



# **UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

---

## **División de Ciencias e Ingeniería**

**Sistema de transmisión a largas distancias  
por radiofrecuencia**

**Trabajo de Tesis  
para obtener el grado de**

**Ingeniero en Redes**

**PRESENTA**

**Luis Antonio Xicoténcatl Chargoy Loustaunau**

**Director de Tesis**

**M.C. Javier Vázquez Castillo**

**Asesores**

**Dr. Jaime Silverio Ortegón Aguilar**

**Dr. Freddy Ignacio Chan Puc**

**Chetumal, Quintana Roo, México, Octubre de 2009.**

# **UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

## **División de Ciencias e Ingeniería**

Trabajo de Tesis elaborado bajo supervisión del Comité de Asesoría  
y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

## **INGENIERO EN REDES**

Comité de Trabajo de Tesis

**Director:**

---

**M.C. Javier Vázquez Castillo**

**Asesor:**

---

**Dr. Jaime Silverio Ortegón Aguilar**

**Asesor:**

---

**Dr. Freddy Ignacio Chan Puc**

**Chetumal, Quintana Roo, México, Octubre de 2009.**

## **Agradecimientos**

Antes que nada tengo que agradecer a mis padres por haberme aguantado cerca de 22 años de vida con ellos. Así como por haberme ayudado en el año que estuve lejos. En cualquier proyecto o actividad constructiva me han apoyado sin miramientos, y eso es lo que más les agradezco de todo.

*Amá.* Aún recuerdo cuando me enseñabas a leer y escribir. Agradezco cada hora que pasaste con ese bebé chillón y enfadoso. Eventualmente te lo pagaré con nietos pero *perame* tantito.

*Apá.* Gracias a ti tuvimos una niñez muy saludable y apegada a la naturaleza. Siempre recurrimos a la creatividad y al juego en el patio para divertirnos. Nunca nos faltó nada gracias a ti, muchas gracias papá.

Tuve la fortuna de tener cuatro hermanas y un hermano que siempre estaban pendientes del *bebé* de la casa. No solo me cuidaban, también me enseñaron muchas cosas. Sé que siempre puedo contar con ustedes. Se los agradezco de todo corazón.

Agradezco a Jesus Orifiel Álvarez Ruiz y Josimar Alexander Pech Rivas por su preciado tiempo y apoyo durante esta investigación. Sin su ayuda nunca se hubieran podido llevar a cabo las últimas dos pruebas de este proyecto ¡Muchísimas gracias amigos!

Al M.C. Javier Vázquez Castillo y al Dr. Jaime Silverio Ortegón Aguilar les agradezco el tener la paciencia de trabajar conmigo durante el desarrollo de esta investigación, aprendí mucho gracias a ustedes.

De igual manera le agradezco al Ing. Hugo Bastián Hernández por el diseño y programación del Circuito Generador de Caracteres empleado en esta investigación.

Finalmente agradezco a mi querida Universidad de Quintana Roo, ya que mediante el programa de Apoyo a la Titulación 2009 de la División de Ciencias e Ingenierías, se consiguió la mayor parte del material utilizado en esta tesis, así como la impresión y empastado del trabajo. Así también, a la Secretaría Técnica de Posgrado e Investigación de la DCI por el apoyo económico mediante el proyecto “Sistema de Adquisición de datos inalámbrico por radiofrecuencia UQROO/DCI/PI/05/09”.

## **Dedicatoria**

Esto va para mi querido México y para todas las personas buenas, honestas y trabajadoras que viven en él.

Desde niño has hecho lo imposible para darnos a mis compatriotas y a mí, las herramientas para mejorarte.

Haber nacido en esta tierra es un privilegio, pero lleva consigo una gran responsabilidad. Hay tanto por hacer, corregir y construir.

Esto es sólo el comienzo de lo que voy a hacer por nosotros. Sé que has puesto tu confianza en mí y no te voy a fallar.

## **Resumen**

Quintana Roo es un estado que concentra el 80% de su población en sólo 8 ciudades. El resto de los habitantes viven en 3500 localidades dispersas a lo largo y ancho del territorio estatal. A pesar de los esfuerzos del gobierno de llevar conectividad a la red telefónica o de Internet a estas localidades, la gran mayoría persiste sin comunicación alguna.

Ya que nuestro Estado es una planicie comparado con otras entidades del país, la falta de obstáculos físicos como montañas o cerros puede significar una ventaja a favor de la instalación de enlaces inalámbricos de larga distancia. Esto con el fin de establecer una solución potencial para los problemas anteriormente mencionados.

Esta tesis tiene como objetivo efectuar diversos análisis de eficiencia en un sistema de comunicación basado en radios de 900 MHz y antenas de alta ganancia en condiciones geográficas y climatológicas de nuestra región. La eficiencia a largo alcance de estos radios es puesta a prueba en las capas Física y de Red del modelo de referencia OSI. Lo anterior, con el fin de obtener resultados que puedan ayudar a determinar su potencial uso.

El trabajo comprende una descripción detallada de cada uno de los componentes que integran el sistema de comunicación empleado, además del fundamento teórico del tema; con el fin de que el lector tenga toda la información necesaria en este mismo texto para una mejor claridad en la revisión del trabajo.

Los resultados reflejan que este sistema es eficiente sólo para aplicaciones que no requieran una alta tasa de transferencia de datos. Sin embargo se comprobó que existe recepción a más de 19 Km de distancia en datos pequeños, aún sin aprovechar el máximo rendimiento del sistema.

## Contenido

1	Introducción .....	12
1.1	Antecedentes .....	12
1.2	Objetivo general .....	14
1.3	Objetivos particulares.....	14
1.4	Justificación .....	14
2	Introducción a los Sistemas de Comunicaciones .....	16
3	Arquitectura del Sistema de Comunicaciones .....	24
3.1	Módulos de radio .....	26
3.2	Diagrama de tiempo y funcionamiento de los módulos de radio.....	27
3.3	Antenas.....	29
3.4	Cables y conectores.....	30
3.5	Computadoras Personales.....	30
3.6	Circuito Generador de Caracteres (CGC) .....	31
4	Protocolos y Software.....	33
4.1	X-CTU .....	33
4.2	Firmware de los radios XTend .....	35
4.3	PPP.....	39
4.4	D-ITG .....	41
4.5	Radio Mobile .....	43
4.6	NetMeeting.....	43
5	Pruebas y Resultados.....	44
5.1	Parámetros de módulos y software.....	44
5.1.1	Módulos de Radio .....	44
5.1.2	PPP.....	46

5.1.3	NetMeeting.....	46
5.1.4	D-ITG.....	46
5.2	Escenarios de Pruebas.....	47
5.2.1	Escenario 1. Control.....	47
5.2.2	Escenario 2. Ambiente Urbano (1.8 Kilómetros).....	47
5.2.3	Escenario 3. Largo alcance (19.89 Kilómetros).....	49
5.3	Pruebas y Resultados.....	51
5.3.1	Escenario 1. Control.....	51
5.3.2	Escenario 2. Ambiente Urbano (1.8 Kilómetros).....	55
5.3.3	Escenario 3. Largo alcance (19.89 Kilómetros).....	58
6	Conclusiones.....	60
7	Conocimientos Adquiridos.....	66
8	Trabajos Futuros.....	67
9	Bibliografía.....	68
10	Glosario.....	71
11	Abreviaturas y Siglas.....	73
12	Anexos.....	75
12.1	Anexo A. Diagrama del CGC.....	75
12.2	Anexo B. Código programado en el CGC.....	76

## Tabla de Figuras

Figura 1. Diagrama a bloques simplificado de un sistema de comunicaciones.	16
Figura 2. Ejemplo de señal de voz en el dominio del tiempo (izquierda) y frecuencia (derecha).	18
Figura 3. Señales analógica y digital en el dominio de tiempo y sus componentes en frecuencia.	19
Figura 4. Estructura del Sistema de comunicación.	25
Figura 5. Módulos 9XTend OEM RF empleados en la investigación.	26
Figura 6. Flujo de datos del sistema con interfaces UART.	27
Figura 7. Paquete 0x1F siendo transmitido a través del módulo.	28
Figura 8. Diagrama de flujo de datos interno de los módulos XTend.	29
Figura 9. Estructura de la trama PPP.	40
Figura 10. Configuraciones de los Radios 9XTend OEM RF en ambos radios.	45
Figura 11. Ubicación de las bases en Google Earth y RadioMobile.	47
Figura 12. Alineaciones de las antenas “Chetumal A” y “Chetumal B”.	48
Figura 13. Relieve de la zona entre las dos antenas.	48
Figura 14. Ubicación de las bases en Google Earth y RadioMobile.	49
Figura 15. Alineaciones de las antenas “Chetumal A” y “Bacalar A”.	49
Figura 16. Relieve de la zona entre las dos antenas.	50
Figura 17. Resultados de la prueba de RSSI en la prueba de control.	51
Figura 18. Información creada por el Circuito Generador de caracteres.	52
Figura 19. Ancho de banda calculado por D-ITG en el escenario 1.	52
Figura 20. Capturas de pantalla de la videoconferencia.	54
Figura 21. Resultados de la prueba de RSSI a 1.8 Km.	55

Figura 22. Información del circuito generador de caracteres recibida a 1.8 Km	55
Figura 23. Ancho de banda calculado por D-ITG en el escenario 2.....	56
Figura 24. Videoconferencia de Microsoft NetMeeting bajo el escenario 2.....	57
Figura 25. Resultados de la prueba de RSSI a 19.89 Km.....	58
Figura 26. Información generada por el CGC recibida a 19.89 Km.....	58
Figura 27. Comparación del <i>bitrate</i> en control y 1.8 Km. ....	61
Figura 28. Deterioro lineal del <i>bitrate</i> de acuerdo a la distancia.....	61
Figura 29. Caracteres por ciclo recibidos en el tercer escenario.....	62
Figura 30. Comparación del RSSI con cableado y sin cableado.....	64
Figura 31. Superación de las obstrucciones con mayor tamaño de mástil. ....	65

## **1 Introducción**

En este capítulo se presenta un breve análisis acerca de la situación global, nacional y estatal en términos de conectividad a redes de telecomunicaciones. Posteriormente se enlistan los objetivos y justificación de esta investigación.

### **1.1 Antecedentes**

Las tecnologías de la información han aumentado su importancia en las últimas décadas ya que han sido utilizadas como instrumento para automatizar todo tipo de procesos en cualquier empresa. Su uso está respaldado por una industria altamente competitiva que año tras año ofrece nuevas y más eficientes soluciones.

La tecnología aplicada en la educación de nuevas generaciones funciona como un catalizador que permite cambios positivos en el aprovechamiento de los estudiantes. En esta era de la información se espera que las nuevas generaciones estén capacitadas en el uso de tecnologías para acceder, evaluar, analizar y sintetizar grandes cantidades de información, lo cual representa un futuro lleno de profesionistas diestros en el uso de estas tecnologías, siendo así más competitivos y productivos que las generaciones anteriores en un mundo que así lo exige.

En países industrializados como los Estados Unidos, donde el uso de la Internet es común desde hace más de diez años, se ha propiciado un crecimiento en la infraestructura de las telecomunicaciones digitales, lo que ha aumentando su cobertura a casi toda ciudad o población, proveyendo a los habitantes de conectividad a altas velocidades y bajo costo.

De acuerdo a la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) (1), más de un cuarto de la población de los Estados Unidos están suscritos a un Proveedor de Servicios de Internet con una conexión de Banda Ancha, mientras que en México sólo un 7% de la población lo está.

En nuestro país, sobre todo en la última década, se ha visto un importante incremento en el alcance y eficiencia de las telecomunicaciones digitales. Del 2006 al 2008 el número de suscripciones a servicios de Internet de banda ancha ha aumentado de 2.6 a 6.4 millones (2). Los focos de desarrollo siguen siendo las principales áreas urbanas del país: Área Metropolitana de la ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, entre otros. Sin embargo aunque el crecimiento se ha dado en la mayoría del país, persisten áreas que carecen de este tipo de servicios avanzados.

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (3), el Estado de Quintana Roo concentra más del 80% de su población en sólo 8 ciudades, mientras que el resto de los habitantes viven en más de 3,500 localidades, las cuales están dispersas sobre todo el territorio Estatal.

En un esfuerzo por intentar mitigar estos problemas, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) tiene varios programas a nivel federal que se han estado ejecutando. El único de estos que trata de instalar un servicio básico de teléfono en comunidades aisladas es el de "Telefonía Rural" el cual la mayor parte de tiempo utiliza enlace satelitales. De acuerdo con el sitio oficial de la SCT (4), existen 177 localidades siendo comunicadas por este programa. Existen esfuerzos similares por parte de empresas de telefonía privadas tales como Teléfonos de México (Telmex) en los cuales han logrado llevar el servicio a 122 localidades (4).

Dada la situación actual, es evidente que existe una necesidad de un sistema de comunicación alternativo, el cual pueda proveer al menos

telecomunicaciones por voz a la gran cantidad de localidades aisladas que existen en nuestra región.

## **1.2 Objetivo general**

•Establecer un enlace punto a punto con dos módulos de radio utilizando antenas de alta ganancia. Lo anterior con el fin de evaluar la eficiencia y alcance de estos dispositivos en las condiciones ambientales de la región y así determinar su factibilidad como alternativa para establecer enlaces a grandes distancias

## **1.3 Objetivos particulares**

1. Estudiar las técnicas de modulación y transmisión utilizadas por los módulos de radio usados en este trabajo.
2. Investigar la metodología y ejecución de las técnicas de medición de eficiencia utilizadas en la actualidad.
3. Diseñar un esquema de comunicaciones con los dispositivos propuestos.
4. Proponer una serie de pruebas para conocer el desempeño del esquema de comunicación implantado.
5. Emitir recomendaciones de mejora de desempeño del sistema de comunicaciones propuesto.

## **1.4 Justificación**

Ante el problema de la falta de acceso a tecnologías de telecomunicaciones en las localidades rurales del Estado, es necesario buscar soluciones para resolver esta situación con el fin de elevar la calidad de vida de sus habitantes.

