

**INSTALACIÓN DE REDES METROPOLITANAS INALÁMBRICAS EN LA
BANDA DE 2.4 GHz UTILIZANDO ESPECTRO EXPANDIDO DE SECUENCIA
DIRECTA**

NARLINDA ESPINOSA CANTILLO

JOSÉ LORA ANDOSILLA

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTADES DE INGENIERÍA

CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C.

2003

**INSTALACIÓN DE REDES METROPOLITANAS INALÁMBRICAS EN LA
BANDA DE 2.4 GHz UTILIZANDO ESPECTRO EXPANDIDO DE SECUENCIA
DIRECTA**

NARLINDA ESPINOSA CANTILLO

JOSÉ LORA ANDOSILLA

MONOGRAFÍA

Director

EDUARDO GÓMEZ VÁSQUEZ

Magíster en ciencias computacionales

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTADES DE INGENIERÍA

CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C.

2003

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena, 28 de Noviembre de 2003

ARTÍCULO 107

La Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización.

Cartagena, 28 de Noviembre de 2003

Señores

**COMITÉ CURRICULAR DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y ELECTRÓNICA
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
CIUDAD**

Respetados Señores:

Cordialmente me permito informarles que he llevado a cabo la dirección del trabajo de grado de los estudiantes **NARLINDA ESPINOSA CANTILLO** y **JOSÉ LORA ANDOSILLA**, titulado: **“INSTALACIÓN DE REDES METROPOLITANAS INALÁMBRICAS EN LA BANDA DE 2.4 GHz UTILIZANDO ESPECTRO ENSANCHADO DE SECUENCIA DIRECTA”**

Atentamente,

EDUARDO GÓMEZ VÁSQUEZ
Magíster en ciencias computacionales

Cartagena, 28 de Noviembre de 2003

Señores

**COMITÉ CURRICULAR DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y ELECTRÓNICA
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
CIUDAD**

De la manera más atenta nos permitimos presentar a su consideración y aprobación el trabajo de grado titulado **“INSTALACIÓN DE REDES METROPOLITANAS INALÁMBRICAS EN LA BANDA DE 2.4 GHz UTILIZANDO ESPECTRO EXPANDIDO DE SECUENCIA DIRECTA”**. Elaborado por **NARLINDA ESPINOSA CANTILLO** y **JOSÉ LORA ANDOSILLA**.

Esperamos que el presente trabajo se ajuste a las expectativas y criterios de la universidad para los trabajos de grado.

Atentamente,

NARLINDA ESPINOSA CANTILLO

JOSÉ LORA ANDOSILLA

RESUMEN

Este documento presenta una descripción de los factores más importantes en la realización de un radioenlace, mostrando a su vez alternativas que ayuden a solucionar los problemas que estos factores determinantes en el funcionamiento de la comunicación vía wireless ocasionan. Además, se hace énfasis en la manera como el espectro ensanchado en secuencia directa (DSSS) funciona, con el fin de tener conocimiento de la manera como trabaja esta técnica de comunicación para llevar a cabo la transmisión de datos entre redes.

Se describe el funcionamiento de los equipos y dispositivos que se usan en radioenlaces en DSSS y la utilidad que tienen sobre estos. Además, se hace referencia a la situación legal de este tipo de radioenlaces en Colombia mostrando información que permite conocer lo que nuestras leyes estipulan sobre este tipo de enlaces de manera que no sólo se conozca la parte técnica de los enlaces sino que se tenga conocimiento sobre la situación legal de los mismos.

Finalmente, se realiza la descripción del proceso de instalación de redes inalámbricas metropolitanas utilizando espectro ensanchado en secuencia directa haciendo énfasis en las consideraciones que se deben tener en cuenta para la instalación de un enlace radioeléctrico de manera que se obtengan conocimientos básicos para poder instalar este tipo de redes.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	20
MARCO TEÓRICO	22
1. ESPECTRO ENSANCHADO EN SECUENCIA DIRECTA	22
1.1 CANALES DE TRANSMISIÓN	26
1.2 SECUENCIAS PSEUDOALEATORIAS	30
1.2.1 Secuencia de Barker	31
1.2.2 Complementary Code Keying (CCK)	32
1.2.3 Paquet Binary Convolutional Code (PBCC)	33
1.3 CONFIGURACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS	34
1.4 ACCESO AL MEDIO	35
1.4.1 Espaciado entre tramas IFS	38
2. FACTORES QUE AFECTAN A LOS ENLACES METROPOLITANOS INALÁMBRICOS	40
2.1 LÍNEA DE VISTA	40
2.1.1 Reflexión electromagnética	40
2.1.2 Refracción electromagnética	42
2.1.3 Difracción	43

2.1.3.1 Zonas de Fresnel	44
2.1.3.2 Curvatura de la tierra	45
2.2 RUIDO	46
2.2.1 Ruido no correlacionado	46
2.2.1.1 Ruido externo	47
Ruido atmosférico	47
Ruido extraterrestre	48
Ruido hecho por el hombre	48
2.2.1.2 Ruido Interno	49
Ruido térmico	49
Ruido de disparo	49
Ruido de tiempo de tránsito	49
2.2.2 Ruido correlacionado	50
2.2.3 Relación señal a ruido	50
2.3 ATENUACIÓN	54
2.4 ABSORCIÓN	57
3. EQUIPOS WIRELESS	58
3.1 RADIO DE MICROONDAS	58
3.1.1 PC Card	59
3.1.1.1 Proceso de recepción	60
3.1.1.2 Proceso de Transmisión	61
3.1.2 Board	62
3.2 ANTENAS EN 2.4 GHZ	63

3.2.1	Cálculo de la ganancia de las antenas	68
3.3	LIGHTING PROTECTOR	71
3.4	CABLES	71
3.5	AMPLIFICADORES Y SPLITTERS	74
4.	PROCESO DE INSTALACIÓN	77
4.1	EJEMPLO DE UNA RED METROPOLITANA INALÁMBRICA EN LA BANDA DE 2.4 GHz UTILIZANDO DSSS	83
5	CONCLUSIONES	92
6.	RECOMENDACIONES	96
	BIBLIOGRAFÍA	97
	ANEXOS	
	ANEXO A – Ministerio de Comunicaciones	
	ANEXO B – Cables	

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama descriptivo de la capa física del 802.11 y sus extensiones.	22
Figura 2. Comportamiento en frecuencia de las técnicas de espectro ensanchado.	24
Figura 3. Diagrama de bloques de un sistema de espectro ensanchado por secuencia directa.	25
Figura 4. Distribución en frecuencia de los canales DSSS del 802.11 según las normativas de distintos países. Los canales están etiquetados con el número de cada canal y la frecuencia central.	27
Figura 5. Distribución en frecuencia de los canales 802.11b en Europa.	28
Figura 6. Distribución en frecuencia de los canales del 802.11b en Norte América.	29
Figura 7. Proceso de Modulación en banda base con secuencias de Barker de 11 bits.	31
Figura 8. Funcionamiento de CSMA.	36
Figura 9. Espacios entre tramas.	38
Figura 10. Reflexión de enlace de microondas.	41
Figura 11. Solución para la reflexión con la torre.	41
Figura 12. Zonas de Fresnel.	44
Figura 13. Radio de Fresnel.	44
Figura 14. Enlace bueno, con relación señal a ruido aceptable en los extremos.	52

