

## **CAPÍTULO IV**

### **SISTEMA DE TELEMETRÍA BASADO EN RADIO FRECUENCIA**

#### **4.1 Radio Frecuencia en los Sistemas de Telemetría**

En la industria actual, muchos de los sistemas de telemetría emplean RF ya que presenta ciertas características muy convenientes en ciertas aplicaciones, a continuación se describe un caso real en el que se emplea RF y se describen las razones por las que se emplea dicha tecnología en lugar de otras.

El Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Morelia (OOPAS) tiene entre sus labores la de operar y conservar los sistemas de aprovechamiento y distribución de agua potable y alcantarillado de Morelia Michoacán; supervisar y vigilar su funcionamiento; autorizar y supervisar las conexiones del sistema de agua potable, así como la construcción y conservación de pozos y manantiales, ampliando y mejorando los sistemas de agua potable.

Sobre la administración del agua potable, cada predio en Morelia tiene un micro medidor que contabiliza el consumo de agua, anteriormente era necesario visitar cada predio para tomar la lectura, actualmente se emplea un sistema de telemetría de RF que consiste en el uso de equipos que operan bajo la tecnología ZigBee, de esta manera se emplean radios de corto alcance y baja capacidad de transmisión pero baratos y de bajo consumo de energía, teniendo las características anteriores se hace viable el uso de estos dispositivos en grandes cantidades y en aplicaciones donde no se requiere una alta capacidad de transferencia de información y el ahorro de energía es crucial, pues deben ser independientes de una toma de corriente eléctrica teniendo la opción de usar baterías de larga duración.

Las lecturas se envían desde cada dispositivo a otro que funciona como concentrador o ZigBee Router el cual tendrá mayor capacidad de soportar tráfico de datos y mayor alcance en su transmisión, finalmente desde cada concentrador se envía a un centro de control o ZigBee Coordinador. A continuación se describen las características principales de la tecnología ZigBee.

##### **4.1.1 ZigBee**

Se caracteriza por una transmisión de datos a corta distancia, una baja tasa de envío de datos, de electrónica relativamente simple, un bajo costo de fabricación y alto ahorro de energía lo que alarga considerablemente la vida de su batería.

ZigBee está basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (WPAN por sus siglas en inglés), la especificación 1.0 de ZigBee se aprobó el

14 de diciembre de 2004. La revisión actual de 2006 se aprobó en diciembre de dicho año.

ZigBee utiliza la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical), típicamente se emplea la banda de 2,4 GHz.

Para mayor familiarización del lector con esta tecnología, puede compararse con Bluetooth, pues pertenece a la misma familia y son similares en varios aspectos. A continuación se muestra una tabla comparativa.

Tabla 6. Comparativo entre ZigBee y Bluetooth.

	ZigBee	Bluetooth
<b>Velocidad de Transmisión</b>	250 Kbps	3 Mbps
<b>Consumo en modo <i>idle</i></b>	3 $\mu$ A	0.2 mA
<b>Consumo en modo de transmisión</b>	30 mA	40 mA
<b>Número máximo de subredes</b>	255	8
<b>Hardware</b>	Un nodo completo ZigBee requiere el 10% de un nodo Bluetooth	
<b>Código</b>	El código de ZigBee es el 50% del de un nodo Bluetooth	
<b>Usos</b>	Telemetría, domótica, sensores médicos, automatización	Teléfonos móviles, intercambio de información entre <i>gadgets</i>

Según la función de un dispositivo ZigBee en la red, se pueden clasificar de la siguiente manera:

Coordinador ZigBee (ZC):

Debe existir un Coordinador por red pues la controla y define los caminos en que deben conectarse los dispositivos, se trata de un dispositivo muy completo en cuanto a *hardware*.

Router ZigBee (ZR):

Interconecta dispositivos separados en la topología de red.

Dispositivo Final (ZED):

Posee los requerimientos mínimos de memoria y la mayoría del tiempo está en modo *idle* por lo que maximiza la vida de la batería. Sólo puede comunicarse con su nodo padre, es decir un dispositivo ZC o ZR.

Según las características de un dispositivo ZigBee en la red, se pueden clasificar de la siguiente manera:

Dispositivo de Funcionalidad Completa o nodo activo (FFD):

Con nivel de procesamiento y memoria adicionales, puede ser usado como ZC o ZR.

Dispositivo de Funcionalidad Reducida o nodo pasivo (RFD):

Sus capacidades son limitadas con lo que se busca reducir costo y consumo de energía, son usados como dispositivos finales en las redes.

Para la banda de 2.4 GHz, ZigBee emplea 16 canales con un ancho de banda de 5 MHz por canal, el rango de transmisión varía de entre 10 y 75 metros y la potencia de salida empleada es de 1mW.