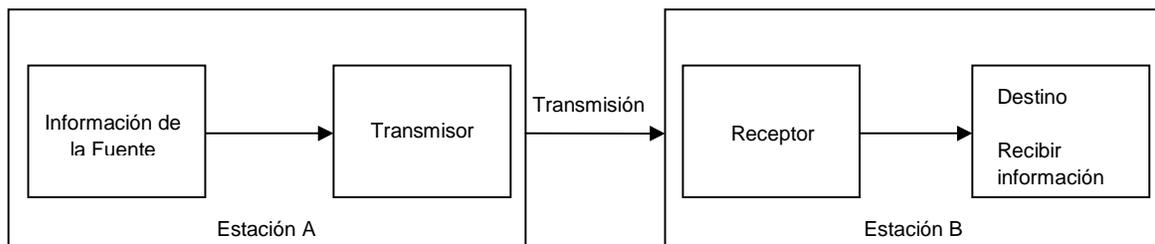
Las comunicaciones inalámbricas son una alternativa frecuentemente utilizada donde el uso de cableado no es conveniente, y ya que nuestro Estado es en casi su totalidad una planicie, es probable que exista una menor probabilidad de

tener obstáculos físicos como cerros o montañas a la hora de instalar un enlace punto a punto inalámbrico de largo alcance con línea de vista entre dos antenas. Sin embargo existe una gran cantidad de elementos en la región que puedan significar problemas para establecer enlaces de largo alcance, entre ellos la humedad y la gran cantidad de vegetación, por lo que es necesario realizar un estudio para comprobar si el uso de estos sistemas es factible para nuestra región.

## 2 Introducción a los Sistemas de Comunicaciones

Los **Sistemas de Comunicaciones** transfieren información que varía con el tiempo sobre una distancia utilizando medios eléctricos, electromagnéticos u ópticos. La información pueden ser datos binarios o formas más complejas como imágenes, voz, video o combinaciones entre éstas. El origen de la señal determinará sus características particulares, es decir, una onda de voz tiene características distintas que señales de video o datos. (5)

Un **Sistema de Comunicación** consta de un transmisor, un mecanismo de transporte y un receptor. El mecanismo de transporte puede ser tan simple como un cable o como todo un sistema complejo de circuitos. En la figura 1 podemos apreciar un diagrama de bloques simplificado de un sistema de comunicaciones electrónico.



**Figura 1. Diagrama a bloques simplificado de un sistema de comunicaciones.**

Los Sistemas de Comunicaciones pueden ser clasificados de acuerdo a la manera en la cual transportan información. Si lo hacen en una sola dirección se les denomina *Simplex*. En dado caso de que el Sistema sea capaz de transmitir

en ambas direcciones al mismo tiempo se le conoce entonces como *Duplex*. De ser capaz de transmitir en ambas direcciones pero no de manera simultánea entonces se le denomina *Half-Duplex*.

Otra manera de clasificar a los sistemas de comunicación es por la manera en la cual irradian la información. Si es de un dispositivo hacia otro se conoce como punto a punto (ej. conversación telefónica). Si ocurre de un dispositivo hacia varios se le conoce entonces como punto a multipunto (ej. Emisión televisiva).

Los sistemas de comunicaciones pueden agruparse hasta formar redes de comunicaciones como las redes telefónicas que abarcan países y redes mundiales como la Internet.

El **Canal de comunicación** es el conducto por el cual las señales que transportan información viajan. Diferentes tipos de información demandan tipos específicos de canales. Si no existe un canal apropiado para una señal entonces habrá una pérdida parcial o total de la información que se quiera transmitir. Un canal de comunicación establecerse a través de un cable ya sea de cobre o de fibra óptica, el espacio libre, etc.

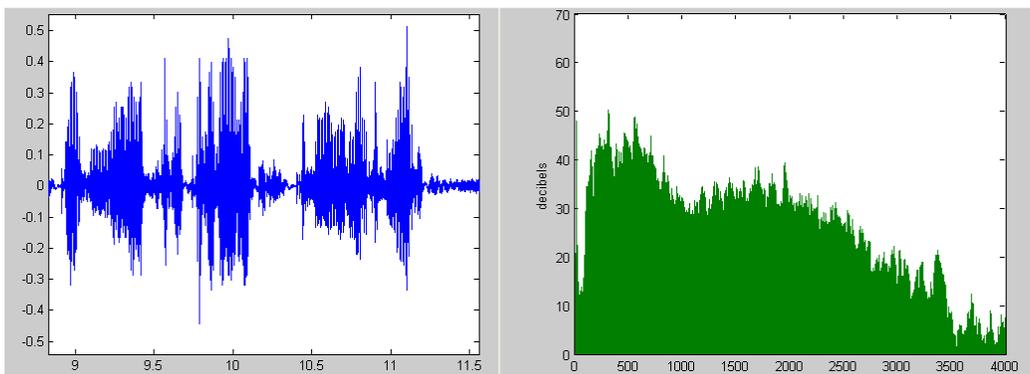
Para que todos los dispositivos en una red puedan interactuar hacen uso de una gran variedad de protocolos basados en rutinas de **Señalización**. Esta última hace uso de mensajes especiales para configurar, mantener y terminar sesiones en una red.

Todas las señales pueden ser clasificadas por la manera en la cual se comportan a través del tiempo:

- **Análogas**. Es una señal similar a una función continua en el tiempo. Como ejemplo: Voz humana.
- **Discretas**. Señal no continua con valores fijos para determinados valores a lo largo del tiempo. Ejemplo: Señal muestreada por una computadora.

- **Digitales.** Es una función que solo puede tomar un grupo de valores limitados (dos) para intervalos de tiempo constantes. Ejemplo: Señales que viajan por la Internet.

Las señales poseen características en el dominio del **tiempo** y la **frecuencia**. El primer caso sería como el observar una señal en un osciloscopio, donde el eje de las ordenadas representa el tiempo. En el segundo caso una señal de este tipo puede ser vista en un analizador de espectros, en la cual podemos ver los componentes de la señal en el dominio de la frecuencia.



**Figura 2.** Ejemplo de señal de voz en el dominio del tiempo (izquierda) y frecuencia (derecha).

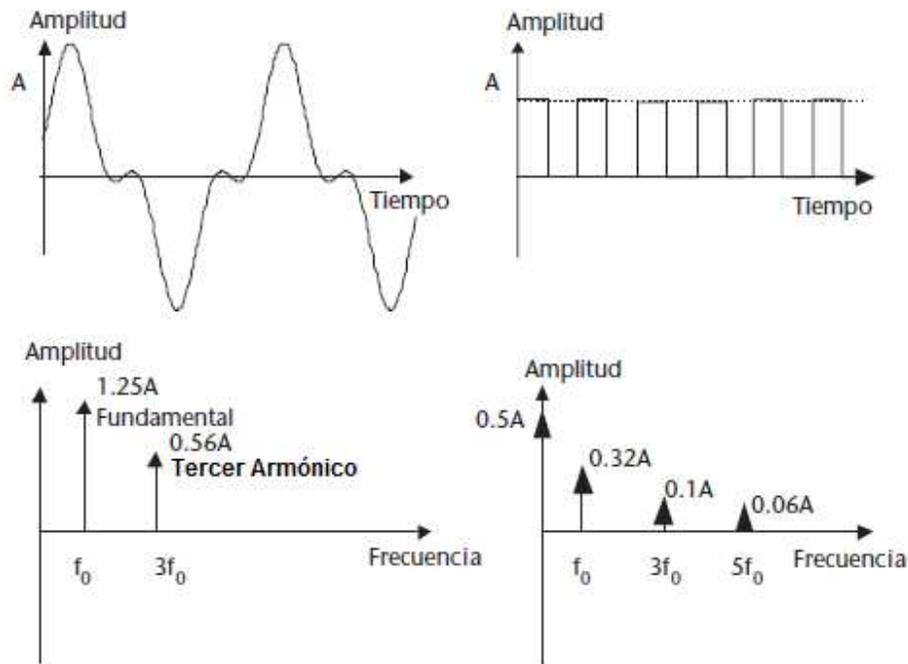


Figura 3. Señales analógica y digital en el dominio de tiempo y sus componentes en frecuencia.

Cualquier onda compleja puede ser descompuesta en un conjunto de señales sinusoidales, cada una con diferente amplitud, frecuencia y fase. Para lograr esta descomposición existen varias herramientas, entre ellas el **Análisis de Fourier**. En la figura 3 (5) podemos ver dos señales en el dominio del tiempo y sus respectivos componentes en el dominio de la frecuencia, al calcular estos componentes podemos ver el **ancho de banda** que esta ocupa para ser transmitida.

Un canal de comunicación ideal sería capaz de transmitir señales sin distorsionarlas. Sin embargo en la realidad existen muchos factores naturales que causan que la señal no llegue tal cual fue transmitida en el origen. El ejemplo más común de distorsión de una señal es por la eliminación algunos componentes de frecuencia, esto se realiza por que el ancho de banda es algo limitado y altamente apreciado. Otra fuente de distorsión es debido a **ruido** o **interferencias**, estos pueden provenir de fenómenos naturales como

tormentas, o fuentes creadas por el hombre como el arranque de un automóvil e incluso otras transmisiones ocurriendo al mismo tiempo.

Una vez que una señal es puesta en un canal, su poder irá disminuyendo con el tiempo, a este fenómeno se le conoce como **atenuación** y puede ser ocasionado por diversas razones. En el caso de que el canal sea un cable las impurezas que este contenga y la resistencia natural que todo material presenta ante el flujo de corriente eléctrica son el motivo de la atenuación de cualquier señal que pase por ahí. En el caso de señales de radio su propagación en el aire también consume energía de la señal. El fenómeno de la atenuación es más grave conforme la frecuencia de la señal aumente, esto quiere decir que las señales que operen a frecuencias bajas serán menos susceptibles a estos fenómenos, mientras que las de frecuencias altas tienden a no llegar tan lejos.

Combinando los efectos de ruido, atenuación y limitaciones de ancho de banda podemos ver los principales culpables de que una señal no sea interpretada por el receptor tal cual como fue concebida en el emisor de la señal.

Una medida de calidad en un sistema de comunicaciones es la **Relación señal a ruido**, la cual está dada por la ecuación 1.

$$SNR = 10 \log \left( \frac{S}{N} \right) \quad (\text{ec. 1})$$

Donde SNR es la Relación señal a ruido, S es la energía del componente de la señal y N la energía del componente de ruido. Usualmente se expresa esta relación en Decibeles (dB). Sistemas de Comunicaciones que tengan una SNR de 35 a 45 dB se consideran de buena calidad. Para que una señal tenga un SNR de 35 dB, esta debe de tener 3162.27766 veces más energía que el ruido que la acompaña. Por consiguiente, entre mejor sea la Relación Señal a Ruido, habrá una probabilidad menor de errores en un sistema de comunicación.

Se le conoce como **Capacidad del canal** a la máxima tasa de transferencia en la cual la información puede ser transmitida sobre un medio o canal. Esto

depende de una serie de condiciones naturales (del entorno) y artificiales (dictadas por el diseño del sistema). Existen cuatro términos que están relacionados con esta Capacidad (6).

**a) Tasa de datos.** Velocidad con la cual la información es transmitida sobre un medio. Se representa usualmente en Bits por segundo (bps).

**b) Ruido.** También conocido como interferencia electromagnética. Es lo que causa la alteración de una señal “pura”, ocasionando su degradación, obstrucción e incluso interrupción de la señal. La fuente del ruido puede ser natural (solar) o artificial (otras señales transmitidas).

**c) Tasa de errores.** Es la frecuencia con la cual los errores en una transmisión suceden. Como ejemplo, en un sistema digital, un error sería que el receptor interpretara un 1 en su señal de entrada cuando en realidad un 0 fue transmitido.

**d) Ancho de banda.** Ancho de banda que una señal requiere para su transmisión. Es limitada por el diseño del transmisor y el medio en el cual es transmitido. Se representa en Hertz.

En un canal ideal, donde no exista ningún tipo de interferencia, la única limitante de la velocidad a la cual se pueden transmitir los datos es el ancho de banda. De acuerdo con el teorema de muestreo de Nyquist, en una señal de dos niveles (dos valores de voltaje solamente), el ancho de banda esperado se calcula mediante la ecuación 2.

$$C = 2B \quad (\text{ec. 2})$$

Donde C es la velocidad máxima de transmisión de datos y B es el ancho de banda.

A raíz de esto se puede apreciar la siguiente tendencia: A mayor ancho de banda, mayor velocidad para transmitir la información.

Sin embargo, la Capacidad que un canal tiene para transmitir información sin errores está dada por el límite de Shannon (ecuación 3).

$$C = B \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad (\text{ec. 3})$$

Donde B es el ancho de banda del canal en Hz y S/N es la relación señal a ruido en el extremo receptor de un canal. De esta manera Shannon demostró que el ancho de banda, junto con la relación señal a ruido determinan la capacidad máxima de un canal de telecomunicaciones.

Los **Medios de transmisión** pueden ser clasificados en guiados y no guiados. Los primeros principalmente consisten en cableado mientras que los segundos emplean antenas para transmitir información por el aire, vacío o agua. A esto se le conoce también como transmisión inalámbrica.

Los **Sistemas inalámbricos** están basados en medios no guiados y consisten en ondas de radio de diferentes frecuencias siendo propagadas de diferentes maneras. El espectro electromagnético que utilizan las radiofrecuencias no es un medio ilimitado y debe de ser compartido. En nuestro país la Secretaría de Comunicaciones y Transportes se encarga de establecer leyes y reglas acerca de la utilización de este medio.

Con el fin de permitir múltiples transmisiones en un solo medio para hacer eficiente el uso del espectro electromagnético, diversas técnicas de modulación han sido creadas. La **modulación** es el proceso de combinar diferentes propiedades de diferentes señales para una efectiva transmisión al variar la forma de la señal que lleva la información en relación con otra señal.

Otra utilidad muy importante de las técnicas de modulación es que en muchas ocasiones es necesaria para la transmisión de información. La **longitud de onda** de una señal de radio en el espacio libre está dada por la ecuación 4.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{ec.4})$$

Donde  $\lambda$  es la longitud de onda,  $c$  la velocidad de la luz y  $f$  la frecuencia de la señal a transmitir. Las señales que tienen la información (banda base) por lo general son de baja frecuencia y tienen una longitud de onda muy grande. Para una transmisión y recepción aceptable, las antenas tienen que tener de tamaño al menos un cuarto de la longitud de la onda que necesitan recibir. Una señal de 3 kHz tiene una longitud de onda de casi 100,000 metros lo que significaría que la antena tiene que medir al menos 25,000 metros, lo cual es poco práctico. Al modular esta señal con una portadora de mayor frecuencia podemos utilizar equipos de tamaños realistas y hacemos eficiente el uso del espectro electromagnético.