Figura 15. Enlace bueno, con relación señal a ruido aceptable en un extremo y pobre en el otro.	53
Figura 16. Enlace bueno, con relación señal a ruido buena en un extremo y aceptable en otro.	53
Figura 17. Enlace bueno, con relación señal a ruido buena en los dos extremos.	54
Figura 18. Pérdida de potencia por unidad de área.	56
Figura 19. Radio indoor.	58
Figura 20. Radio outdoor.	58
Figura 21. Diagrama PC Card.	59
Figura 22. PC Card.	60
Figura 23. Antena omnidireccional y especificaciones eléctricas.	63
Figura 24. Antena sectorial y especificaciones eléctricas.	64
Figura 25. Patrón de radiación de antena Sectorial.	64
Figura 26. Antena Yagi y especificaciones eléctricas.	65
Figura 27. Antena Grilla y especificaciones eléctricas.	65
Figura 28. Antena Plana y especificaciones eléctricas.	66
Figura 29. Patrón de radiación de Antena Grilla.	66
Figura 30. Patrón de radiación de Antena Yagi.	67
Figura 31. Patrón de radiación de Antena Plana.	67
Figura 32. Lighting protector.	71
Figura 33. Conector BNC macho.	72
Figura 34. Pig Tail para unir PC Card-Coaxial.	73
Figura 35. Pig Tail para unir PC Card-Lighting Protector / Amplificador / Splitter.	73

Figura 36. Amplificador 2.4 GHz outdoor.	74
Figura 37. Amplificador 2.4 GHz indoor.	74
Figura 38. Splitter 2.4 GHz Indoor.	75
Figura 39. Splitter 2.4 GHz Outdoor.	75
Figura 40. Componentes de un enlace inalámbrico metropolitano.	81

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Distribución en frecuencia de los canales del 802.11.	27
Tabla 2. Niveles máximos de potencia de transmisión en el 802.11b.	30
Tabla 3. Velocidades de transmisión del estándar 802.11 dependiendo de la modulación empleada.	32
Tabla 4. Resumen de especificaciones de velocidades.	33

GLOSARIO

Ancho de banda: se refiere a la capacidad de transmisión de una red. El ancho de banda disponible depende de diferentes variables, tales como: la velocidad de transmisión de datos entre los dispositivos en red, la carga, el número de usuarios y el tipo de dispositivo que conecta los PC a una red.

Bits por segundo (bps): es una medida de velocidad de transmisión de datos a través de las líneas de comunicación. Indica el número de bits que se pueden enviar o recibir por segundo.

Clientes: son aquellos que se conectan a un nodo de la red.

Cobertura: área geográfica próxima a un nodo o estación base que recibe suficiente señal para mantener una conexión. Depende de diversos factores tales como el tipo de antena, ubicación, topografía del terreno y potencia de la señal.

Codificación WEP (protección equiparable a la de redes cableadas): es un estándar utilizado para codificar transmisiones inalámbricas con el fin de proteger los datos en tránsito.

CSMA/CA (acceso múltiple con detección de portadora y prevención de colisiones): es el principal método de comunicaciones de las redes locales inalámbricas 802.11. Se basa en la idea "escuchar antes de hablar" que reduce (aunque no elimina) las colisiones originadas por la transmisión simultánea de varios radios.

Espectro extendido o ensanchado (Spread Spectrum): tecnología de banda amplia desarrollada por los militares estadounidenses que provee comunicaciones seguras, confiables. Reduce de interferencia entre la señal procesada y otras señales no esenciales o ajenas al sistema de comunicación.

Espectro ensanchado en secuencia directa (DSSS): esa tecnología de red genera un patrón de bits redundante para cada bit que sea transmitido. Este patrón de bit es llamado código chip. Entre más grande sea este chip, es más grande la probabilidad de que los datos originales puedan ser recuperados (pero, por supuesto se requerirá más ancho de banda). Sin embargo, si uno o mas bits son dañados durante la transmisión, técnicas estadísticas dentro del radio transmisor podrán recuperar la señal original sin necesidad de retransmisión. DSSS se utilizará comúnmente en aplicaciones punto a punto.

IEEE (Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos): organización con sede en Nueva York que reúne a ingenieros, científicos y estudiantes del campo de la electrónica y demás sectores relacionados.

IEEE 802.11: es un grupo de especificaciones desarrolladas por IEEE para la tecnología de red local o LAN inalámbrica. Se divide en 802.11a que trabaja en la banda de 5 GHz a 54 Mbps, 802.11b proporciona transmisiones a 11 Mbps en la banda de 2,4 GHz y el nuevo estándar 802.11g en la banda de 5 GHz que es menos congestionado y transmite datos a 54 Mbps.

IF (Frecuencia Intermedia): utilizada para cuando se necesita pasar una señal de baja frecuencia a una de frecuencia más alta.

ISM: bandas de frecuencias utilizadas para aplicaciones Industriales, científicas y medicas. Sus frecuencias son 902-908 MHz; 2,400-2,500 MHz y 5,525-5,875 MHz.

Peer to peer o redes ad-hoc: la configuración más básica es la llamada de igual a igual o ad-hoc y consiste en una red con un mínimo de dos terminales móviles equipados con la correspondiente tarjeta adaptadora para comunicaciones inalámbricas.

Prevención de colisiones: es una característica del nodo de la red para determinar de forma proactiva si el nodo puede transmitir una señal sin riesgo de colisionar con otro tráfico de la red.

Punto de acceso (PA): es un “hub o Switch” que conecta un gran número de clientes inalámbricos a una red local o a Internet.

RF (radiofrecuencia): cubre una variedad de frecuencias electromagnéticas de alta frecuencia utilizadas en las transmisiones de radio. En las comunicaciones, las señales de RF transmiten los datos con varios métodos, como TDMA, CDMA, DSSS (espectro ensanchado de secuencia directa), entre otros.

Wi-Fi (fidelidad inalámbrica): es el nombre aplicado al equipo que cumple con el estándar inalámbrico 802.11b, según lo define Wi-Fi Alliance.

INTRODUCCIÓN

Las Wireless Metropolitan Area Network o Redes de Área Metropolitana Inalámbrica (WMAN) son una alternativa para la comunicación de datos que está siendo muy utilizada actualmente porque permite prescindir de la conexión vía cable para tener acceso a la información. Las WMAN cada vez son más conocidas y aplicadas a nivel mundial por todos los beneficios que brindan. Aunque todavía hay mejoras por hacer y tecnologías por desarrollar es un hecho que es un campo con mucho potencial que se puede aprovechar.

El reto principal que existe hoy en día con las redes inalámbricas es el de enlazar múltiples protocolos de dispositivos. Por lo tanto, se han desarrollado estándares que soportan este tipo de redes tales como el IEEE 802.11a e IEEE 802.11b que tienen gran importancia para el buen funcionamiento de las redes inalámbricas, y el perfeccionamiento de estas. A pesar de esto, este tipo de redes presenta todos los problemas de las tecnologías inalámbricas, tales como: la limitación en ancho de banda, interferencia, seguridad de la información transmitida, etc. Sin embargo, muchos de estos problemas están siendo resueltos por un gran número de compañías que ofrecen una gran variedad de soluciones tanto en hardware como en software, pero en realidad muchos de estos problemas se pueden evitar ya que dependen directamente de la manera como se haya hecho la instalación de la red. En este documento, se realiza una explicación de aspectos determinantes y útiles al momento de pensar en la realización de enlaces metropolitanos inalámbricos en la banda de 2.4 GHz utilizando espectro ensanchado en secuencia directa.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un manual para la instalación de redes metropolitanas inalámbricas en la banda de 2.4 GHz utilizando la tecnología DSSS (Espectro Expandido de Secuencia Directa), para que personas con conocimientos en redes, cuenten con una herramienta que les permita conocer los aspectos principales que se deben tener en cuenta en el montaje de este tipo de redes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Identificar los diferentes factores que condicionan el funcionamiento de las redes metropolitanas inalámbricas analizando la incidencia que cada uno de ellos tiene durante el proceso de instalación de este tipo de redes.