El acceso al canal se da por CSMA/CA (Carrier Sense, Multiple Access, Collision Avoidance) donde cada dispositivo anuncia opcionalmente su intención de transmitir antes de hacerlo para evitar colisiones, de tal manera que el resto de los dispositivos se esperarán un tiempo aleatorio corto antes de intentar transmitir.

En cuanto a la topología de red, ZigBee presenta un gran potencial empleando los dispositivos en Malla, adicionalmente puede usarse en Estrella y Árbol.

ZigBee representa una solución para telemetría y otras aplicaciones, según los requerimientos puede emplearse esta tecnología u otras dentro de los dispositivos de RF. Aunque para este proyecto, dados los requerimientos, se empleo una tecnología distinta a ZigBee, para ampliar las opciones del lector, a continuación se muestran algunos equipos basados en la tecnología ZigBee existentes en el mercado.

iKor Metering es una empresa española que vende dispositivos para crear redes ZigBee, su principal mercado es el sector hidráulico, pues fabrica radios ZigBee que pueden adaptarse fácilmente a micromedidores de flujo de agua, estos envían periódicamente una lectura hasta un Concentrador o Router ZigBee quienes a su vez envían toda la información recolectada hasta una estación base o ZigBee Coordinador, este último tiene la capacidad de retransmitir los datos hasta un servidor, vía GSM/GPRS.

El Dispositivo Final ZigBee de iKor opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, tiene un alcance con línea de vista de hasta 300 m y cuenta con una batería que la da una autonomía de hasta 10 años enviando una lectura diaria.



Figura 12. Radio ZigBee (ZED) adaptado en un micromedidor.

El Dispositivo Router ZigBee de iKor opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, tiene un alcance con línea de vista de hasta de 300 m y cuenta con una batería que la da una autonomía de hasta 10 años enviando una lectura diaria, puede gestionar hasta 50 Dispositivos finales ZigBee.



Figura 13. Router ZigBee (RC).

El Dispositivo Coordinador ZigBee de iKor opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, cuenta con un módem GSM/GPRS lo que le permite el envío de la información empleando la red de telefonía celular existente, se alimenta mediante corriente directa y tiene opción para uso de panel solar y baterías, puede gestionar hasta 15 Router ZigBee.



Figura 14. Coordinador ZigBee (ZC).

#### 4.2 Selección de los equipos

Para el diseño de un sistema de telemetría se deben considerar varios requerimientos, entre los cuales se mencionan los siguientes:

- a) Distancia entre sistema instrumentado y operador.

- b) Medio de transmisión, alámbrico o inalámbrico.
- c) Topografía del terreno.
- d) Tipo y cantidad de datos a transmitir.
- e) Modo de comunicación (punto a punto, multipunto a punto, etc).
- f) Tipo de antenas.
- g) Tipo de entrada y salida requeridas.
- h) Presupuesto.

La distancia a cubrir con el enlace juega un papel importante en la toma de decisión de los equipos a implementar, en telemetría típicamente se emplea Radio Frecuencia, se usan Radio módems comerciales por la conveniencia de que pueden cubrir grandes distancias y los precios son accesibles. En el caso de que sea un sistema alámbrico, se debe considerar el tipo de cable o fibra óptica más apropiado para el tipo de datos que se manejarán, por ejemplo en el caso de par trenzado, existen distintas categorías con distintas características.

Se debe definir si se tratará de un sistema alámbrico o inalámbrico, por ejemplo, en el caso de plantas industriales se emplea generalmente cable para transmitir la información ya que el centro de monitoreo o control se encuentra generalmente dentro de la misma planta o cerca del lugar, por otro lado, en el caso de estaciones meteorológicas donde por lo general se instalan torres instrumentadas a varios kilómetros de distancia del centro de monitoreo, se emplean radio módems.

Se debe considerar la topografía del terreno, la mayoría de los equipos indican una distancia de alcance tanto en exteriores como en interiores, generalmente se especifica una distancia máxima de alcance con línea de vista, pero al intentar cubrir grandes distancias difícilmente se consigue tenerla. Por ejemplo, se puede conseguir tener línea de vista empleando torres con las cuáles se puede dar una gran altura a los equipos, sin embargo esto incrementará el costo del sistema, por otro lado se pueden emplear repetidores para conseguir evadir algún obstáculo o para darle un mayor alcance al sistema, sin embargo se continúan incrementando los costos. Todos estos factores deben considerarse al planear un sistema de telemetría.