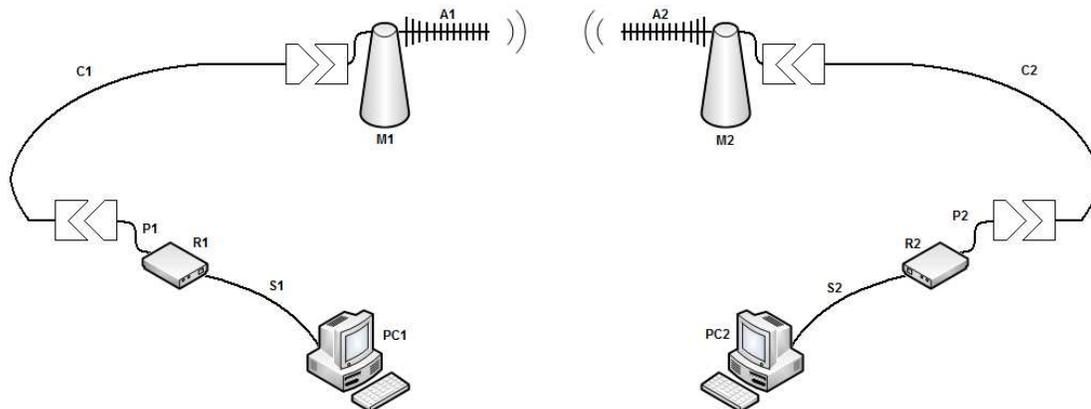
Existen métodos de modulación analógicos por amplitud (AM) y por ángulo (FM, PM). De igual manera existen métodos de modulación digitales donde la diferencia fundamental es que la portadora es un pulso cuadrado. Ejemplos de modulación digital son PSK, FSK, ASK y QAM (7).

La mayoría de las señales se originan de manera analógica, sin embargo con el fin de aprovechar la infraestructura tecnológica digital existente para su procesamiento, es necesario convertirlas de analógicas a digitales. La **codificación** consiste en la representación de manera digital de una señal analógica.

Una señal de alta frecuencia, comparada con una de menor frecuencia, tiene la capacidad de poder representar un mayor número de símbolos o información en un determinado lapso de tiempo. Sin embargo, en sistemas de comunicaciones inalámbricos, las señales de mayor frecuencia tienden a degradarse con mayor rapidez. En términos de pérdida de propagación, se ha ilustrado matemáticamente que las señales de 900 MHz pueden llegar a tener hasta 2.67 veces el rango de una señal de 2.4 GHz (8). Por lo tanto la banda de frecuencias que nuestro sistema de comunicación vaya a utilizar depende en gran medida del desempeño y rango que se desee que éste tenga.

### 3 Arquitectura del Sistema de Comunicaciones

El sistema de comunicaciones que se propone consiste básicamente de dos radios de 900 MHz conectados a computadoras de escritorio mediante cables seriales. Estos radios se encargan de modular la información recibida desde las computadoras para su transmisión mediante un par de antenas de alta ganancia, las cuales proveerán al sistema de capacidad inalámbrica. Idealmente el sistema (a partir de los radios) funcionaría de modo transparente para las computadoras, de manera que estas piensan que están directamente conectadas por un cable serial.



Clave	Nombre	Cantidad
<b>Mx</b>	Mástil de doce metros de altura	2
<b>Ax</b>	Antena de alta ganancia (15.1 dBi) Yagi-Uda A09-Y15NF	2
<b>Rx</b>	Radio XTend OEM de 900 MHz	2
<b>PCx</b>	Computadora Personal	2
<b>Cx</b>	Cable R-Flash 1113 de 20 metros de largo (N Macho a N Hembra)	2
<b>Px</b>	Cable Pigtail RPSMA - N	2

<b>Sx</b>	Cable serial (DB9 –DB9)	2
	Conector N Macho	4
	Conector N Hembra	4

**Figura 4. Estructura del Sistema de comunicación.**

En las secciones siguientes se presenta una descripción detallada de los módulos que componen el sistema de comunicación propuesto.

### 3.1 Módulos de radio

Los dispositivos de radio utilizados en esta investigación son los módulos 9XTend OEM RF (figura 5), fabricados por la compañía Digi (9). Estos módulos preparan la señal recibida desde el puerto serial para su transmisión en el aire. Transfieren una corriente de datos seriales asíncronos, operan dentro de la banda ISM de 900 MHz y tienen una capacidad de transmisión de hasta 115.2 Kbps de *throughput*.



Figura 5. Módulos 9XTend OEM RF empleados en la investigación.

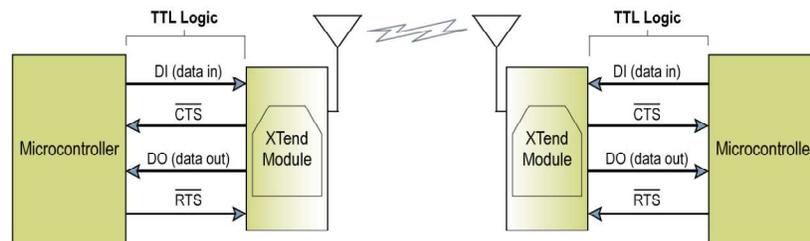
Estos equipos pueden controlar el nivel de Watts utilizado, desde 1 mW hasta 1 W. Considerando que los equipos estén configurados para utilizar el máximo (1 W) y estén conectados a una antena de alta ganancia, el fabricante estima que funcionando a 9600 bps y con línea de vista entre las antenas, se pueden establecer enlaces de hasta 64 Km. Si aumentamos la tasa de transferencia a 115200 bps (el máximo soportado por los módulos), la distancia máxima, bajo las mismas condiciones mencionadas anteriormente, es de 32 Km.

Como técnica de modulación, los radios ocupan FSK (Frequency-Shift Keying) y FHSS (Espectro Expandido por Salto de Frecuencia), estas técnicas a parte de preservar el espectro electromagnético, hacen a la señal más resistente a interferencias (6) .También cuentan con capacidad para cifrar la señal con el

Estándar Avanzado de Encriptación (AES). Cada módulo tiene una interfaz RPSMA por la cual saldrá la señal ya modulada y lista para la antena.

Los módulos XTend se conectan a un dispositivo anfitrión mediante un puerto serial asíncrono. A través de esta interfaz, el módulo puede comunicarse con cualquier dispositivo compatible con voltajes para Transmisor-Receptor Asíncrono Universal (UART) o a través de traductores de nivel, a cualquier dispositivo serial.

Los dispositivos con interfaces UART pueden conectarse directamente a los pines de los módulos de radio.



**Figura 6. Flujo de datos del sistema con interfaces UART.**

La figura 6 muestra el flujo de datos del sistema con interfaces UART. Los módulos se encargan de recibir la información por el pin DI para transmitir por radiofrecuencias. La información que reciban a través de la antena saldrá hacia la interfaz UART por medio del pin DO (9).

### **3.2 Diagrama de tiempo y funcionamiento de los módulos de radio.**

La información entra en el pin DI, como una señal serial asíncrona. La señal está inactiva con un nivel alto, esto quiere decir que cuando no se transmitan bits la señal estaría en un nivel alto de voltaje.

Cada byte de información consiste de un bit de inicio (en bajo), 8 bits de datos (bit de menos significante primero) y un bit de parada (en alto).

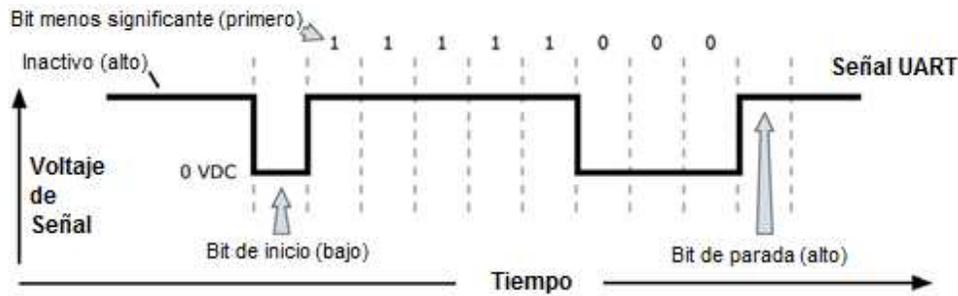


Figura 7. Paquete 0x1F siendo transmitido a través del módulo.

La figura 7 (9), muestra de manera de ejemplo como la UART realiza la transmisión de un byte mediante un diagrama de tiempos. El equivalente binario del dato a transmitir es 0001-1111. Sin embargo, como los radios transmiten primero el bit menos significativo (comenzando por la derecha), se invierte el orden a 1111-1000. Obsérvese el bit de inicio en bajo y el bit de parada en alto que delimitan cada byte de información (9).

El UART del módulo se encarga de realizar tareas para que la comunicación se establezca satisfactoriamente. Sin embargo, es necesario configurar a las dos UART (del módulo y del puerto serial de la computadora) con los mismos parámetros en tasa de baudios, paridad, bits de parada, bits de inicio y bits de datos.

Cuando la información entra al pin 5, también conocido como DI (Data In), se almacena en un buffer hasta que pueda ser procesada. En este punto el módulo intenta iniciar una conexión por radio frecuencias, si el módulo está recibiendo información en este instante, la información es entonces mantenida en el buffer. El buffer al menos almacena 2.1 KB. Si el buffer se llena, entonces se aplicarían métodos de control de flujo (por hardware o software) para prevenir pérdida de información entre la computadora y el módulo XTend.

Ya mencionado lo anterior, se concluye que la tasa de información configurada en el puerto serial de nuestra computadora no debe de ser mayor a la tasa de información a la cual el módulo de radio está configurado para transmitir a la

antena. Si esto no se cumple, ocurrirán los errores mencionados en el párrafo anterior.

Cuando llegue información en forma de radiofrecuencias al radio, ésta entrará al buffer DO (Data Out) y será enviado al puerto serial de la computadora. Cualquier información que llegue al radio cuando el buffer DO esté lleno será descartada. El buffer DO, de igual manera que el buffer DI, almacena al menos 2.1 KB. Por esto es importante que la tasa de datos en la cual opera el radio no sea muy distinta de la tasa de datos del puerto serial de la computadora. Si la primera es más rápida entonces la información llega más rápido de lo que el radio puede reenviar, provocando la eventual pérdida de información. La figura 8 muestra el diagrama de flujo de datos interno de los módulos XTend (9).

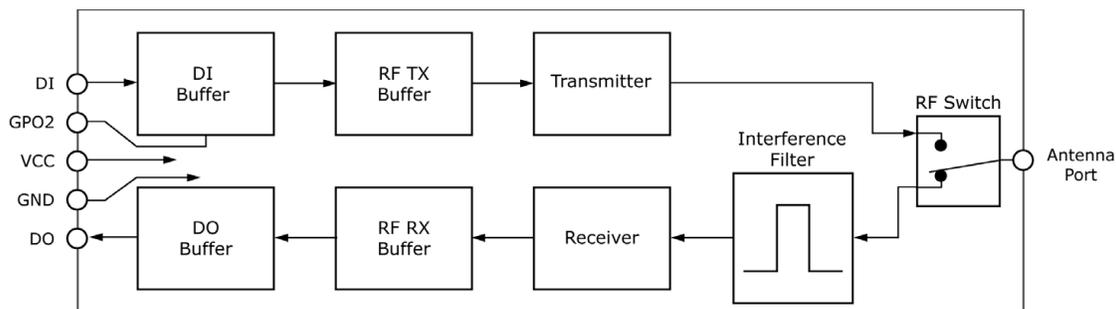


Figura 8. Diagrama de flujo de datos interno de los módulos XTend.

Por defecto los módulos operan en “Modo Transparente” de tal manera que actúan como reemplazo de una línea serial, todos los datos recibidos por el pin DI se alinean para ser transmitidos por radiofrecuencias. Cuando se recibe información por radiofrecuencias, se envía la información por el pin DO.

### 3.3 Antenas

Las antenas utilizadas en esta investigación (modelo A09-Y15NF) son antenas de alta ganancia (15.1 dBi) de tipo Yagi-Uda de trece elementos. Tienen una impedancia de 50 Ohm y operan dentro de la banda ISM de 902 a 928 MHz por lo que no es necesario pedir ningún tipo de permiso para ocuparlas.

### 3.4 Cables y conectores

Para conectar los radios con la antena se utilizó el cable coaxial Rflash 1113 de Viakon cuyas características, de acuerdo al fabricante (10), son las siguientes:

Propiedades del cable RFlash 1113	
<b>Impedancia</b>	50 Ohms
<b>Diámetro Exterior</b>	10.29 mm
<b>Factor de velocidad</b>	84%
<b>Atenuación</b>	2.7 dB / 30m a 450 MHz
<b>Conductor Interno</b>	Cobre Sólido, Cal. 10
<b>Aislamiento</b>	Polietileno Semi-Sólido
<b>Blindaje</b>	Doble Malla, 90% Cobre Estañado

Referente a la investigación sobre cables disponibles con distribuidores en la ciudad de Chetumal, el cable Rflash 1113 es el que presentó mejores características, lo que garantiza que la señal va a llegar en las mejores condiciones posibles del radio a la antena. Lo anterior en términos de atenuación, y velocidad.

Se utilizaron dos cables de este tipo, con una longitud de veinte metros cada uno. En sus extremos llevan un conector tipo N Macho, y un conector tipo N Hembra, esto con el fin de adaptarse a las terminales que tienen los radios y las antenas.

Ya que los radios que se utilizaron en este proyecto tienen una interfaz RPSMA, se utilizarán los adaptadores pigtail que van de RPSMA a N, con el fin de poderse conectar con el cable Rflash 1113 o con la antena directamente.

Finalmente los cables que van desde las computadoras a los radios son cables seriales con terminales DB-9

### 3.5 Computadoras Personales

Las computadoras no tienen que cumplir con requisitos estrictos. Cualquier computadora que sea capaz de ejecutar Windows XP y que cuente con al menos una interfaz serial DB-9 pueden ser usadas.

Las características de hardware y software utilizadas en este proyecto son las siguientes:

<b>Computadora 1</b>	
<b>Procesador</b>	Intel Celeron a 2.53 GHz
<b>Memoria</b>	1 GB RAM
<b>Disco Duro</b>	150 GB
<b>Sistema Operativo</b>	Windows XP Profesional Service Pack 3
<b>Puertos seriales</b>	1

<b>Computadora 2</b>	
<b>Procesador</b>	Intel Pentium 4 a 2.40 GHz
<b>Memoria</b>	1.5 GB RAM
<b>Disco Duro</b>	75 GB
<b>Sistema Operativo</b>	Windows XP Profesional Service Pack 3
<b>Puertos seriales</b>	1

### **3.6 Circuito Generador de Caracteres (CGC)**

Se ensambló un pequeño circuito cuya principal función es generar un flujo de datos a ser transmitidos por un cable serial. Este flujo consiste en la serie de caracteres "ABCDEFGHI", cada carácter es transmitido en intervalos de un segundo. Al terminar la serie, el flujo se repite desde el principio. Este ciclo se repite un número infinito de veces.