- ✓ Describir la funcionalidad y características de cada uno de los equipos y dispositivos que se requieren para el montaje de las redes metropolitanas inalámbricas.

- ✓ Indicar de manera explícita las consideraciones que se deben tener en cuenta al momento de seleccionar el lugar en el cual se va a ubicar la antena para obtener un óptimo funcionamiento del radioenlace.

- ✓ Describir el Espectro Ensanchado en Secuencia Directa de manera que el estudiante comprenda cómo trabaja esta tecnología y tenga el conocimiento necesario para entender muchos de los fenómenos que ocurren en la instalación de las redes metropolitanas inalámbricas.

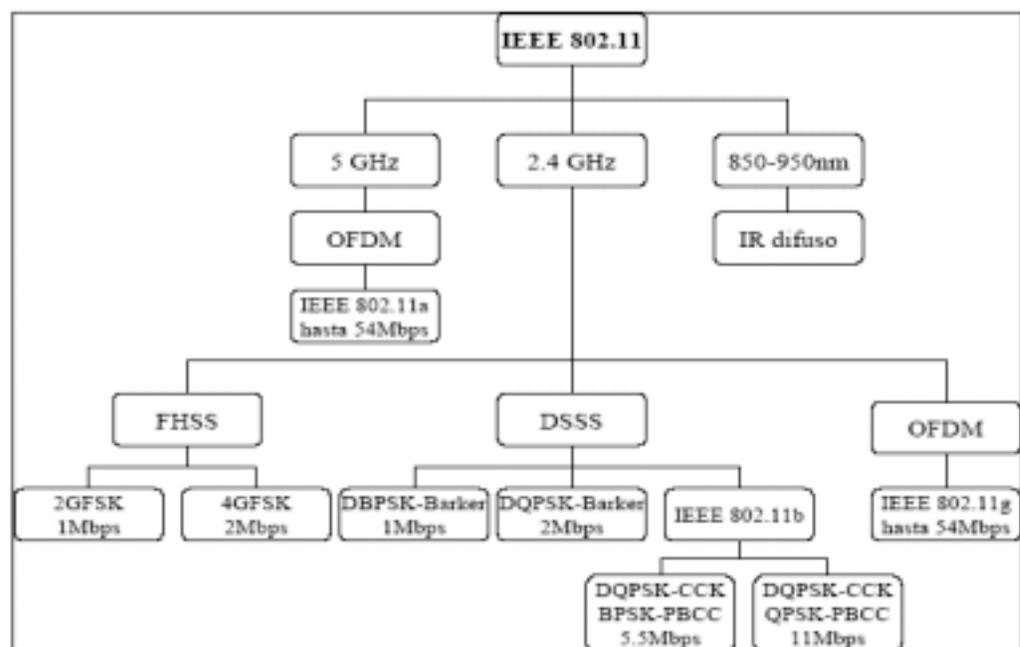
MARCO TEÓRICO

1. ESPECTRO ENSANCHADO DE SECUENCIA DIRECTA

El estándar 802.11 fue propuesto por la IEEE para las redes inalámbricas WLAN. El éxito de este estándar radica en que trabaja en las bandas de frecuencia ISM (Industrial, Scientific and Medical para 2.4 GHz) y U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure para 5 GHz), las cuales no necesitan de licencia para su funcionamiento.

La capa física del estándar 802.11 define las siguientes técnicas de transmisión: FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) e Infrarrojo Difuso. En la figura 1 se resumen estas técnicas.

Figura 1. Diagrama descriptivo de la capa física del 802.11 y sus extensiones



DSSS ha sido la más comercial y aceptada de estas técnicas debido a que puede enlazar redes a grandes distancias y es confiable.

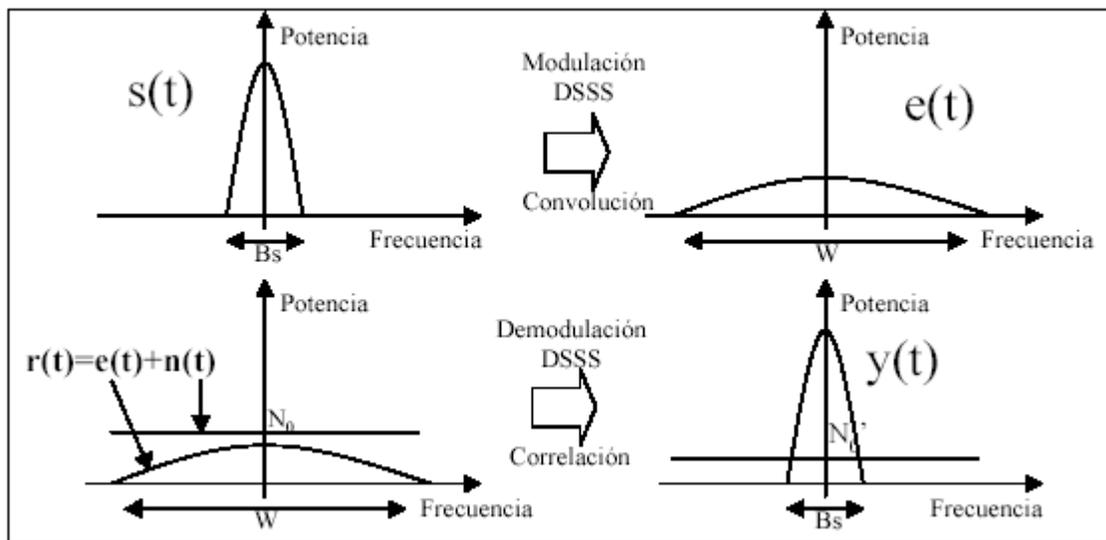
El DSSS es una técnica de espectro ensanchado mediante secuencia directa. Para ser tolerante al ruido e interferencias, utiliza códigos pseudoaleatorios (PN) que distribuyen la potencia de los datos a transmitir en un amplio ancho de banda. Los datos a transmitir se convolucionan con códigos pseudoaleatorios. Estos códigos poseen componentes frecuenciales que se distribuyen en un amplio ancho de banda. La propiedad fundamental es que, aunque el canal de transmisión introduzca ruido N_0 , un simple proceso de correlación en la detección permite recuperar la señal. El estándar 802.11 propone utilizar como código pseudoaleatorio el Código Barker de 11 bits.

