Supply	12VDC power supply for 0° C to 60° C (32° F to 140° F) with locking barrel connector included; Extended temperature power supply available separately
Power Consumption	Idle: 1.2 W, Max: 3.4 W
Surge Protection (with included power supply)	4 kV burst (EFT) per-4-4, 2 kV surge per EN61000-4
Environmental	
Operating Temperature	-30° C to +70° C (-22° F to +158° F)
Relative Humidity	5% to 95% (non-condensing)
Ethernet Isolation	1500VAC min per IEEE802.3/ANSI X3.263
Regulatory Approvals	
Safety	EN60950
Emissions/Immunity	CE, FCC Part 15 (Class A)

**Anexo 3. Listado de usuarios por red inalámbrica diseñada en la ciudad de Neiva**

<b>RED</b>	<b>USUARIOS</b>		<b>TOTAL POR RED</b>
<b>CENTRO</b>	Tolimax	Clínica Central de Especialistas	20
	Alcaldía de Neiva	Clínica Mediláser	
	Gobernación del Huila	Alcanos de Colombia	
	Hotel Pacandé	Movilgas Millenium	
	Hotel Plaza	Cofrío	
	Hotel Chicalá	Casamotor	
	Palacio de Justicia	Surcolac	
	Emcosalud E.P.S.	Trilladora San José	
	Universidad Cooperativa	Distrilubricantes	
	Comfamiliar	Imporgas El Peñón	
<b>PLANTA DIESEL</b>	Hospital Universitario 34.5K	Hospital Universitario 13.2K	3
	Movilgas Neiva		
<b>NORTE</b>	Inversiones P.T.C.	Semillas del Huila	2
<b>SUR</b>	Trilladora Angélica	José Albertano Valencia	2
<b>USUARIOS SIN RED</b>	Expocafé - Cafetrilla	Imporgas La Pradera	10
	SKN Caribecafé Neiva	Policía Nacional	
	Surgas	Inturhuila	
	C.C. San Pedro Plaza 1	Colegio Salesiano	
	C.C. San Pedro Plaza 2	Las Brisas Agropecuarias	
<b>TOTAL USUARIOS NO REGULADOS</b>			<b>37</b>

**Anexo 4. Localización de usuarios con fallas por sistema de telemedida mediante comunicación telefónica durante el 2011**

<b>UBICACIÓN</b>	<b>FALLAS</b>
Neiva	211
Huila	57
Otro Departamentos	3
<b>TOTAL</b>	<b>271</b>

**Anexo 5. Usuarios con fallas por sistema de telemedida mediante comunicación telefónica durante el 2011 en la ciudad de Neiva**

<b>USUARIO</b>	<b>FALLAS</b>
Batallón Tenerife	42
Novena Brigada	42
Clínica Central de Especialistas	33
Clínica Mediláser	25
Colegio Cooperativo Salesiano	15
Palacio de Justicia Neiva	8
SKN Caribe Café Ltda. - Neiva	7
Hotel Plaza	5
Agropecuaria Horizonte Ltda.	4
Trilladora Angélica	4
Trilladora San José	4
Alcanos de Colombia - Neiva	3
Expocafé Sur Ltda. - Cafetrilla Ltda.	3
Cofrío Ltda.	3
Hotel Chicalá	3
Inversiones P.T.C. S.A.	3
Surgas - Surcolombiana de Gas	2
Imporgas S.A. - El Peñón	2
Las Brisas Agropecuarias	2
Policía Nacional - Regional Huila	1
<b>TOTAL</b>	<b>211</b>

## Anexo 6. Pruebas de alcance y potencia de módulos ZigBee XBee-PRO SE

Distancia (m)	dBm
10	-20
15	-23
20	-25
25	-32
30	-38
35	-41
40	-42
45	-43
50	-45
55	-48
60	-52
65	-54
70	-56
75	-57
80	-58
85	-59
90	-61
95	-62
100	-64
105	-65

Distancia (m)	dBm
110	-65
115	-66
120	-67
130	-67
135	-68
140	-68
145	-69
150	-70
155	-71
160	-72
165	-73
170	-74
175	-74
180	-76
185	-76
190	-77
200	-78
205	-79
210	-80
215	-80

Distancia (m)	dBm
220	-82
225	-84
230	-85
235	-88
240	-89
245	-90
250	-90
255	-91
260	-91
265	-92
270	-93
275	-94
280	-95
285	-95
290	-97
295	-99
300	-104
305	-112
310	-125