Los caracteres utilizan el Código Estadounidense Estándar para el Intercambio de Información (ASCII por sus siglas en inglés). El componente principal del

circuito es un Microcontrolador PIC (específicamente el 16LF84A), el cual fue programado para emitir dicha secuencia de información.

El uso de este circuito en esta investigación es simplemente para comprobar la utilidad de los radios XTend09 en un sistema de comunicación para sensores.

Los sensores son dispositivos que detectan la magnitud de eventos externos, tales como temperatura, humedad, luminosidad, etc. Esta información recabada puede ser transmitida por medio de radios como los utilizados en esta investigación.

Los requerimientos de ancho de banda de los sensores son mucho menores a los de Internet, ya que los primeros solo mandan pequeñas muestras de información en determinados intervalos de tiempo, de la misma manera que nuestro circuito generador de caracteres.

Para mayor detalle sobre código y diagrama del circuito usado vea los anexos A y B respectivamente.

## 4 Protocolos y Software

### 4.1 X-CTU

X-CTU es una aplicación basada en Windows que Digi, la empresa que distribuye los radios XTend provee. Este programa fue diseñado para interactuar con el firmware de los radios de Digi y para proveer una interfaz gráfica simple para que el usuario pueda interactuar con los equipos de manera sencilla. De acuerdo con el sitio oficial de Digi (11), X-CTU sólo puede ser ejecutado en cualquier computadora que esté utilizando Windows 2000, XP y 2003, sin embargo en este proyecto se utilizó bajo Windows Vista Home Premium Service Pack 1 sin haber ningún inconveniente. Este software siempre está incluido en los discos compactos que vienen con los radios Digi, pero en su defecto, puede ser descargado de su sitio oficial (12).

Entre las funciones que puede realizar el programa están las siguientes:

- Soporte para todos los productos MaxStream/Digi.
- Terminal integrada al software.
- Sencilla utilidad para efectuar pruebas de rango.
- Indicador de Fuerza de la señal recibida (RSSI).
- Sencilla interfaz para actualizar el firmware.
- Puede mostrar caracteres ASCII y hexadecimales en la terminal.
- Cuenta con una utilidad para ensamblar paquetes ya sea en ASCII o en hexadecimal para transmitir en la terminal.
- Posibilidad de crear “perfiles”, en los cuales se pueden guardar configuraciones específicas de los módulos.
- Detección automática del módulo conectado.
- Restauración opcional de la configuración por defecto de los radios.
- Despliegue de mensajes de ayuda acerca de cada uno de los parámetros de los radios.
- Configuración opcional por medio de la terminal.

- Integración con Labview y otros productos similares a través de la CLI.

El programa cuenta con cuatro pestañas, siendo sus características principales las siguientes:

PC Settings (Configuración de la PC). Aquí se realiza la configuración del puerto serial por el cual la computadora se comunicará con el radio. Los parámetros de Baudios, Control de Flujo, Bits de datos, Paridad y Bits de parada deben de ser los mismos que están configurados en el radio, de lo contrario no se podrá establecer comunicación.

Range Test (Prueba de alcance). Le permite al usuario realizar pruebas de alcance entre dos radios. X-CTU, una vez iniciada la prueba en ambos radios, automáticamente calcula el porcentaje de paquetes recibidos en comparación con los perdidos.

Terminal. En esta pestaña se puede establecer comunicación con el radio por medio de línea de comandos, incluso se puede configurar el radio por medio de comandos AT (sin embargo por cuestiones de simplicidad, se recomienda hacer esto en la pestaña Modem Configuration). De igual manera, en esta pestaña es donde podemos crear paquetes de prueba y enviar y recibir texto plano hacia el otro radio. En azul aparece lo escrito localmente (lo que se envía al radio) y en rojo aparece lo que se ha recibido por el puerto serial (información ya sea del radio o información recibida por la antena).

Modem Configuration (Configuración del Módem). Ofrece una interfaz gráfica para configurar el módem sin la necesidad de hacerlo mediante la terminal utilizando la CLI. Útil para determinar el radio que está conectado y su actual configuración. Provee lo necesario para actualizar o cambiar el firmware, crear perfiles con configuraciones específicas, etc.

La versión utilizada en este proyecto fue la 5.1.0.0. Se utilizó no solamente para configurar y establecer comunicación directa con los radios, sino también para

efectuar pruebas básicas de comunicación y medir el RSSI y con ello poder alinear las antenas de manera óptima.

#### 4.2 Firmware de los radios XTend

El firmware, de acuerdo al Glosario Estándar de terminologías de Ingeniería de Software del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Std. 610.12-1990), firmware es la combinación de un dispositivo hardware, instrucciones de computadora y datos que residen como software de sólo lectura en un dispositivo.

A continuación se describen las características del firmware utilizado en ambos radios.

XTEND	
<b>Modem</b>	XT09
<b>Conjunto de funciones</b>	9XTEND 9600/115K HOPPING
<b>Versión</b>	206C

El firmware tiene a su disposición varios parámetros que pueden ser configurados para moldear el comportamiento de los radios. Esto puede ser revisado y cambiado en la pestaña “Modem Configuration” de X-CTU.

De todos los parámetros configurables en los radios, se debe prestar atención a los siguientes, ya que son principalmente ellos los responsables de que se pueda llevar a cabo el proyecto satisfactoriamente. La siguiente información fue adquirida del manual oficial de los radios XTend OEM (9).

#### BD

Este comando se utiliza para configurar la tasa de datos de la interfaz serial del módulo de radio. La tasa de datos de esta interfaz debe de ser exactamente la misma que está configurada en el puerto serial de la computadora en donde se conecte el radio, por lo que si existe una diferencia de tasas de datos, no se

podrá tener comunicación con el radio. Existen nueve parámetros (del 0 al 8) configurables en la pestaña “Modem Configuration”:

Parámetro	Configuración (Bits por segundo)
0	1200
1	2400
2	4800
3	9600
4	19200
5	38400
6	57600
7	115200
8	230400

#### BR

Este comando se utiliza para configurar la tasa de transferencia que el radio utiliza a la hora de transmitir por el aire, mediante radiofrecuencias, los datos que recibe a través de la interfaz serial. Solamente cuenta con dos opciones configurables.

Parámetro	Configuración (Bits por segundo)
0	9600
1	115200

#### DB

Es mediante este comando que podemos leer la potencia de la señal recibida del último paquete recibido (en decibeles relativos a miliWatts). Este parámetro es útil a la hora de determinar la variabilidad de esta fuerza de recepción bajo

varias condiciones. Por defecto, este comando despliega el nivel de potencia en formato decimal con unidades en dBm.

### DT

Comando utilizado para configurar la dirección destino a la cual el módulo de radio local enviará los paquetes que vaya transmitiendo. Este parámetro consiste en cuatro dígitos hexadecimales, y por defecto está configurado para funcionar en modo broadcast (0xFFFF). Para que funcione en modo unicast se tiene que cambiar este parámetro a la dirección MY (ver más adelante) del módulo destino. Este comando solo es relevante para las pruebas de RSSI, ya que cuando se lleva a cabo la conexión PPP, se utilizará el modo transparente, donde los datos carecen de encabezados.

### MY

Este parámetro define la dirección del radio local. Al igual que DT, MY consiste en cuatro dígitos hexadecimales y por defecto está configurado con el valor 0xFFFF, lo que significa que tomará el valor de DT como la dirección fuente (MY) y destino (DT). Para tener un comportamiento de tipo unicast, se debe configurar una dirección menor a FFFF y utilizar a ésta como la DT del módulo destino (y utilizar la MY del módulo destino como la DT del módulo local). De igual manera que en DT, MY sólo es relevante para las pruebas de RSSI por las mismas razones.

### MT

Este comando es utilizado para permitir múltiples transmisiones de paquetes de datos en radiofrecuencias. Cuando está habilitado (configurado con un valor mayor a cero), los paquetes no esperan un acuse de recibo del módulo destino y se enviarán MT+1 paquetes (sin petición de acuses de recibo). Cuando el radio destino recibe estos paquetes, automáticamente calcula la longitud de éstos para no transmitir en el tiempo que sea necesario y recibir todas las

retransmisiones (MT+1 paquetes). Al finalizar se crea un número aleatorio de retardo, el cual tendrá que esperar el radio destino para volver a transmitir. Este modo de operación genera retardos y hace más pequeño el ancho de banda real, sin embargo, aumenta la posibilidad de que se entreguen los datos íntegros al destino.

### PL

Aquí se define el nivel de potencia que el radio utiliza para transmitir la información por radio frecuencias. Este parámetro tiene cinco valores posibles (del 0 al 4) y equivalen a lo siguiente:

Parámetro	Configuración
0	1 mW
1	10 mW
2	100 mW
3	500 mW
4	1000 mW (1 Watt)

Por defecto está configurado para funcionar en su máximo nivel de potencia: 1 Watt.

### RR

Este comando es utilizado para configurar el máximo número de reintentos que se pueden hacer para el envío de un determinado paquete. Cuando este comando está activado (valor mayor que cero), se habilitan tanto los intentos por reenviar paquetes como los acuses de recibo de los mismos. Después de transmitir un paquete, el módulo espera la recepción de un acuse de recibo del módulo destino. Si no se recibe este acuse en el periodo especificado en el comando RN, el paquete original se retransmite de nuevo. Si se vuelve a superar el periodo el proceso se repite, esto puede ocurrir RR veces.

Sin embargo, si el comando MT (mencionado anteriormente) tiene un valor mayor a cero, o si se está utilizando el modo broadcast (dirección destino igual a 0xFFFF), los reintentos y los acuses de recibo estarán deshabilitados.

### **4.3 PPP**

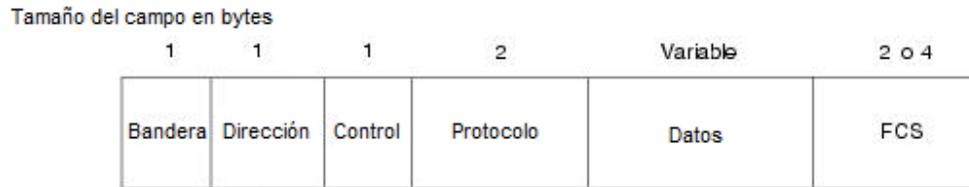
El Protocolo de Punto a Punto (PPP) consiste en un algoritmo que define los pasos a seguir para transportar datagramas de diversos protocolos sobre enlaces punto a punto. (13)

PPP está compuesto de tres partes principales: El método para encapsular los datagramas, el protocolo que controla el enlace (Link Control Protocol ó LCP) establece, configura, y prueba la conexión en la capa de enlace de datos, y finalmente el conjunto de protocolos de control de red (Network Control Protocol) que le permite a PPP el permitir el uso simultáneo de varios protocolos de red. (14)

A la hora de establecer comunicaciones sobre un enlace punto a punto, primeramente un nodo envía tramas LCP para configurar y, opcionalmente, hacer pruebas sobre el enlace de datos. Después de que el enlace haya sido establecido satisfactoriamente, el mismo nodo que inició el envío de tramas LCP ahora enviará tramas NCP para elegir y configurar uno o más protocolos de capa de red. Cuando cada uno de los protocolos de red elegidos ha sido configurado, los paquetes de cada protocolo de red pueden ser enviados sobre el enlace. El enlace permanecerá activo hasta que alguna trama, ya sea de LCP o NCP ordene cerrar el enlace, o hasta que algún evento ajeno ocurra (fallo físico en el enlace o intervención del usuario).

PPP puede operar en cualquier interfaz DTE/DCE, entre ellas RS-232-C, RS-422, RS-423 y V.35. La única constante en los requerimientos físicos de PPP es que requiere un enlace serial que pueda operar en modo ya sea síncrono o asíncrono (esto no afecta de ninguna manera a las tramas de enlace de datos).

PPP no impone ninguna restricción en cuanto a la tasa de transferencia de información, utiliza sin objeciones la tasa configurada en la interfaz DTE/DCE en uso (14).



**Figura 9. Estructura de la trama PPP.**

La estructura de la trama PPP (14) puede observarse en la figura 9; los campos que la forman son descritos a continuación:

**Bandera.** Byte que indica el comienzo o fin de una trama. Consiste en la secuencia binaria 01111110.

**Dirección.** Byte que contiene la secuencia 11111111, dirección de broadcast estándar. PPP no asigna direcciones de nodos individuales.

**Control.** Byte que contiene la secuencia 00000011, se utiliza para iniciar la transmisión de datos del usuario en una trama sin secuencia.

**Protocolo.** Dos bytes que identifican el protocolo encapsulado en el campo de información de la trama

**Datos.** Cero o más bytes que contienen el datagrama para el protocolo especificado en el campo "Protocolo". El final del campo de información se encuentra al localizar la secuencia de bandera de cierre (closing flag) y el campo FCS. El tamaño máximo por defecto para el campo de información es de 1,500 bytes (13). Sin embargo esto puede variar dependiendo de las implementaciones PPP que se utilicen. (14)

**Secuencia de revisión de trama (FCS).** Por defecto mide 16 bits, sin embargo puede configurarse como de 32 bits para mejorar la detección de errores.

LCP puede negociar modificaciones a la estructura estándar de PPP, sin embargo, estas tramas modificadas siempre serán claramente diferentes a las estándar.

LCP provee un método para establecer, configurar, mantener y finalizar la conexión PPP. LCP consiste de cuatro fases:

**Establecimiento del enlace.** Esto ocurre antes de que cualquier intercambio de información de capa de red ocurra. LCP se encarga de negociar parámetros de configuración del enlace. Esta fase se considera completa cuando se manda y recibe un acuse de configuración.

**Determinación de calidad del enlace** (Opcional). En esta fase se realizan pruebas para determinar si el enlace tiene la calidad suficiente para establecer los protocolos de red. LCP puede retrasar la transmisión de datos de capa de red hasta que esta fase sea completada.