Para entender este concepto, supongamos que la señal modulada que se va a transmitir ($s(t)$, de potencia S), antes de ser ensanchada, tiene un ancho de banda de B_s [Hz] y una densidad espectral de potencia aproximadamente constante e igual a S_0 [W/Hz], tal como se muestra en la figura 2. Su potencia será aproximadamente igual a $S = B_s S_0$ [W]. Antes de ser transmitida se efectúa una convolución con una señal pseudoaleatoria de un ancho de banda de W [Hz]. El resultado es una señal de aproximadamente W [Hz] de ancho de banda (donde $W \gg B_s$), y que al conservar su energía tendrá una densidad espectral de potencia de S_0' [W/Hz]:

$$S = S_0 \left[\frac{W}{\text{Hz}} \right] B_s [\text{Hz}] = S_0 B_s [W] \rightarrow S_0' = \frac{S [W]}{W [\text{Hz}]} = \frac{B_s}{W} S_0 \left[\frac{W}{\text{Hz}} \right]$$

Durante la transmisión se suma a la señal un ruido $n(t)$ de ancho de banda B_N y densidad espectral de potencia I_0 [W/Hz]. Resultando una potencia $N = B_N I_0$.

Figura 2. Comportamiento en frecuencia de las técnicas de espectro ensanchado



En el receptor, se realiza la operación de correlación, dando como resultado la señal modulada en su forma original más el ruido. Este proceso es justo el inverso de la convulsión.

$$N = N_o \left[\frac{W}{Hz} \right] W [Hz] = N_o' W [W] \rightarrow N_o' = \frac{N [W]}{W [Hz]} = \frac{B_N}{W} N_o \left[\frac{W}{Hz} \right]$$

Antes de demodular la señal S , se realiza un filtrado paso-banda que elimina las secuencias que están fuera de banda de detección B_s . De esta forma, la energía del ruido queda reducida a:

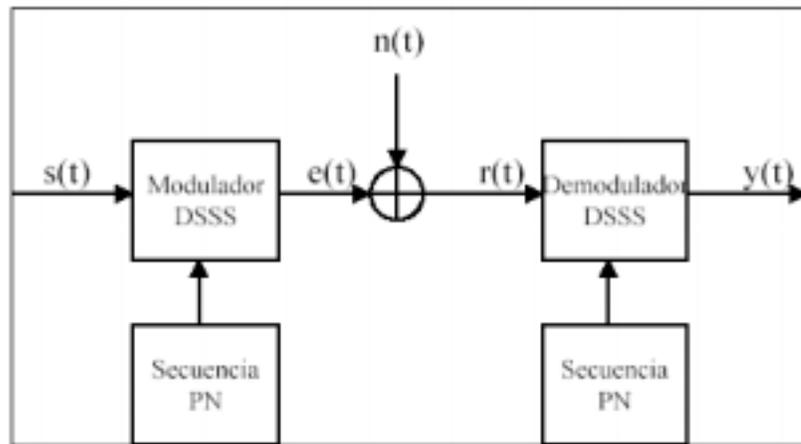
$$N' = N_o B_s = \frac{B_s}{W} N = \frac{N}{GP}$$

Es decir, la potencia del ruido queda dividida por un factor W/B_s , que es igual a la relación entre el ancho de banda de la señal antes y después del ensanchado, mientras que la señal S conserva su potencia original. Este factor se llama Ganancia de Proceso (GP). Por lo tanto puede concluirse que la relación señal a ruido después de todo el proceso es:

$$SNR = 10 \log\left(\frac{S}{N'}\right) = 10 \log\left(GP \cdot \frac{S}{N}\right)$$

El proceso anteriormente explicado se resume en la figura 3.

Figura 3. Diagrama de bloques de un sistema de espectro ensanchado por secuencia directa.



Todo este proceso lo encontramos en la capa física del modelo OSI y a pesar del interés que posee esta técnica, no todo son ventajas. Uno de los principales inconvenientes consiste en que la mejora de la Relación Señal a Ruido (SNR) tiene por contrapartida una reducción directamente proporcional de la velocidad de transmisión.

El concepto de DSSS se ha ido ampliando. Ese es el caso de las modulaciones CCK (Complementary Code Keying) y PBCC (Packet Binary Convolutional Coding) que se han incluido en la extensión 802.11b del estándar.

El proceso DSSS descrito anteriormente es un proceso en banda base, pero para transmitirlo hace falta modular la señal resultante del mismo para desplazarla hasta una frecuencia que esté dentro de la banda ISM. La modulación adoptada por el estándar es la DPSK (Differential Phase Shift Keying) en sus variantes binaria: DBPSK y en cuadratura: DQPSK.

1.1 CANALES DE TRANSMISIÓN

El estándar 802.11 está pensado para operar en la banda de frecuencias entre 2,4 y 2,497 GHz. Esta banda es de uso libre y por lo tanto no hay que tener un permiso especial, ni pagar cuota alguna. Sin embargo, en Colombia la Resolución número 3382 del 15 Diciembre de 1995 por la cual se autorizan sistemas que operan con tecnología de espectro ensanchado, regula y administra este tipo de enlaces*. Ver anexo A.

*mayor información <http://www.mincomunicaciones.gov.co>

En la tabla 1 se muestran los canales específicos disponibles en distintos países según sus respectivas agencias de regulación del espectro radioeléctrico. La figura 4 muestra la distribución que aparece en el documento definitivo del estándar 802.11.

Figura 4. Distribución en frecuencia de los canales DSSS del 802.11 según las normativas de distintos países. Los canales están etiquetados con el número de cada canal y la frecuencia central.

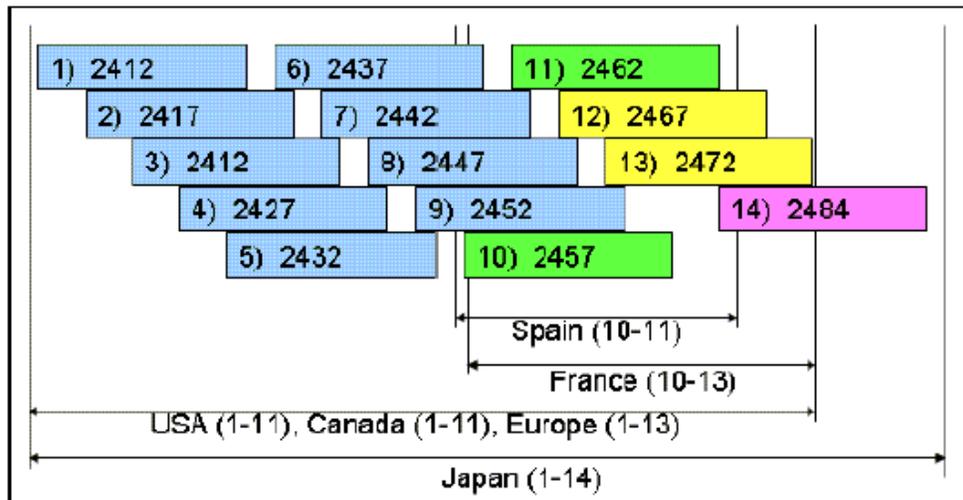


Tabla 1. Distribución en frecuencia de los canales del 802.11

Country	Regulatory Agency	Frequency Range Available	DSSS Channels Available	FHSS Channels Available
United States	FCC	2.4 to 2.4835 GHz	1 through 11	2 through 80
Canada	IC	2.4 to 2.4835 GHz	1 through 11	2 through 80
Japan	MKK	2.4 to 2.497 GHz	1 through 14	2 through 95
France		2.4465 to 2.4835 GHz	10 through 13	48 through 82
Spain		2.445 to 2.475 GHz	10 and 11	47 through 73
Remainder of Europe	ETSI	2.4 to 2.4835 GHz	1 through 13	2 through 80

Los canales tienen una separación de 5MHz entre ellos y por lo tanto, están superpuestos (overlapping). Los encontramos en la capa física y para que se pueda sacar mayor rendimiento espectral, en el estándar 802.11 se han propuesto grupos de tres canales que pueden trabajar sin interferirse entre ellos. En Europa se han definido los canales 1, 7 y 13 como se ilustra en la figura 5 y para Estados Unidos se han dispuesto los canales 1, 6 y 11, tal como se representa en la figura 6.