En lo que respecta a los datos a transmitir, debe considerarse el tipo de datos y la cantidad de estos, por ejemplo, no es lo mismo transmitir video, que requiere un ancho de banda considerable que transmitir sólo algunos valores numéricos de variables de medición. Actualmente en el mercado existe una gran variedad de equipos para transmisión de datos, tanto basados en Radio Frecuencia como en Microondas o incluso en Fibra Óptica. De esta manera, si por ejemplo, necesitamos transmitir video con audio, que está captando en tiempo real una cámara de video vigilancia, podremos entre otras opciones, optar por equipos inalámbricos, basados en microondas de tal manera que puedan soportar el envío de gran cantidad de información.

En cuanto al modo de comunicación, puede presentarse el caso en el que se necesite acceder desde varios puntos a uno mismo (multipunto a punto), desde un mismo punto a varios (punto a multipunto) o punto a punto, de esta manera se deberá definir

el tipo de acceso requerido para seleccionar el equipo necesario. Generalmente los dispositivos de Radio comunicaciones soportan varios modos, sólo se debe configurar adecuadamente la conexión entre éstos.

De lo anterior se deriva el tipo de antenas que necesitaremos, por ejemplo, en el caso de que se necesite un acceso punto a multipunto, será conveniente emplear antenas omnidireccionales que radian ondas electromagnéticas en todas direcciones sobre un plano, por otro lado, en caso de tener un acceso punto a punto podríamos emplear tanto antenas direccionales que concentran las ondas electromagnéticas en una misma dirección, como antenas omnidireccionales. En el caso de que además de querer enviar la información en una dirección definida, se necesite ampliar el rango de alcance, se pueden utilizar antenas direccionales ya que al concentrar la energía en una dirección se logra aumentar la intensidad con que se radia.

Es elemental tener el conocimiento previo del tipo de entrada que se manejará antes y después del sistema de transmisión de datos, es decir, si se necesitará una interfaz de puerto serial, del tipo Ethernet sobre un conector RJ-45, etc.

Como en todo proyecto de ingeniería, el presupuesto es un factor decisivo en la planeación e implementación, si bien es cierto que se debe buscar siempre minimizar costos, también se debe hallar un equilibrio entre el costo – beneficio, quizá la mejor opción no siempre es la más barata. En el mercado existe una gran cantidad de dispositivos también con una gran variedad de precios, se debe analizar a detalle los requerimientos mínimos que se necesitan y con base en eso cotizar varias opciones.

Para el caso de la planta desaladora, como ya se ha descrito antes, se debe implementar un sistema de telemetría entre el Edificio 8 del Instituto de Ingeniería y la Torre de Ingeniería. La desaladora se encuentra instalada y operando periódicamente en el Edificio 8, la información se pretende recibir en un ordenador ubicado en el sexto piso de la Torre de Ingeniería. Entre ambos puntos existe aproximadamente una distancia lineal de 100 metros, no existe línea de vista pero debido a que se trata de una distancia muy corta, la señal puede llegar fácilmente por medio de “rebotes”. Se ha solicitado que el enlace entre ambos puntos sea inalámbrico. Los datos a transmitir serán una serie de valores numéricos obtenidos de los 8 sensores, el dispositivo de adquisición de datos tomará una muestra cada 0.5 segundos y la enviará como una palabra de 16 bits por cada sensor. El acceso para este caso será punto a punto y las antenas en principio pueden ser tanto omnidireccionales como direccionales. El tipo de interfaz que necesitamos a la entrada y salida, como ya se ha definido con el resto del sistema, deberá ser puerto serial de 9 pines operando bajo el protocolo de comunicaciones RS-232 o RS-485.

Una vez analizados los requerimientos y consultado varias opciones en el mercado, se decidió emplear los Radio módems de la empresa MaxTream modelo 9XTend PKG, Figura 15.



Figura 15. Radio módem MaxTream, 9XTend PKG

Estos radio módems emplean la tecnología de espectro disperso tienen un alcance en exteriores teórico de hasta 64 Km con línea de vista, emplean una interfaz de puerto serial y usan el protocolo RS-232 para comunicaciones, disponen de antenas omnidireccionales pero tienen la opción de cambiarse por antenas direccionales. En la Tabla 7 se muestran las principales características de los radio módems empleados en el sistema de telemetría de la planta desaladora.