**Configuración de protocolos de capa de red.** Esto ocurre al finalizar la determinación de calidad del enlace. Cada protocolo de red se configura por separado por su NCP correspondiente. Los enlaces en esta capa pueden ser activados y desactivados en cualquier momento. Si el LCP cierra el enlace, informa a los protocolos de capa de red para que estos puedan tomar las medidas apropiadas. Esto ocurre principalmente por la petición de un usuario pero también puede ocurrir, como se mencionó anteriormente, por un evento físico como la pérdida de la señal o la expiración del temporizador “idle-period” (tiempo inactivo).

Son tres clases de tramas LCP las que existen y hacen que las fases anteriores funcionen: Tramas de establecimiento, finalización y mantenimiento del enlace.  
(14)

#### **4.4 D-ITG**

El Generador de Tráfico de Internet Distribuido (D-ITG por sus siglas en inglés) es una plataforma capaz de producir tráfico a nivel de paquetes. Busca replicar con precisión procesos estocásticos como lo son el tráfico de internet en distintas variantes. D-ITG soporta IPv4 e IPv6 y puede generar tráfico en las capas de aplicación, transporte y red (15).

Durante este proyecto se utilizó esta herramienta con el fin de evaluar el desempeño de la red en capas más altas, ya que con X-CTU solamente se pueden hacer pruebas a nivel capa física (RSSI).

D-ITG puede ser descargado desde su sitio oficial (16).

Se utilizó la última versión estable disponible en el momento que se realizó esta investigación, que es la 2.6.1.d. El instalador para IPv4 binarios en formato Zip fue el elegido:

“D-ITG-2.6.1dWIN (IPv4) Windows binary files (zip format)”

Los archivos descargados pueden ser descomprimidos en cualquier carpeta, sin embargo se recomienda hacer esto en una ruta sencilla para mantener la escritura de comandos y movimiento de archivos de la manera más sencilla posible.

D-ITG puede ser controlado por medio de una interfaz gráfica desarrollada en Java. Ésta puede ser descargada desde el sitio oficial de Volker Semken, creador de dicha interfaz (17).

#### **4.5 Radio Mobile**

Radio Mobile es un software gratuito (*freeware*) utilizado principalmente para la predicción del desempeño de un sistema de radio (18). Utiliza información digital de relieve para hacer un análisis del camino que recorre la señal del emisor al receptor.

Los mapas de relieve de la región fueron obtenidos del sitio oficial del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en el Servidor Integrado de Mapas Nacionales (19).

El principal uso de este software durante la investigación fue para corroborar la existencia de línea de vista entre las dos antenas.

#### **4.6 NetMeeting**

Para hacer una prueba en la que se pueda ver el desempeño de la red desde la perspectiva del usuario, se utilizará NetMeeting de Microsoft.

NetMeeting es un cliente para Videoconferencias y Voz sobre IP (VoIP) que viene incluido en Microsoft Windows XP. Utiliza el protocolo H.323 para conferencias de video y audio.

Su uso en esta investigación no es para ofrecer resultados numéricos, sino más bien consiste en una representación visual acerca de la calidad de video y audio que el ancho de banda disponible soporta (determinado por el generador de tráfico).

## 5 Pruebas y Resultados

### 5.1 Parámetros de módulos y software

#### 5.1.1 Módulos de Radio

Las configuraciones de los radios se muestran en la figura 10. La mayoría de los comandos están configurados con los valores por defecto (verde), los comandos en azul denotan que los radios tendrán las direcciones 0xAAAA y 0xB BBB y funcionarán en modo unicast. No utilizarán multi-transmisión (MT) y tendrán hasta diez reintentos (RR = A) para reenvíos de paquetes, esto con el fin de obtener el mayor ancho de banda posible. Finalmente el comando BD fue modificado para que la interfaz serial trabaje a la misma tasa de datos que el radio: 115200 bits por segundo (bps).

Los puertos seriales de las computadoras son configurados con los mismos parámetros del de los radios:

Configuración de puertos seriales	
<b>Tasa de Baudios</b>	115200 bps
<b>Control de Flujo</b>	Ninguno
<b>Bits de datos</b>	8
<b>Paridad</b>	Ninguna
<b>Bits de parada</b>	1

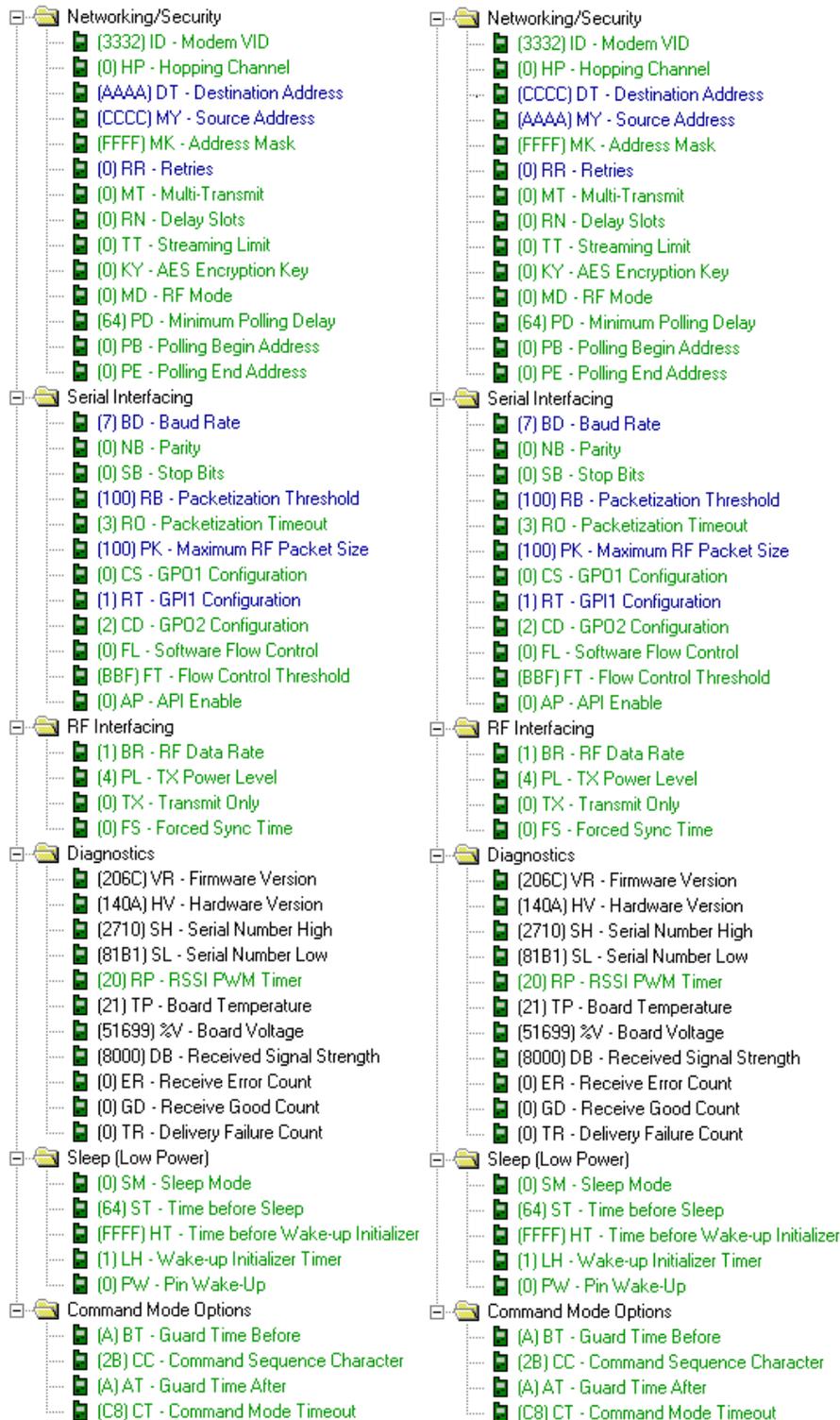


Figura 10. Configuraciones de los Radios 9XTend OEM RF en ambos radios.

### 5.1.2 PPP

Se establecerá un enlace que utilice el Protocolo de Punto a Punto (PPP) entre las dos computadoras utilizando el asistente para la creación de nuevas conexiones de red de Windows XP.

Un equipo será configurado para aceptar conexiones entrantes mientras que el otro será configurado para conectarse directamente a otro equipo. Es necesario especificar correctamente la configuración del puerto serial, así como un nombre de usuario de Windows XP.

### 5.1.3 NetMeeting

El audio en esta aplicación se configuró para adaptarse automáticamente a las condiciones del enlace mientras que el video fue configurado para correr con la menor calidad en una imagen de tamaño medio.

### 5.1.4 D-ITG

En este estudio se ejecutó la siguiente prueba de 2 minutos en cada escenario.

Distribución entre paquetes	Protocolo de capa de transporte	Paquetes por segundo	Tamaño del paquete	Tamaño del paquete de C3	Ancho de banda estimado de C3
Constante	UDP	25	512 Bytes	540 Bytes	108.0 kbps

Esta prueba servirá para ver la máxima capacidad del canal en bits por segundo utilizando una conexión PPP entre las dos antenas.

Se eligió ese tamaño de paquete y cantidad de paquetes por segundo por su proximidad al máximo ancho de banda del puerto serial que son 112.5 kbps.

La prueba de control determinará el ancho de banda en las mejores condiciones posibles, y de ahí se utilizará como referencia en las pruebas subsecuentes a 1.8 y 19.89 Km.

## 5.2 Escenarios de Pruebas

A continuación se describirán a detalle los tres escenarios implementados en esta investigación con los resultados de las pruebas efectuadas en cada uno.

### 5.2.1 Escenario 1. Control

Las antenas fueron apuntadas entre sí a 4 metros de distancia sin ningún obstáculo entre ellas. Esto con el fin de determinar el mejor rendimiento posible del sistema para ir observando el deterioro de la señal conforme la distancia entre las dos aumente en las pruebas subsecuentes.

### 5.2.2 Escenario 2. Ambiente Urbano (1.8 Kilómetros)

Las antenas fueron ubicadas a 1.8 Kilómetros de distancia en dos residencias en la ciudad de Chetumal. Las ubicaciones de las bases fueron estimadas con Google Earth y comprobadas con GPS. A continuación se enlistan las coordenadas usadas.

Nombre	Ubicación
Chetumal A	18° 30' 49.9" Norte, 88° 18' 48.2" Oeste
Chetumal B	18° 31' 44.0" Norte, 88° 19' 11.1" Oeste

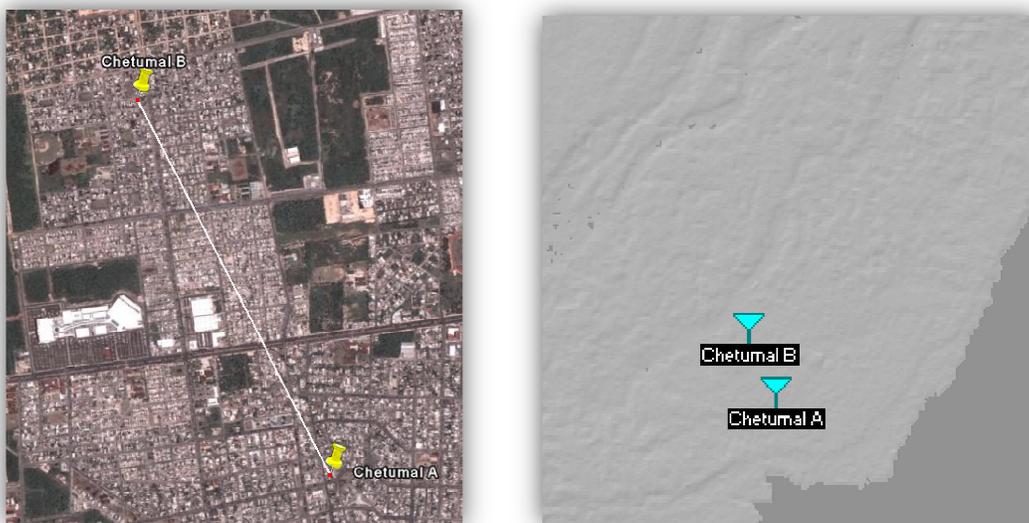


Figura 11. Ubicación de las bases en Google Earth y RadioMobile.

### 5.2.2.1 Alineación

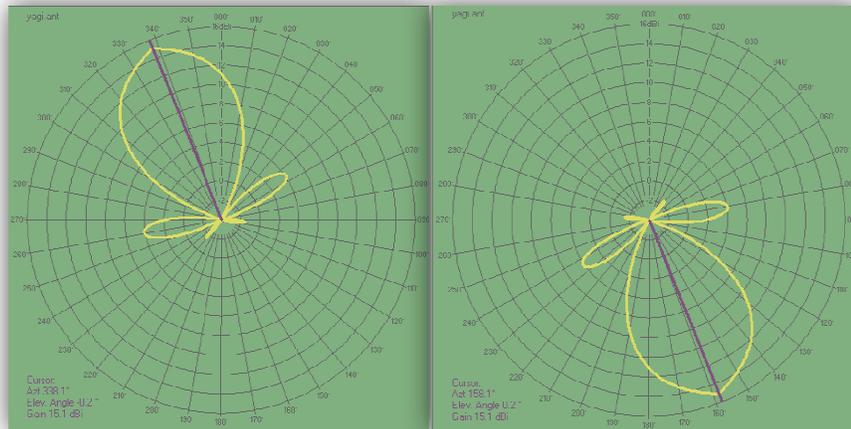


Figura 12. Alineaciones de las antenas “Chetumal A” y “Chetumal B”.

Nombre	Acimut
Chetumal A	338.07
Chetumal B	158.07

### 5.2.2.2 Perfil del relieve



Figura 13. Relieve de la zona entre las dos antenas.

<b>Distancia</b>	1.8 Km
<b>Elevación Chetumal A</b>	12.3m
<b>Elevación Chetumal B</b>	9.8m
<b>Altura de Antena Chetumal A</b>	15m
<b>Altura de Antena Chetumal B</b>	12m

### 5.2.3 Escenario 3. Largo alcance (19.89 Kilómetros)

En este último escenario, las antenas fueron colocadas en dos localidades distintas. La primera, Chetumal A, mantiene la misma posición que en el escenario 2. La segunda antena es colocada en una residencia en la ciudad de Bacalar. A continuación se enlistan las coordenadas usadas.