Figura 5. Distribución en frecuencia de los canales 802.11b en Europa

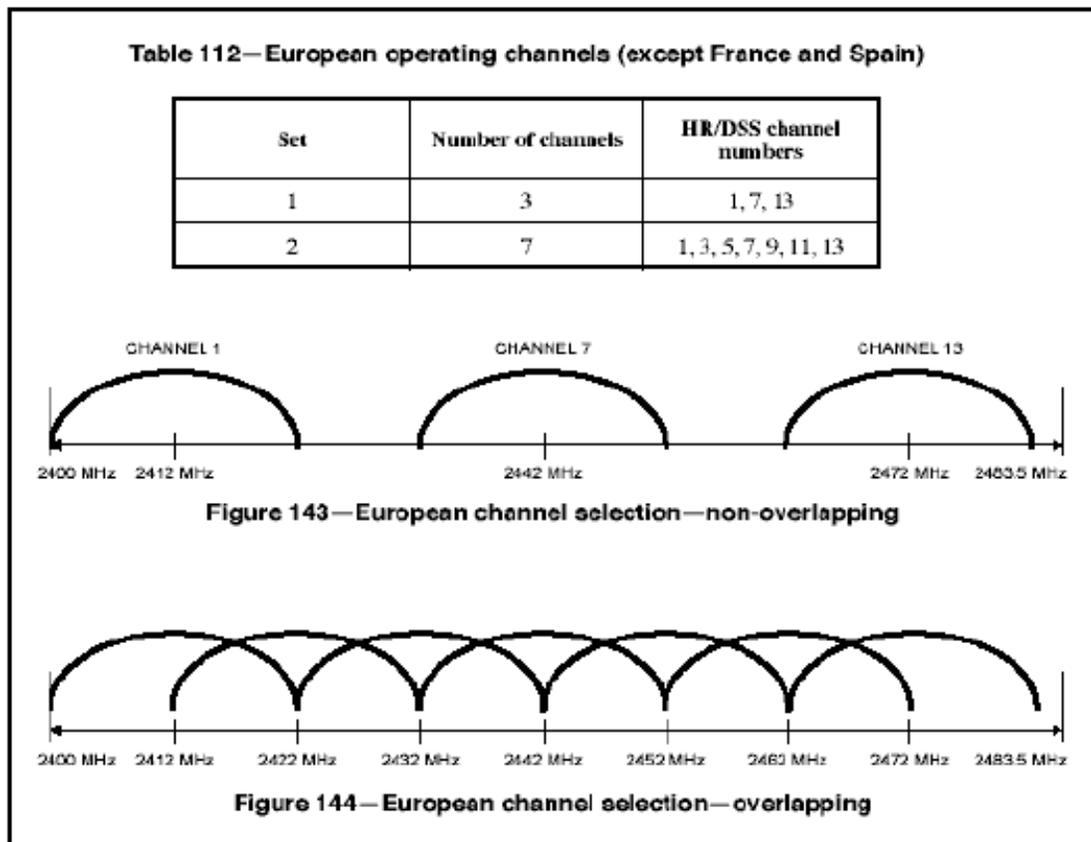
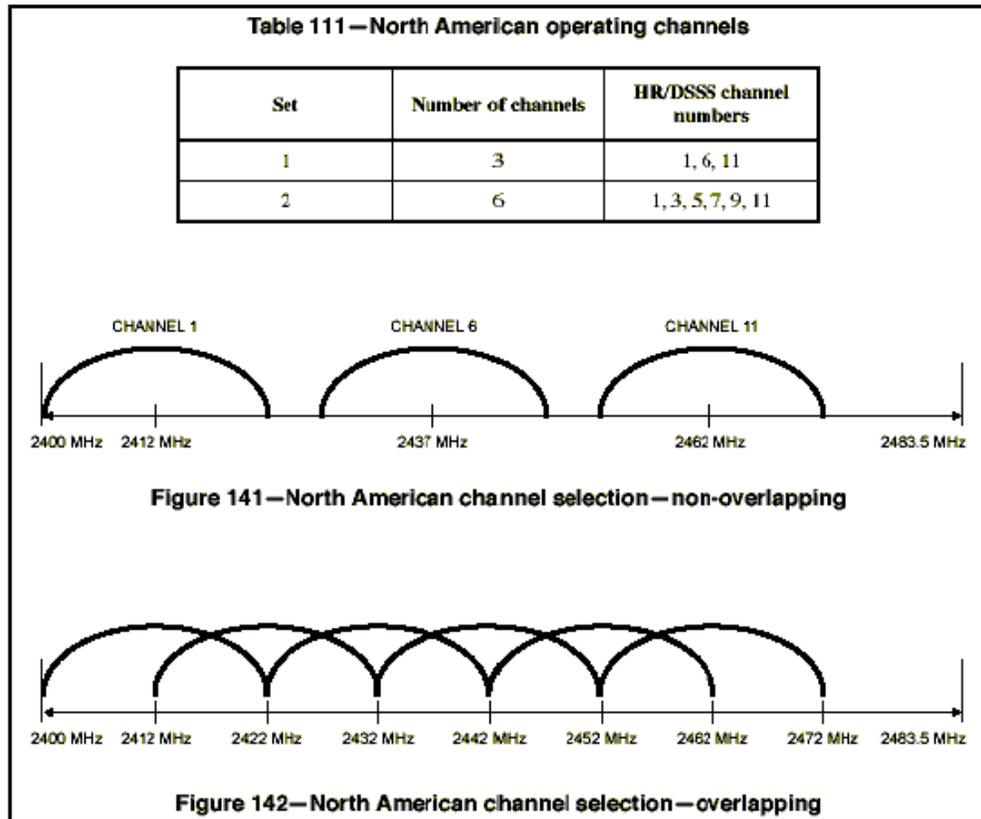


Figura 6. Distribución en frecuencia de los canales del 802.11b en Norte América



La otra limitación importante del estándar son los niveles máximos de potencia. Esto reduce considerablemente la distancia máxima de los radioenlaces. Como se observa en la Tabla 2, en Europa las restricciones de potencia son muy fuertes.

Tabla 2. Niveles máximos de potencia de transmisión en el 802.11b

Maximun Output Power	Geographic Location	Compliance Document
1000 mW	USA	FCC 15.247
100 mW (EIRP) ¹	Europe	ETS 300 – 328
10 mW/MHz	Japan	MPT ordinance for Reg. ulating Radio Equipmeat, Article 49 – 20

Las regulaciones en Colombia son muy parecidas a las de Estados Unidos. Por lo tanto los equipos usados para este tipo de radioenlaces son en su mayoría Americanos. Los radio enlaces en DSSS son de baja potencia, entendiendo por baja potencia aquellos enlaces cuya potencia no sobre pase 1 W.

1.2 SECUENCIAS PSEUDOALEATORIAS

Estas son usadas para la codificación de los datos y se encuentran en la capa física del modelo OSI. Para DSSS encontramos 3 tipos de secuencias: Secuencia de Barker, Complementary Code Keying (CCK) y Paquet Binary Convolutional Coding (PBCC).

¹ WAYNE, Tomasi. Sistemas de comunicaciones electrónicas. 2a. edición. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación, 1996. p. 383 – 385.