Tabla 7. Características de los Radio módems MaxTream, 9XTend PKG

<b>Especificaciones</b>	
<b>Banda de frecuencia</b>	ISM 902 - 928 MHz
<b>Alcance</b>	64 Km en exteriores con línea de vista 900 m en interiores
<b>Potencia de salida</b>	De 0.001 a 1 W
<b>Sensibilidad del receptor</b>	-110 dBm
<b>Velocidad de proceso y transferencia de datos</b>	9600 / 115200 bps
<b>Encriptación</b>	AES 256-bit
<b>Tecnología de Transmisión por Espectro Amplio</b>	FHSS (Espectro Amplio mediante Saltos en Frecuencia)
<b>Modulación</b>	FSK

### 4.3 Pruebas con los equipos

Es bien sabido que la información que ofrece un fabricante respecto a sus equipos es teórica, pues depende de gran cantidad de factores el rendimiento de dicho equipo. En el caso de los Radio módems y considerando que se cambie de locación la planta desaladora, se optó por llevar a cabo algunas pruebas para conocer el rendimiento de los radio módems ante distintas condiciones de distancia, alturas y ruido externo. A continuación se describe brevemente algunas de estas pruebas y los resultados obtenidos.

En la práctica nos enfrentamos con dificultades por ejemplo el hecho de que en la Ciudad de México debido a la gran población y al auge actual de las Telecomunicaciones, existe una gran cantidad de ruido electromagnético el cuál limita las posibilidades de alcance.

Las pruebas fueron diseñadas de tal manera que se probara el enlace ante las condiciones y dificultades antes mencionadas. Para dichas pruebas, se dejó fijo uno de los radio módems (Punto A) en la parte más alta de la Torre de Ingeniería o en la parte alta del Edificio 8, el otro radio módem (Punto B) se trasladó a distintos puntos a determinadas distancias y alturas.

Descripción de la prueba: El radio módem transmisor (A) emite una serie de paquetes de datos, el módem receptor (B) los recibe y los reenvía de regreso, el módem A mostrará como resultado el porcentaje de paquetes que se transmitieron y recibieron exitosamente y por lo tanto, el porcentaje de paquetes que se perdieron. Mediante el software de configuración X-CTU de la empresa MaxStream, se puede observar una gráfica con la cantidad de paquetes que se están enviando y perdiendo, además de la potencia captada por el Radio módem. En la Figura 16 se muestra dicha interfaz gráfica. En la barra del lado izquierdo se aprecia el porcentaje de paquetes recibidos, en la barra del lado derecho se muestra la potencia percibida por el Radio módem.

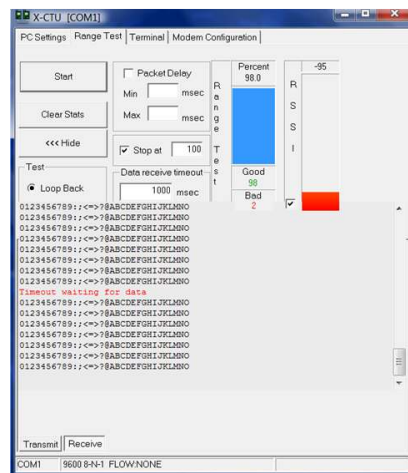


Figura 16. Interfaz gráfica del software de configuración.



Derivado de estas pruebas se obtuvo una serie de datos en donde de manera general se concluyó que a pesar de tratarse de una zona urbana con una gran densidad de edificios altos y gran cantidad de interferencia por parte de otras señales se logró tener comunicación de calidad aceptable entre los radio módems. En la Tabla 8 se hace un resumen de las características del enlace ante distintas condiciones.

*Tabla 8.* Resumen de algunos resultados obtenidos de pruebas realizadas con los Radio módems.

Distancia [Km]	Altura RM fijo [m]	Altura RM móvil [m]	Número de obstáculos	Calidad del enlace
0.3	8	15	Bajo	Muy buena
0.5	8	1	Alto	Nula
0.75	8	21	Alto	Muy baja
1	8	1	Alto	Nula
1.3	30	14	Mediano	Excelente
1.5	30	5	Alto	Nula
2.7	30	42	Nulo	Excelente
5	30	18	Mediano	Mala

De manera general, la respuesta de los Radio módems ha sido muy buena, se logró tener comunicación a pesar de encontrarse con una cantidad considerable de obstáculos entre antenas y no teniendo una buena elevación de las mismas.

Para el caso de la prueba con 5 Km entre antenas, a pesar de la distancia y la interferencia, logró tenerse comunicación de calidad mala, pero esto podría mejorarse empleando antenas direccionales o instalando las antenas a una mayor altura.

Cabe mencionar que estas pruebas fueron realizadas sólo para darnos una idea de los límites del equipo y no para presentar resultados concretos, pues aunque se ha estimado una altura de la antena para cada caso, debemos recordar que la Ciudad de México no se encuentra sobre un mismo plano horizontal y las distancias respecto al suelo son relativas.

Por otro lado, la selección de las distancias entre antenas no fue uniforme debido a la dificultad de encontrar un lugar en la ciudad que se encontrara a determinada distancia, a cierta altura y al que además se pudiera tener acceso.