Nombre	Ubicación
Chetumal A	18° 30' 49.9" Norte, 88° 18' 48.2" Oeste
Bacalar A	18° 40' 33.6" Norte, 88° 26' 35.9" Oeste

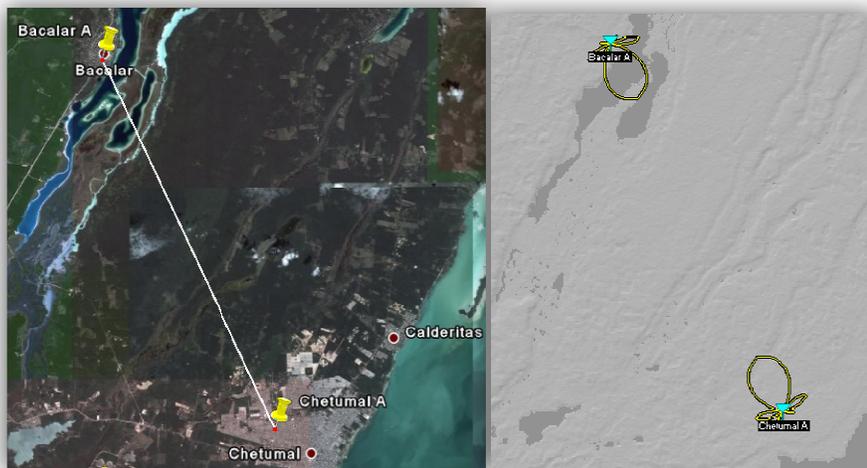


Figura 14. Ubicación de las bases en Google Earth y RadioMobile.

#### 5.2.3.1 Alineación

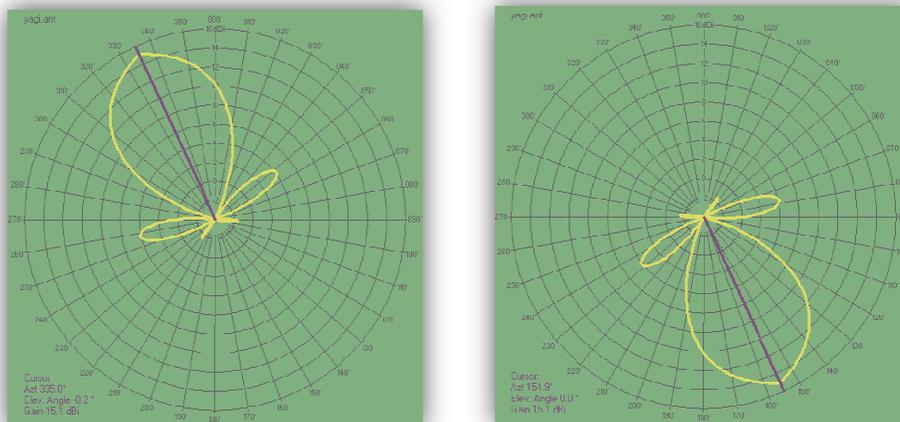


Figura 15. Alineaciones de las antenas “Chetumal A” y “Bacalar A”.

Nombre	Acimut
Chetumal A	334.97
Bacalar A	154.94

### 5.2.3.2 Perfil del relieve

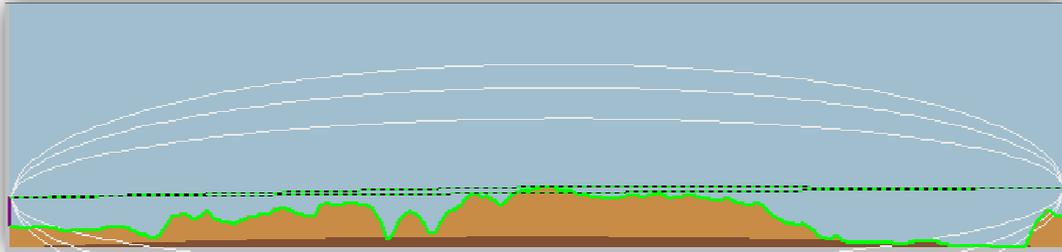


Figura 16. Relieve de la zona entre las dos antenas.

A diferencia del escenario anterior, el programa detecta una obstrucción a los 10.27 Km de “Chetumal A” hacia “Bacalar A”. Sin embargo también asegura e esto no impedirá que la señal llegue a su destino.

## 5.3 Pruebas y Resultados

### 5.3.1 Escenario 1. Control

#### 5.3.1.1 RSSI

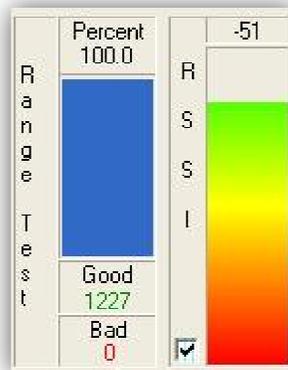


Figura 17. Resultados de la prueba de RSSI en la prueba de control.

En la figura 17 podemos apreciar dos datos importantes. A la izquierda aparece el porcentaje de paquetes de prueba creados por X-CTU que han llegado satisfactoriamente a su destino. A la derecha se encuentra la Potencia en la Señal Recibida en dBm.

Los valores posibles para el Indicador de Potencia en la Señal Recibida (RSSI por sus siglas en inglés) van desde -40 dBm (máxima potencia mostrada en el programa) y -100 dBm (la máxima sensibilidad del receptor de los radios a 115200 baudios). En esta prueba de control tenemos un RSSI de -51 dBm.

Para convertir de dBm a Watts utilizamos la siguiente fórmula:

$$dBm = \log_{10}(mW) * 10$$

-51 dBm equivalen a 0.000007943282347242822 mW. Esta potencia es suficiente para asegurar la integridad del 100% de los paquetes transmitidos.



generado. El eje de las abscisas representa el tiempo en segundos de la prueba mientras que las ordenadas simbolizan el ancho de banda en bits por segundo. Nótese la claridad del patrón en forma de sierra (salvo por el instante alrededor del segundo 60 y después de los 120 segundos, que es cuando se concluye la prueba).

<b>Tiempo total</b>	124.458 s
<b>Total de paquetes</b>	2562
<b>Jitter promedio</b>	0.012508 s
<b>Tasa de bits promedio</b>	84.317215 Kbits/s
<b>Tasa de paquetes promedio</b>	20.585258 paquetes/segundo
<b>Paquetes descartados</b>	438 (14.60%)



Figura 20. Capturas de pantalla de la videoconferencia.

Los 84.31 kbps determinados en UDP por el generador de tráfico son suficientes para sostener una conversación de audio con claridad y fluidez. Se presentaron unos ligeros defectos en cuanto a continuidad, pero la cantidad de estos es apenas notable. El video es fluido cuando se presenta poco movimiento por parte de los usuarios. La imagen rápidamente pierde coherencia cuando el usuario se levanta, pero después de cinco a diez segundos, si ya no existe movimiento, la imagen retoma una forma coherente.

## 5.3.2 Escenario 2. Ambiente Urbano (1.8 Kilómetros)

### 5.3.2.1 RSSI



Figura 21. Resultados de la prueba de RSSI a 1.8 Km.

Comparado con el RSSI de -51 dBm en el escenario de control, se puede ver que al haber 1.8 Km de distancia entre las antenas, la señal se ha degradado aproximadamente -9 dBm. Sin embargo, el porcentaje de paquetes recibidos nunca baja de 90.

### 5.3.2.2 Circuito Generador de Caracteres

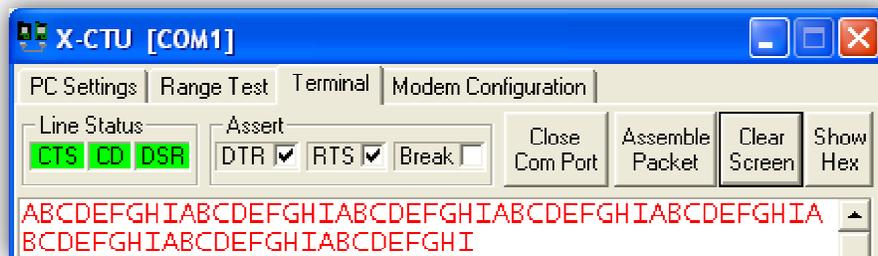


Figura 22. Información del circuito generador de caracteres recibida a 1.8 Km

De la misma manera que en la prueba de control, la totalidad de los caracteres enviados por el circuito fueron recibidos sin ningún problema a 1.8 Km de distancia entre las antenas.

### 5.3.2.3 D-ITG

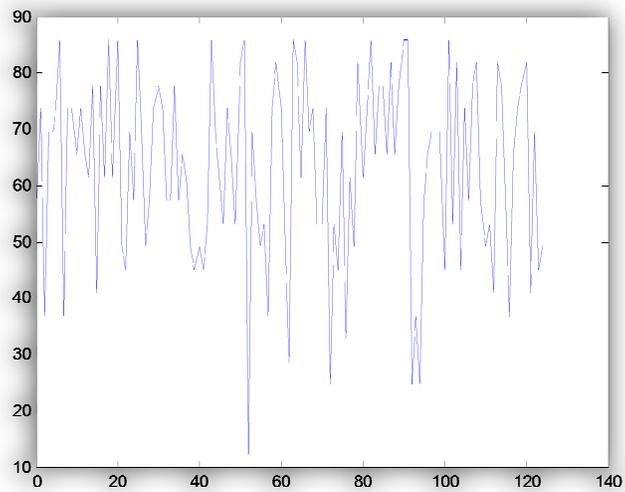


Figura 23. Ancho de banda calculado por D-ITG en el escenario 2.

La figura 23 nos muestra la información recabada por D-ITG sobre el ancho de banda utilizado por el tráfico UDP generado. El eje de las abscisas representa el tiempo en segundos de la prueba mientras que las ordenadas simbolizan el ancho de banda en bits por segundo.

<b>Tiempo total</b>	124.665 s
<b>Total de paquetes</b>	1927
<b>Jitter promedio</b>	0.012237 s
<b>Tasa de bits promedio</b>	63.313616 Kbits/s
<b>Tasa de paquetes promedio</b>	15.457426 paquetes/segundo
<b>Paquetes descartados</b>	1073 (35.77%)

Lo más relevante de estos resultados es que en 1.8 Kilómetros hubo una pérdida de 21.003599 Kbps. De igual manera podemos ver que en la figura 18 el ancho de banda en este escenario es muy volátil, sin embargo el promedio se mantiene sobre los 63.31 Kbps.



Figura 24. Videoconferencia de Microsoft NetMeeting bajo el escenario 2.

A pesar de la evidente caída en el ancho de banda del enlace, que pasó de 84.31 Kbps a 63.31 Kbps, la calidad de la llamada en NetMeeting fue sorprendentemente similar a la efectuada en la prueba de control. Esto nos demuestra que aun después de 1.8 Km el enlace sigue siendo lo suficientemente estable para este tipo de aplicaciones.

### 5.3.3 Escenario 3. Largo alcance (19.89 Kilómetros)

#### 5.3.3.1 RSSI

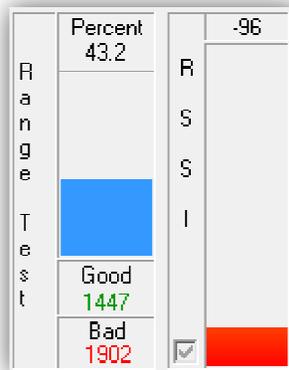


Figura 25. Resultados de la prueba de RSSI a 19.89 Km.

Los 19.89 Km del enlace tienen un efecto desgastante en la señal, ya que esta llega con tan solo -96 dBm, tan sólo a -4 dBm de la sensibilidad máxima de los radios. Esto se refleja en la gran cantidad de paquetes de prueba de X-CTU que se pierden en las pruebas de RSSI.

#### 5.3.3.2 Circuito generador de caracteres

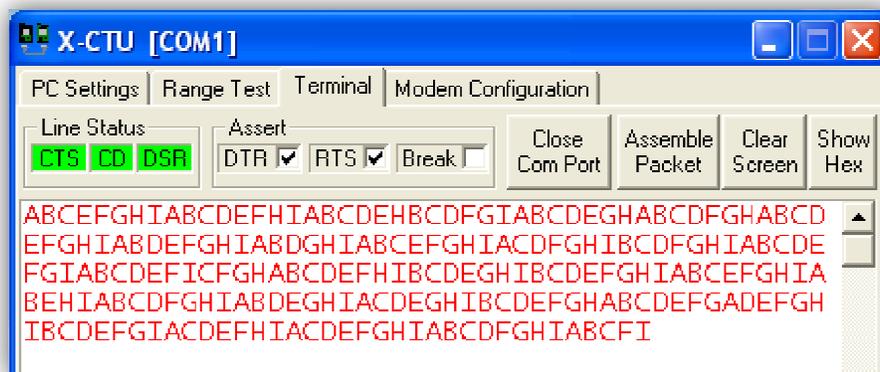


Figura 26. Información generada por el CGC recibida a 19.89 Km

A pesar de que en las primeras dos pruebas no existe ninguna pérdida en la información recibida, a los 19.89 Km se puede observar una clara pérdida de caracteres (véase figura 26).

#### **5.3.3.3 D-ITG**

La débil señal no es lo suficientemente estable como para soportar un enlace PPP, por lo que las pruebas con el generador de tráfico D-ITG no se pueden llevar a cabo.

## 6 Conclusiones

En primer lugar se debe mencionar la relativa facilidad con la cual las antenas fueron instaladas y alineadas. En las primeras pruebas, el proceso tomó de 3 a 4 horas. Sin embargo en las últimas instalaciones se redujo el tiempo de 1 a 2 horas. Este procedimiento se llevó a cabo con una brújula que cuenta con una mirilla, la cual fue enfilada con la dirección de la antena hasta llegar al acimut especificado por RadioMobile. Aunque las coordenadas obtenidas por GPS y GoogleEarth, que fueron utilizadas en RadioMobile, difieren en un margen de 5 metros unas de otras, fueron lo suficientemente precisas para ofrecer al primer intento un enlace con la potencia de recepción más grande posible, esto fue corroborado al ir alineando las antenas por tanteo mientras se observan los niveles de RSSI.

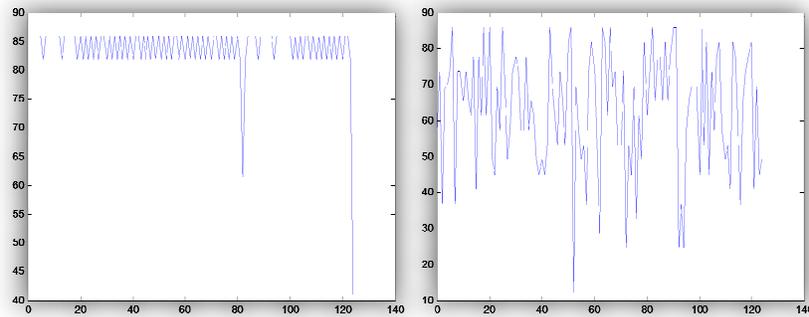
Durante esta investigación, en base a los resultados en cada escenario de las pruebas, se pueden obtener diversas conclusiones.