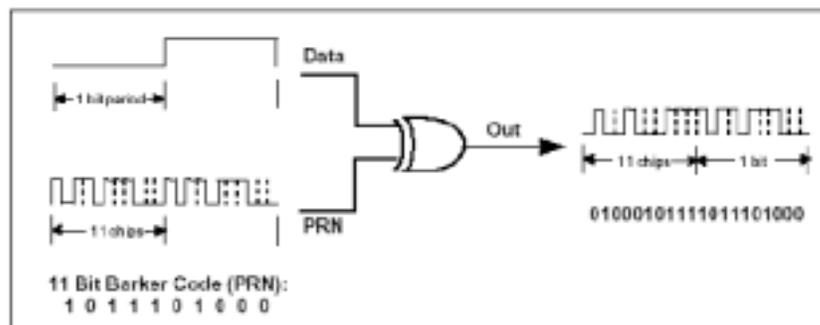
1.2.1 Secuencia de Barker

El estándar 802.11, además de la modulación DPSK propone la utilización de la secuencia Barker de 11 bits para realizar el ensanchado del espectro. La principal ventaja de esta técnica consiste en que se obtiene una alta tolerancia al ruido. En concreto, la codificación con secuencias Barker de 11 bits permite introducir una ganancia de proceso (GP) de 10.4 db, como se muestra a continuación:

$$GP = 10 \log \left(\frac{W}{B_s} \right) = 10 \log \left(\frac{11}{1} \right) = 10.4 \text{ db}$$

El proceso básicamente consiste en realizar una función XOR entre los bits a transmitir y una secuencia pseudoaleatoria Barker de 11 bits. El problema es que la secuencia resultante tiene una frecuencia 11 veces superior a la señal digital que se pretende emitir. Esto se traduce en una eficiencia espectral 11 veces menor que si no se utilizara esta técnica.

Figura 7. Proceso de Modulación en Banda Base con secuencias de Barker de 11 bits



En Canales de 11MHz en banda base como los propuestos en el estándar 802.11 con las dos variantes de DPSK y sus respectivas eficiencias espectrales se pueden alcanzar las velocidades de transmisiones que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Velocidades de transmisión del estándar 802.11 dependiendo de la modulación empleada

Modulación	Eficiencia Espectral	Velocidad de Transmisión
DBPSK	1símbolo/Hz	1Mbit/seg.
DQPSK	2símbolos/Hz	2Mbits/seg.

1.2.2 Complementary Code Keying (CCK)

Las velocidades de transmisión del estándar 802.11 resultan insuficientes para aplicaciones de comunicaciones y más cuando este estándar tiene como objetivo sustituir las redes LAN cableadas por inalámbricas WLAN. La extensión IEEE 802.11b del estándar propone sistemas de modulación que consiguen velocidades de transmisión de 5.5 y 11 Mbps. Estas técnicas también se basan en DQPSK, pero no utilizan Barker para “ensanchar” el espectro. La técnica propuestas para alcanzar 5,5 y 11 Mbps es Complementary Code Keying (CCK). Esta tecnología pertenece a Intersil y a Texas Instruments.

La versión de 11Mbps de CCK trabaja con una secuencia para ensanchado de 8 chips. Con una velocidad de símbolo de 1.375 Msímbolos/s la señal resultante de 11Mbps ocupa aproximadamente el mismo ancho de banda que la versión de Barker del 802.11.

Tabla 4. Resumen de especificaciones de velocidades

Data Rate	Code Length	Modulation	Symbol Rate	Bits/Symbol
1 Mbps	11 (Barker Sequence)	BPSK ²	1 MSps	1
2 Mbps	11 (Barker Sequence)	QPSK ³	1 MSps	2
5.5 Mbps	8 (CCK)	QPSK	1.375 MSps	4
11 Mbps	8 (CCK)	QPSK	1.375 MSps	8

1.2.3 PAQUET BINARY CONVOLUTIONAL CODE (PBCC)

Para soportar ambientes ruidosos y amplia cobertura, 802.11b usa una técnica llamada dynamic rate shifting, esta permite cambiar automáticamente o manualmente la tasa de transmisión de datos para adecuarse a la naturaleza errática de los canales inalámbricos y de esta manera aumentar la sensibilidad de los equipos utilizados en DSSS.

² WAYNE, Op. cit., p. 465.

³ Ibid., p. 468

Idealmente los usuarios se conectan a 11 Mbps, pero si se mueven fuera del rango de trabajo de esta tasa o si hay mucha interferencia, los dispositivos bajan la tasa a 5.5, 2 y 1 Mbps y viceversa hasta tener un buen enlace.

1.3 CONFIGURACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS

Las redes inalámbricas se pueden configurar básicamente en dos modos: Peer to Peer, que es conocido como el tipo más básico de estas redes, para esta configuración encontramos las redes ad-hoc y el IBSS. El otro modo de configuración es el Cliente / Servidor que hace uso de los puntos de Acceso (AP) también conocidos como estaciones Bases para la comunicación entre Host.

En el modo Peer to Peer todas las estaciones se reconocen entre sí y su comunicación es directa una vez haya establecido el enlace con el Host destino, no utilizan AP's para su comunicación.

Para el modo Cliente / Servidor se hace uso de un punto de Acceso o estación base para lograr la transmisión de datos entre Hosts, este es el equivalente a un Switch. Su función es recibir, encolar y transmitir datos entre los Host. Típicamente se conecta a la LAN con un cable Ethernet y se comunica con los terminales móviles por medio de antenas.

1.4 ACCESO AL MEDIO

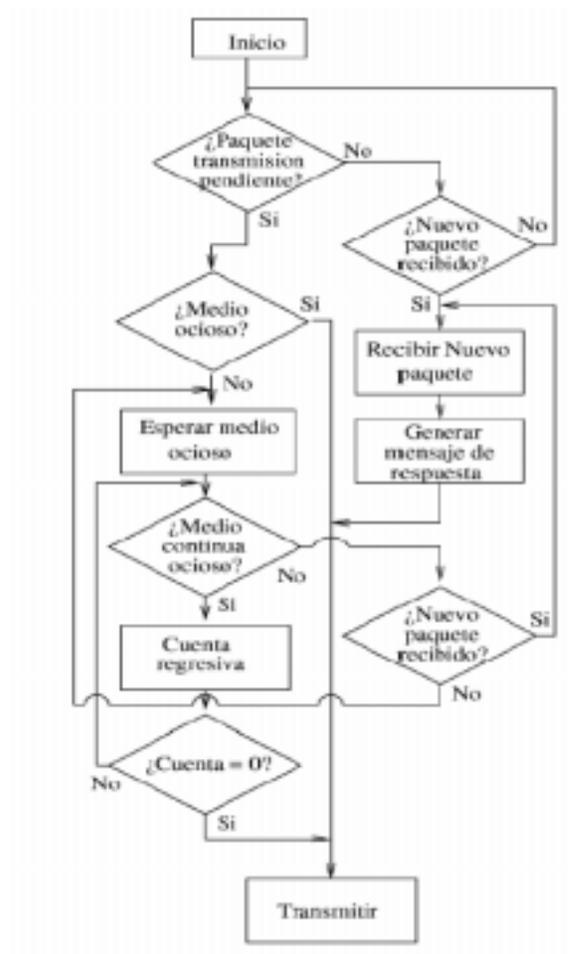
El algoritmo básico de acceso a este nivel es muy similar al implementado en el estándar IEEE 802.3 y es el llamado CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance). Se describe a continuación:

- ✓ Antes de transmitir información una estación debe sensar el medio, o canal inalámbrico, para determinar su estado (libre / ocupado).
- ✓ Si el medio no esta ocupado por ninguna otra trama, la estación ejecuta una espera adicional llamada espaciado entre tramas (IFS).
- ✓ Si durante este intervalo temporal, o bien ya desde el principio, se determina ocupado el medio, entonces la estación debe esperar hasta el final de la transacción actual antes de realizar cualquier acción.
- ✓ Una vez finaliza esta espera debida a la ocupación del medio la estación ejecuta el llamado algoritmo de Backoff, según el cual se determina una espera adicional y aleatoria escogida uniformemente en un intervalo llamado ventana de contienda (CW). El algoritmo de Backoff nos da un número aleatorio y entero de ranuras temporales (slot time) cuya duración es de 20 μ s y su función es la de reducir la

probabilidad de colisión que es máxima cuando varias estaciones están esperando a que el medio esté libre para transmitir.