En la prueba de control se hace evidente la disminución de la tasa de bits que existe en la capa 3, causada tanto por los componentes físicos del sistema como por el uso de encabezados por parte de PPP en la capa 2.

Capa 3 (UDP/IP)	84.317215 Kbps
Capa 1 (RS-232)	112.5 Kbps

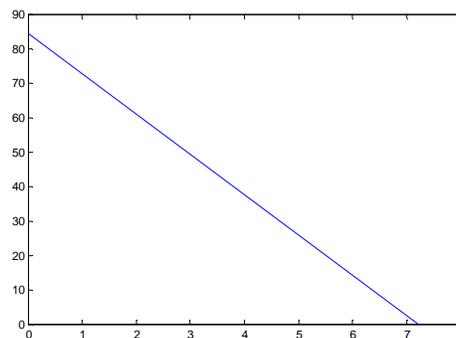
Estos 84.317215 Kbps que fueron obtenidos en la prueba de control, representan el mejor desempeño que puede tener este sistema.

En la figura 27, se puede apreciar claramente la inestabilidad que presenta la tasa de bits por segundo en la prueba de 1.8 Km al ser comparada con la prueba de control. En promedio el ancho de banda disminuyó de de 84.317215 Kbps a 63.313616 Kbps, esto quiere decir que la tasa de transferencia promedio disminuyó en un 25% en este escenario.



**Figura 27. Comparación del *bitrate* en control y 1.8 Km.**

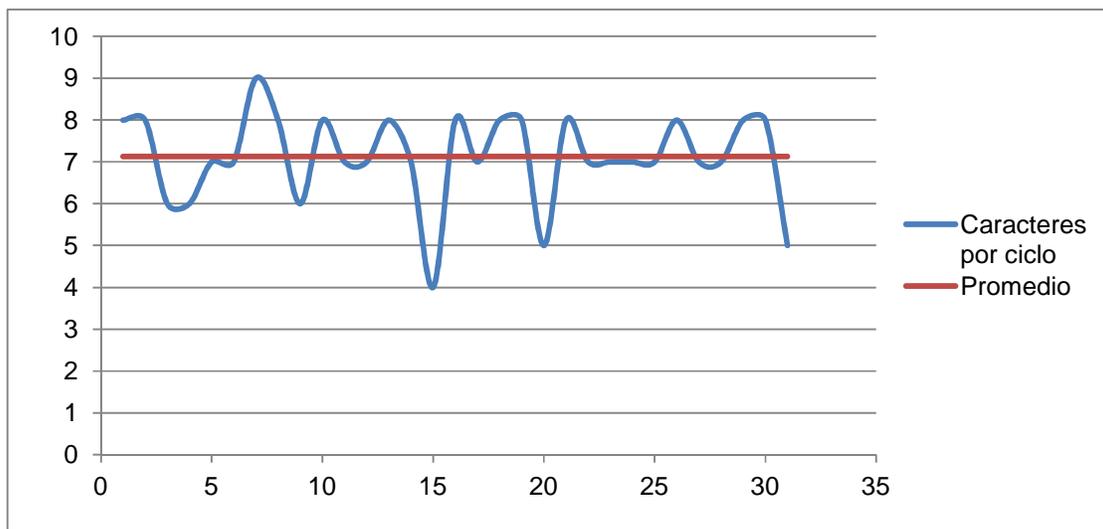
Si esperamos que esta disminución siga ocurriendo de manera lineal conforme la distancia entre las dos antenas se prolongue, entonces a los 7 kilómetros se espera que el enlace no sea lo suficientemente estable como para permitir una tasa de transferencia de 1 bit por segundo. Sin embargo el modelo lineal (figura 28) no necesariamente refleja el comportamiento natural de este fenómeno y se necesitarían más pruebas en otras distancias para ajustar los resultados a un modelo matemático más apropiado.



**Figura 28. Deterioro lineal del *bitrate* de acuerdo a la distancia.**

En esta investigación claramente se demostró el rápido deterioro de la tasa de bits en capas superiores (PPP e IP) a medida que la distancia se incrementa (figura 28).

Las capas superiores son las mayor afectadas por la atenuación y demás fenómenos negativos sobre la señal. Sin embargo, esta es lo suficientemente estable como para mantener la recepción de la mayoría de los caracteres ASCII (uno por segundo) transmitidos por el CGC a 19.89 Km de distancia.



**Figura 29. Caracteres por ciclo recibidos en el tercer escenario.**

En las primeras dos configuraciones, la totalidad de los caracteres enviados fueron recibidos sin ningún problema, sin embargo como ya se mencionó, la única prueba que presentó irregularidades en la recepción fue la del último escenario. Sin embargo de los 9 caracteres enviados por ciclo, en promedio se recibieron 7.13.

Lo importante de la cifra anterior es que esto se logró sin la ayuda de ningún tipo de método de corrección de errores en capas superiores. Sin embargo, ante la falta de estabilidad en la señal para establecer enlaces PPP/IP, existe la disponibilidad de varios mecanismo con los cuales cuentan los radios XTEND09 utilizados en estas pruebas.

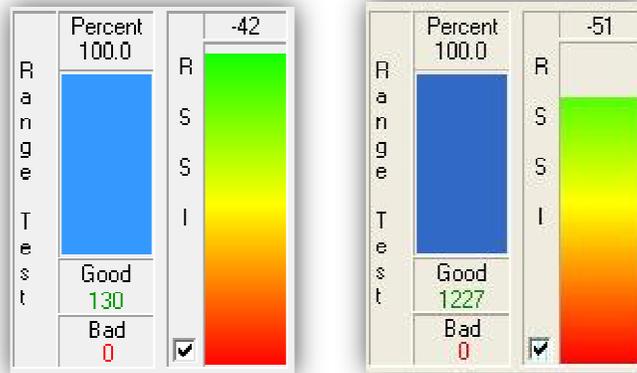
Los dos principales métodos para aumentar las probabilidades de que un carácter llegue íntegro de un radio a otro son el comando MT y RR (mencionados a detalle en “Firmware de los radios XTend”).

MT permite múltiples transmisiones de paquetes de datos, mientras que RR controla el máximo número de reintentos que se pueden hacer para el envío de un determinado paquete.

Hay que agregar que también existen otras soluciones que pueden ser diseñadas e implementadas por medio de circuitería o programas, ya que la información enviada y recibida por los radios es fácilmente obtenida en los puertos seriales para su análisis y tratamiento.

Finalmente se debe mencionar que una importante parte de la potencia de la señal fue absorbida por el cable que conectaba la antena con los radios. A pesar de ser el cable con mejor calidad (en términos de atenuación) que se puede conseguir en la capital de nuestro estado, su longitud es demasiado larga.

Se hizo otra prueba de control con las antenas RPSMA incluidas en el kit de desarrollo de los radios Xtend. Se conectaron directamente a los radios sin utilizar ningún cable y se colocaron a la misma distancia que la prueba de control original, 4 metros. Como se puede apreciar en la figura 30, hay una diferencia de -9 dB de potencia, que viene siendo aproximadamente lo que toda la arquitectura propuesta que se empleó durante esta investigación (entre conectores y cables) absorbió de potencia en la señal.



**Figura 30. Comparación del RSSI con cableado y sin cableado.**

Con lo anterior, a continuación se enlistará una serie de recomendaciones para mejorar el desempeño de un sistema similar que sea implementado en el futuro:

#### 1. Eliminación del cable.

El cable coaxial debe ser corto y hacer que los radios estén lo más cerca posible a la antena y así reducir las pérdidas de potencia en esta etapa del sistema de comunicaciones. La mayoría de los manuales de instalación de antenas ya mencionan esto; sin embargo, en esta investigación se quiso simplificar la instalación de las antenas y al mismo tiempo preservar la integridad de los radios al no exponerlos al medio ambiente.

Sin embargo, lo óptimo es fabricar u obtener una caja a prueba de agua y humedad con el fin de que el radio esté seguramente fijado al mástil y lo más cerca de la antena. Un cable serial para los datos y uno de energía (o una extensión en su defecto) deben ser implementados para llevar la señal de la computadora / sensor hasta el radio.

#### 2. Estabilidad del mástil.

En esta investigación se empleó alambre recocido para estabilizar la antena. Sin embargo, debido al gran tamaño de los mástiles, los alambres fueron fijados

aproximadamente a los 4-5 metros de altura a partir de la base fijada al suelo del mástil. Lo anterior dependiendo del lugar donde fueron instalados.

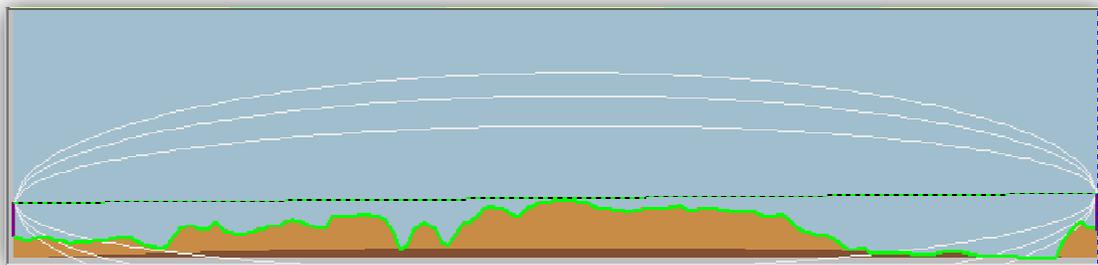
Se logró una muy buena estabilidad en la base, sin embargo en las últimas secciones del mástil (parte alta), se observaba un cierto movimiento, lo cual se veía reflejado de manera sutil en el medidor de ganancia RSSI.

Los mástiles debidamente instalados tienen cables que están ajustados en sus secciones baja, media y alta, de manera que este movimiento no está presente.

### 3. Mayor tamaño del mástil/torre.

Aunque se observó que una línea de vista estricta no es necesaria para establecer un canal de comunicación con estas antenas y radios (obstrucción en la prueba 3); superando obstrucciones a lo largo del camino, garantiza que la señal llegará con mejor potencia, lo cual tendrá un impacto directo en la capacidad del canal de comunicaciones.

Por ejemplo, si se hubieran instalado las antenas en mástiles o torres a una altura de 19 metros, se hubiera superado la obstrucción detectada en la prueba de 19.89 Km (véase figura 31).



**Figura 31. Superación de las obstrucciones con mayor tamaño de mástil.**

## **7 Conocimientos Adquiridos**

A lo largo de esta investigación, debido al contacto que he tenido con conceptos nuevos para mí, he recopilado conocimientos de varias disciplinas, que van desde detalles técnicos hasta principios teóricos.

Primeramente, el fundamento teórico de los sistemas de comunicaciones fue repasado, y gracias a ello pude comprender la operación de los módulos de radio que se utilizaron en este proyecto (en términos de modulación y transmisión de datos).

A un nivel técnico, se tuvo que repasar sobre los detalles de compatibilidad de cada uno de los componentes. Por ejemplo, los cables coaxiales deben operar en la misma impedancia que la antena.

Una vez comprendido el funcionamiento teórico y detalles técnicos de los aparatos, se procedió a encontrar herramientas de medición de ancho de banda y eficiencia de los enlaces. Finalmente se optó por hacer análisis en distintas capas de conectividad, primero en la capa física y luego en la de red (ambas del modelo OSI), esto con el fin de poder ver en varios niveles, como se va degradando la señal conforme la distancia aumenta.

El hecho de haber instalado todo el sistema con mis propias manos ayudó mucho para poder apreciar puntos de mejora en futuras implementaciones, propuestos en el siguiente capítulo.

## **8 Trabajos Futuros**

Una vez que se pusieron a prueba las capacidades de los componentes de este sistema de comunicación se tienen los fundamentos necesarios para poder visualizar sus aplicaciones potenciales.

Si se desea ampliar el uso de estos radios para el establecimiento de enlaces PPP, entonces es necesario diseñar e implementar un programa que redireccione el tráfico recibido por el puerto COM hacia una interfaz de un Router con conexión a Internet. Lo anterior con el fin de compartir este servicio a larga distancia. Sin embargo las diferencias en velocidad de transmisión y sobre todo el contenido de los encabezados incluidos en las tramas recibidas hace compleja esta labor, ya que si no se altera esta información se necesitaría un Router configurado con las mismas características de la sesión PPP creada en Windows XP. Otra manera de llevar a cabo esto puede ser el re-envío de la información Ethernet sin encapsulación PPP. Sin embargo para llevar a cabo cualquier solución se requiere un profundo conocimiento acerca de los protocolos involucrados y programación a bajo nivel.

De igual manera se podría llevar a cabo una comparación directa de la frecuencia de 2.4 GHz con los resultados obtenidos en esta investigación. Ésto con el fin de determinar las ventajas y desventajas de cada frecuencia. Naturalmente estas pruebas se tienen que llevar a cabo en las mismas condiciones y configuraciones que se emplearon en este estudio.

## 9 Bibliografía

1. **International Telecommunication Union.** World Telecommunication Indicators Database. *ITU's Official Website*. [En línea] 2008. [Citado el: 15 de Julio de 2009.] <http://www.itu.int/ITU-D/icteye/Indicators/Indicators.aspx>.
2. **Asociación Mexicana de Internet.** Hábitos de usuarios de Internet en México. *Sitio Oficial de la Asociación Mexicana de Internet*. [En línea] Mayo de 2009. [Citado el: 15 de Julio de 2009.] <http://amipci.org.mx/estudios/temp/RESUMENEJECUTIVOEstudioAMIPCI2009UsuariosdeinternetFINAL-03347250012456912600B.pdf>.
3. **Instituto Nacional de Estadística y Geografía.** Catálogo de Claves de Entidades Federativas, Municipios y Localidades. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. [En línea] Febrero de 2009. [Citado el: 21 de Marzo de 2009.] <http://mapserver.inegi.org.mx>.
4. **Dirección General de Planeación.** Localidades con Servicio de Telefonía Rural. *Sitio Oficial de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes*. [En línea] [Citado el: 15 de Julio de 2009.] [http://dgp.sct.gob.mx/fileadmin/user\\_upload/Estadistica/Infraestructura/Comunicaciones/T4.pdf](http://dgp.sct.gob.mx/fileadmin/user_upload/Estadistica/Infraestructura/Comunicaciones/T4.pdf).
5. **Kularatna, Nihal y Dias, Dileeka.** *Essentials of Modern Telecommunications*. s.l. : Artech House Publishers, 2004.
6. **Stallings, William.** *Wireless Communications & Networks*. Upper Saddle River, New Jersey : Pearson Prentice Hall, 2005.
7. **Tomasi, Wayne.** *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. s.l. : Prentice Hall, 2003.
8. **Digi International Inc.** 900 MHz vs 2.4 GHz. [En línea] [Citado el: 19 de Agosto de 2009.] <http://www.digi.com/technology/rf-articles/frequency-comparison.jsp>.

9. —. 9XTend OEM RF Module. *Sitio Oficial de Digi International Inc.* [En línea] 4 de Septiembre de 2008. [Citado el: 10 de Junio de 2009.] [http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000958\\_A.pdf](http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000958_A.pdf).
10. **Syscom México.** Syscom México. *Sitio Oficial de Syscom México.* [En línea] [Citado el: 10 de Julio de 2009.] <http://www.syscom.com.mx/anuncios/viakon/cable-coaxial-rflash1113-tipo-rg8.php>.
11. **Digi International Inc.** X-CTU. *Sitio Oficial de Digi International Inc.* [En línea] [Citado el: 4 de Julio de 2009.] <http://www.digi.com/support/productdetl.jsp?pid=3352&osvid=57&tp=4&s=316>.
12. **Digi Interntional Inc.** *Digi International.* [En línea] 2009. [Citado el: 6 de Octubre de 2009.] <http://www.digi.com/>.
13. **IETF.** RFC 1661. *IETF.org.* [En línea] 1994. [Citado el: 3 de Julio de 2009.] <http://www.ietf.org/rfc/rfc1661.txt>.
14. **Cisco Systems.** Point to Point Protocol (PPP). *Internetworking Technology Handbook.* [En línea] [Citado el: 3 de Julio de 2009.] <http://www.cisco.com/en/US/docs/internetworking/technology/handbook/PPP.html>.
15. **Avallone, Stefano, y otros.** D-ITG V. 2.6.1d Manual. *Universita' degli Studi di Napoli "Federico II".* [En línea] 2 de Mayo de 2008. [Citado el: 4 de Julio de 2009.] <http://www.grid.unina.it/software/ITG/codice/D-ITG2.6.1d-manual.pdf>.
16. **Universita' degli Studi di Napoli "Federico II".** *D-ITG, Distributed Internet Traffic Generator.* [En línea] [Citado el: 6 de Octubre de 2009.] <http://www.grid.unina.it/software/ITG/>.
17. **Semken, Volker.** My software projects. [En línea] [Citado el: 06 de Octubre de 2009.] <http://semken.com/projekte/index.html>.
18. **Coudé, Roger.** Radio Mobile. *Sitio Oficial de Radio Mobile.* [En línea] 14 de Julio de 2009. [Citado el: 16 de Julio de 2009.] <http://www.cplus.org/rmw/rme.html>.
19. **Servicio Geológico de los Estados Unidos.** *The National Map Seamless Server.* [En línea] [Citado el: 6 de Octubre de 2009.] <http://seamless.usgs.gov/index.php>.

20. **Instituto Nacional de Estadística y Geografía.** Mapa Digital de México. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía.* [En línea] [Citado el: 23 de Marzo de 2009.] <http://galileo.inegi.gob.mx/website/mexico/viewer.htm>.

21. **Comunicaciones, Subdirección de.** Chetumal, Marzo de 2009.

22. **Secretaría de Comunicaciones y Transportes.** Dirección General de Planeación. *Secretaría de Comunicaciones y Transportes.* [En línea] [Citado el: 29 de Marzo de 2009.] [http://dgp.sct.gob.mx/fileadmin/user\\_upload/Estadistica/Infraestructura/Comunicaciones/T4.pdf](http://dgp.sct.gob.mx/fileadmin/user_upload/Estadistica/Infraestructura/Comunicaciones/T4.pdf).

23. **Digi International Inc.** X-CTU Configuration & Test Utility Software. *Sitio Oficial de Digi International Inc.* [En línea] 20 de Agosto de 2008. [Citado el: 04 de Julio de 2009.] [http://ftp1.digi.com/support/documentation/90001003\\_A.pdf](http://ftp1.digi.com/support/documentation/90001003_A.pdf).

24. —. [En línea] 2008. [Citado el: 10 de Junio de 2009.] [http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000958\\_A.pdf](http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000958_A.pdf).

25. **Union Internacional de Telecomunicaciones.** Base de datos de Indicadores Mundiales de Telecomunicaciones. *Sitio oficial de ITU.* [En línea] 2008. [Citado el: 15 de Julio de 2009.] <http://www.itu.int/ITU-D/icteye/Indicators/Indicators.aspx>.

## 10 Glosario

Término	Definición
<b>Analizador de Espectros</b>	Equipo electrónico que sirve para visualizar los componentes en el dominio de la frecuencia de una o varias señales.
<b>Ancho de banda</b>	-Anchura en Hz del rango de frecuencias en donde se encuentra la mayor parte de la potencia de una señal. -También usado para referirse a la cantidad de datos que se pueden transmitir en un medio en una unidad de tiempo.
<b>Banda ancha</b>	-Formalmente se refiere a la transmisión simultánea de varias piezas de información. -Sin embargo comúnmente a las conexiones de a partir de 512 Kbps se les atribuye este concepto (aunque enlaces de menor tasa de datos cumplan con el primer concepto).
<b>Baudio</b>	Número de símbolos transmitidos por segundo en una red análoga.
<b>Binario</b>	Sistema de numeración en que los números se representan utilizando solamente las cifras 1 y 0.
<b>Bitrate</b>	O tasa de bits, es el número de bits que se transmiten por unidad de tiempo a través de un canal entre dos dispositivos digitales.
<b>Datos</b>	Elemento constituyente de la información.
<b>Dúplex</b>	Capacidad de un sistema de enviar y recibir información simultáneamente.
<b>Espectro Electromagnético</b>	Distribución energética del conjunto de ondas electromagnéticas.
<b>Fibra Óptica</b>	Medio de transmisión que utiliza pulsos de luz para representar datos.
<b>Half-Duplex</b>	Capacidad de un sistema de transmitir en ambas direcciones pero nunca simultáneamente.
<b>Medios eléctricos</b>	Utilizan impulsos eléctricos para representar información a través de conductores metálicos.
<b>Medios electromagnéticos</b>	Utilizan ondas de radio y el espacio libre como medio de propagación.
<b>Medios ópticos</b>	Utilizan impulsos luminosos generados por un laser o un diodo emisor de luz y conducidos por fibra de vidrio o plástico.
<b>Modulación</b>	Proceso de variar una forma de onda en relación a otra forma de onda.
<b>Osciloscopio</b>	Equipo electrónico que sirve para visualizar los voltajes de una señal con respecto al tiempo.
<b>Paridad</b>	Configuración de un bit añadido a una secuencia de bits transmitida. El valor de este bit depende si los bits transmitidos son pares o no. Esto funciona como un código simple de

	detección de errores.
<b>Pigtail</b>	Cable corto y flexible utilizado para conectar dispositivos.
<b>Simplex</b>	Capacidad de un sistema de transmitir información en una sola dirección.
<b>Tasa de datos</b>	Véase bitrate.

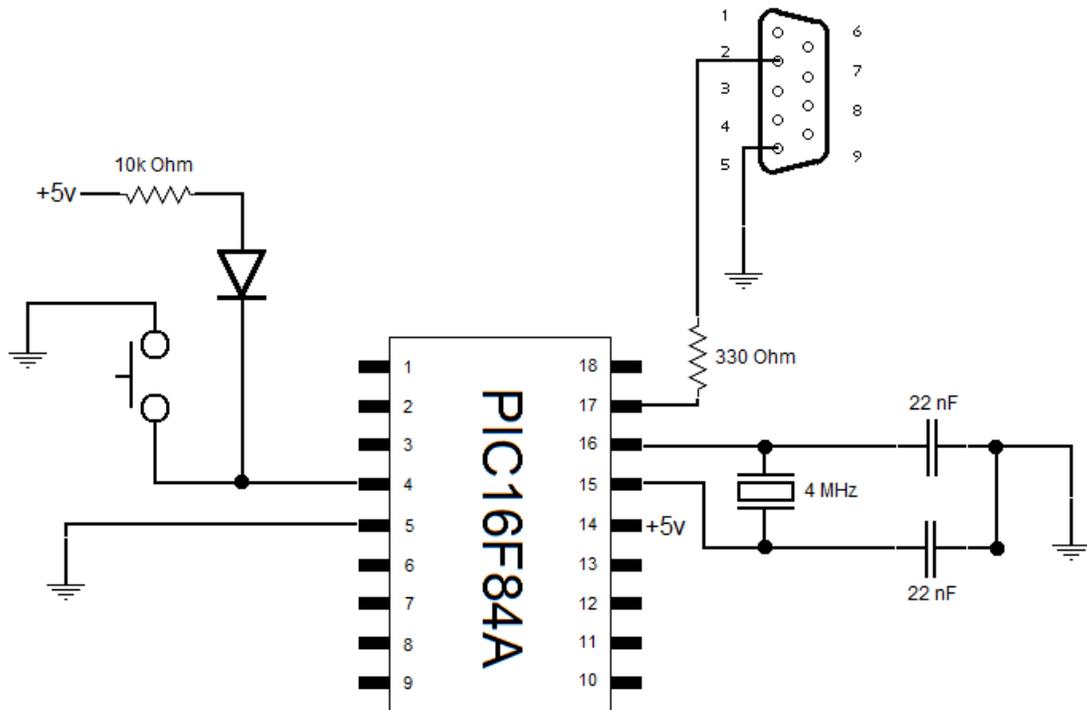
## 11 Abreviaturas y Siglas

Abreviaturas y Siglas	Leyenda
<b>AES</b>	Estándar de cifrado avanzado.
<b>AM</b>	Amplitud Modulada. Técnica de modulación.
<b>ASCII</b>	Código Estadounidense Estándar para el Intercambio de Información.
<b>ASK</b>	Modulación por desplazamiento de amplitud. Técnica de modulación.
<b>AT</b>	Modo "Atención" para programar los Radios 9XTend.
<b>CLI</b>	Línea de Comandos.
<b>COM</b>	Puerto de interfaz serial.
<b>DB-9</b>	Conector de 9 pines eléctrico utilizado en computadoras .
<b>DCE</b>	Equipo finalizador del circuito. Se encarga de proveer sincronía en un enlace.
<b>DI</b>	Entrada de datos.
<b>DO</b>	Salida de datos.
<b>DT</b>	Dirección Destino. Parámetro configurable de los radios 9XTend.
<b>DTE</b>	Equipo terminal de datos. Convierte información del usuario en señales y viceversa.
<b>FCS</b>	Secuencia de Revisión de Trama.
<b>FHSS</b>	Espectro Disperso por Salto de Frecuencia. Técnica de modulación.
<b>FM</b>	Frecuencia Modulada. Técnica de modulación.
<b>FSK</b>	Modulación por desplazamiento de frecuencia. Técnica de modulación.
<b>GPS</b>	Sistema de posicionamiento global.
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
<b>IP</b>	Protocolo de Internet.
<b>ITU</b>	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
<b>LCP</b>	Protocolo de control del enlace. Parte de PPP.
<b>MT</b>	Multi-Transmisión. Parámetro configurable de los radios 9XTend.
<b>MY</b>	Dirección Local. Parámetro configurable de los radios 9XTend.
<b>N</b>	Tipo de conector para cables coaxiales.
<b>NCP</b>	Protocolo de control de red. Parte de PPP.
<b>OEM</b>	Fabricante de equipos originales.
<b>OSI</b>	Interconexión de Sistemas Abiertos. Modelo de referencia.
<b>PL</b>	Nivel de potencia de transmisión. Parámetro configurable de los radios

	9XTend.
<b>PM</b>	Modulación por fase. Técnica de modulación.
<b>PPP</b>	Protocolo punto a punto.
<b>PSK</b>	Modulación por desplazamiento de fase. Técnica de modulación.
<b>QAM</b>	Modulación por amplitud de cuadratura. Técnica de modulación.
<b>RF</b>	Radio Frecuencia.
<b>RPSMA</b>	Conector Sub-Miniatura versión A de Polaridad Inversa para cables coaxiales.
<b>RR</b>	Reintentos de transmisión. Parámetro configurable de los radios 9XTend.
<b>SCT</b>	Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
<b>SNR</b>	Relación señal a ruido.
<b>TCP</b>	Protocolo de Control de Transmisión.
<b>TELMEX</b>	Teléfonos de México.
<b>UART</b>	Transmisor-Receptor Asíncrono Universal.
<b>UDP</b>	Protocolo de Datagrama de Usuario.
<b>USGS</b>	Servicio Geológico de los Estados Unidos.
<b>VoIP</b>	Voz sobre protocolo de Internet.
<b>X-CTU</b>	Utilidad de Configuración y Pruebas para algunos productos Digi.

## 12 Anexos

### 12.1 Anexo A. Diagrama del CGC.



## 12.2 Anexo B. Código programado en el CGC.

```
Include "modedefs.bas" ' Include serial modes
DEFINE CHAR_PACING 1000

'-----configuraciones de puertos-----

TRISB = %00000000 ' puerto B todo como salida
TRISA = %01010 ' puerto A salidas y entradas

'-----variables del programa-----

envio var PORTA.0 ' Define serial out pin
recibo var PORTA.1 ' Define serial in pin
B0 var byte

'-----programa principal con un ciclo infinito-----

ciclo: B0 = "A"
SEROUT envio,N9600,[B0]
pause 1000
B0 = "B"
SEROUT envio,N9600,[B0]
pause 1000
B0 = "C"
SEROUT envio,N9600,[B0]
pause 1000
B0 = "D"
SEROUT envio,N9600,[B0]
pause 1000
B0 = "E"
SEROUT envio,N9600,[B0]
pause 1000
B0 = "F"
SEROUT envio,N9600,[B0]
pause 1000
B0 = "G"
```

```
SEROUT envio,N9600,[B0]
pause 1000
B0 = "H"
SEROUT envio,N9600,[B0]
pause 1000
B0 = "I"
SEROUT envio,N9600,[B0]
pause 1000
goto ciclo
end
```