- ✓ Mientras se ejecuta la espera marcada por el algoritmo de Backoff, se continúa escuchando el medio de tal manera que si el medio se determina libre durante un tiempo de al menos IFS esta espera va avanzando temporalmente hasta que la estación consume todas las ranuras temporales asignadas. En cambio, si el medio no permanece libre durante un tiempo igual o superior a IFS el algoritmo de Backoff queda suspendido hasta que se cumpla esta condición.

Figura 8. Funcionamiento de CSMA



CSMA/CA en un entorno inalámbrico y celular presenta una serie de problemas. Los principales problemas que podemos detectar son:

- ✓ Nodos ocultos. Una estación cree que el canal está libre, pero en realidad está ocupado por otro nodo al que no puede sensar (escuchar).
- ✓ Nodos expuestos. Una estación cree que el canal está ocupado, pero en realidad está libre pues el nodo al que puede escuchar, no le interferiría para transmitir a otro destino.

La solución que propone 802.11 es MACA o MultiAccess Collision Avoidance. Según este protocolo, antes de transmitir el emisor envía una trama RTS (Request to Send), indicando la longitud de datos que quiere enviar. El receptor le contesta con una trama CTS (Clear to Send), repitiendo la longitud. Al recibir el CTS, el emisor envía sus datos.

Los nodos seguirán una serie de normas para evitar los nodos ocultos y expuestos:

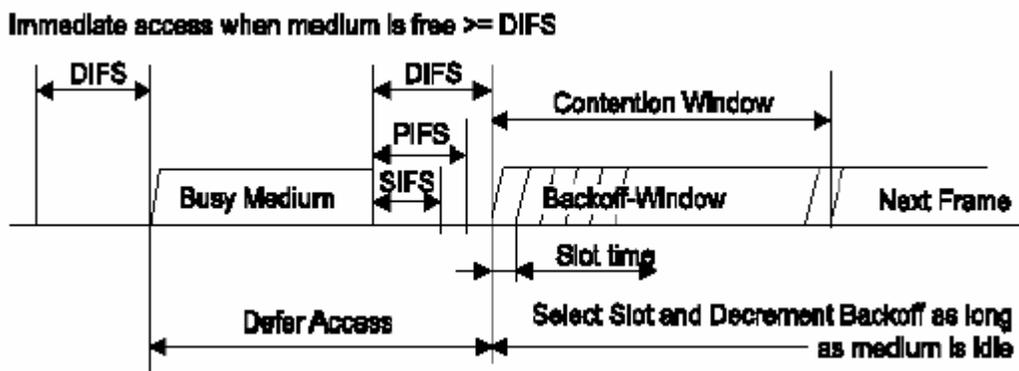
- ✓ Al escuchar un RTS, hay que esperar un tiempo por el CTS
- ✓ Al escuchar un CTS, hay que esperar según la longitud

MACA se implementa para configuraciones Punto Multipunto, donde es usado un Access Point como estación base entre Hosts.

1.4.1 ESPACIADO ENTRE TRAMAS IFS

El tiempo de intervalo entre tramas se llama IFS. Durante este periodo mínimo, una estación STA, estará escuchando el medio antes de transmitir. Se definen cuatro espaciados para dar prioridad de acceso al medio inalámbrico. Ver figura 9.

Figura 9. Espacios entre tramas



- ✓ SIFS (Short InterFrame Space). Este es el periodo más corto. Se usa para separar transmisiones de un mismo diálogo (fragm, ack). Sólo hay una estación autorizada para transmitir después de este tiempo. $SIFS = 28\mu s$.
- ✓ PIFS (Point Coordination Frame Space). Es utilizado por STAs para ganar prioridad de acceso en los periodos libres de contienda. $PIFS = SIFS + 1 \text{ Slot}$

- ✓ DIFS (Distributed Inter Frame Space.). Es el tiempo de espera habitual en las contiendas con mecanismo MACA. usa para la estaciones que desean comenzar una transmisión. $DIFS = PIFS + 1 \text{ slot}$

- ✓ EIFS (Extended Inter Frame Space.). Controla la espera en los casos en los que se detecta la llegada de una trama errónea. Espera un tiempo suficiente para que le vuelvan a enviar la trama u otra solución.

Antes de transmitir un RTS al AP la estación espera un DIFS, el AP al recibir el RTS espera un SIFS para luego enviar el CTS a todas las estaciones diciéndoles que hay una reserva del medio por parte de la estación que le envió el RTS. Algunas de las estaciones esperan un PIFS para tener prioridad sobre otras en la reserva del medio, luego la estación transmisora envía la trama al AP de manera que este la transmita a la estación a la que ha de llegar dicha trama. En caso que la trama sufra algún tipo de variación en la trayectoria que la estación receptora halla detectado, esta esperará un EIFS de manera que vuelvan a transmitir la trama errónea.

2. FACTORES QUE AFECTAN A LOS ENLACES METROPOLITANOS INALÁMBRICOS

En los enlaces inalámbricos metropolitanos, encontramos una serie de factores que condicionan su funcionamiento. Por lo tanto, es importante estudiarlos y analizarlos de tal manera que al realizar los enlaces, se puedan evitar al máximo los inconvenientes ocasionados por dichos factores.

2.1 LÍNEA DE VISTA

Los sistemas de enlace por microondas utilizan transmisión por línea de vista, esto quiere decir que debe haber una trayectoria directa, sin obstáculos u obstrucciones, entre la antena transmisora y la receptora. Las obstrucciones ocasionan los siguientes fenómenos:

2.1.1 Reflexión electromagnética. Ocurre cuando una onda incidente choca con una barrera de dos medios y algo o todo de la potencia incidente no entra al segundo material. Las ondas que no penetran al segundo medio se reflejan evitando que la señal llegue a la antena receptora. Por ejemplo: en cierta ocasión, en la realización de una instalación, existía línea de vista entre los puntos que se requería unir. Una de las antenas se encontraba ubicada en una torre a 50 metros sobre el nivel del mar y la otra a 20 metros ubicada en un mástil, la distancia en línea recta entre las antenas era de aproximadamente 800 metros. Apparentemente, era un enlace sencillo pero como la antena de la torre estaba ubicada detrás

de esta, el enlace no funcionaba debido a que la torre estaba reflejando gran parte de la señal transmitida por la otra antena. Al no poder cambiar la ubicación de la antena que estaba en la torre, optaron por mover la antena ubicada en el mástil a una posición que evitara la reflexión con la torre.

Figura 10. Reflexión de enlace de microondas

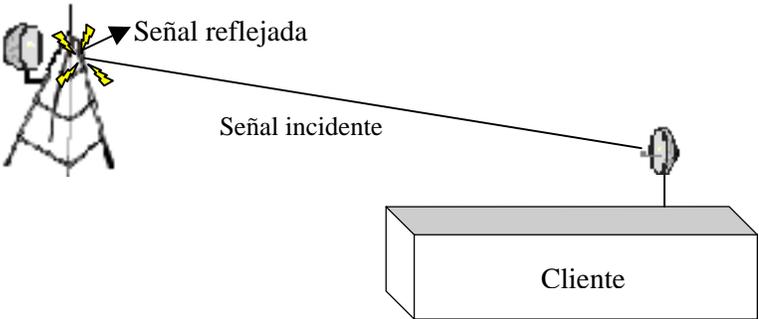
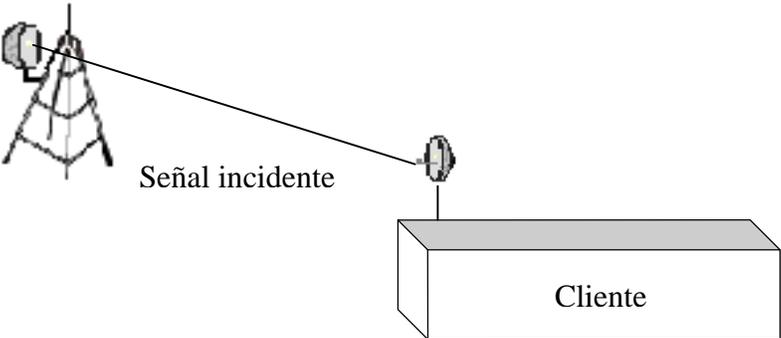


Figura 11. Solución para la reflexión con la torre



2.1.2 Refracción electromagnética⁴. Es el cambio de dirección de una señal cuando pasa de un medio a otro con diferentes velocidades de propagación. La velocidad de propagación de una onda electromagnética, es inversamente proporcional a la densidad del medio en el cual se está propagando. Por lo tanto, la refracción ocurre siempre que una microonda pasa de un medio a otro de diferente densidad.

Este fenómeno no es muy común en nuestra región, ocurre más que todo en regiones montañosas debido al cambio en la densidad del medio que se produce por la neblina. Esta es agua en estado condensado y cuando la señal entra en contacto con las gotas de agua, algunas de sus componentes sufren un retardo en la velocidad de propagación porque el agua es más densa que el aire.

⁴ WAYNE, Op. cit., p. 361.

Es importante mencionar que DSSS reduce este fenómeno ya que genera un patrón de bits redundante para cada uno de los bits que componen la señal. Una experiencia que ilustra la afirmación anterior fue la realización de un enlace en la ciudad de Santa Marta, donde se necesitaba enlazar dos sedes de una empresa importante de esa región. La línea de vista entre las sedes estaba obstruida por una montaña cubierta con neblina, se decidió colocar una repetidora en esta y a pesar de la neblina, el enlace funcionó correctamente.

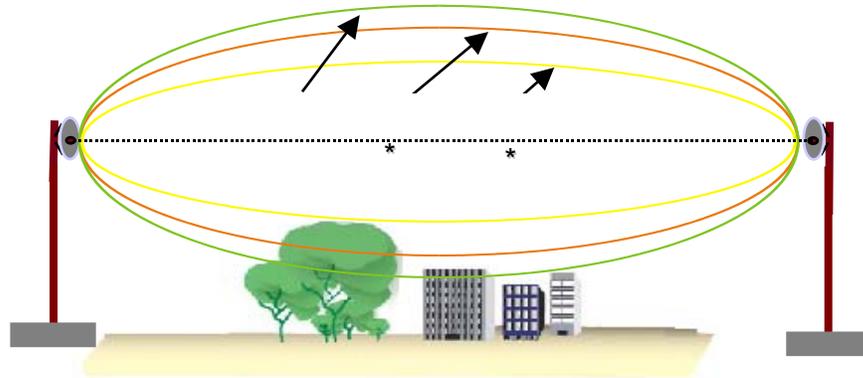
2.1.3 Difracción⁵. Se define como la modulación o redistribución de energía dentro de un frente de onda, cuando pasa cerca del extremo de un objeto opaco. La difracción es el fenómeno que hace que las ondas de luz o de radio se propaguen a la vuelta de las esquinas. Ocurre mayormente cuando se utilizan antenas omnidireccionales o sectoriales y se puede evitar colocando las antenas a gran altura de manera que las ondas no bordeen obstáculos o cuerpos opacos que causen una redistribución de energía en el frente de onda.

Las ondas a 2.4 GHz viajan esencialmente en línea recta entre las antenas transmisora y receptora. La propagación de estas ondas se limita por la curvatura de la tierra. Por lo tanto, este aspecto se debe tener en cuenta al realizar enlaces en 2.4 GHz usando DSSS de manera que no se obstruya la propagación de la onda electromagnética. Se aconseja ubicar las antenas en sitios bastante elevados con respecto al nivel del suelo tales como edificios y torres. Para hacer el cálculo de altura a la que deben estar la antena o las antenas en 2.4 GHz se deben tener en cuenta los siguientes conceptos:

⁵ WAYNE, Op. cit., p. 361.

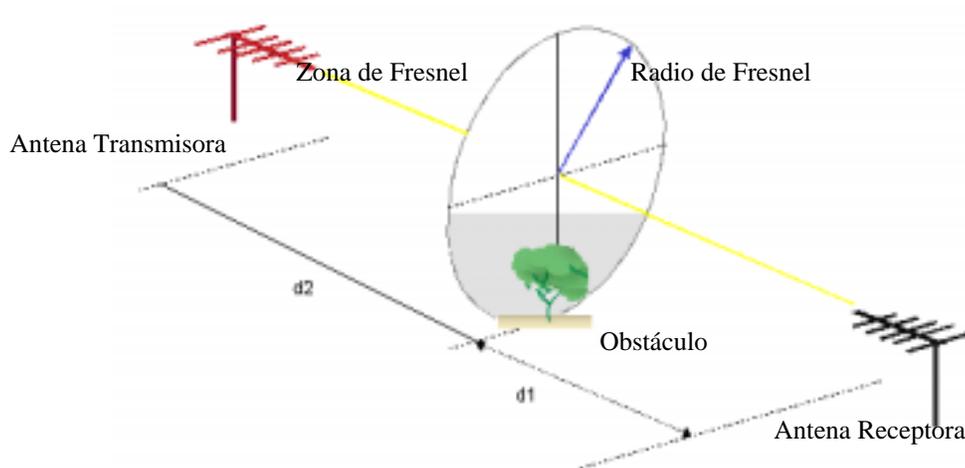
2.1.3.1 Zonas de Fresnel. Son áreas de la señal electromagnética propagada donde no deben existir obstáculos que produzcan difracción de la señal.

Figura 12. Zonas de Fresnel



Para los enlaces con DSSS a 2.4 GHz, debemos tener en cuenta tanto la línea de vista como el radio de la zona de Fresnel ya que si esta se encuentra despejada, el enlace es correcto.

Figura 13. Radio de Fresnel.



El diámetro de la Zona de Fresnel, depende de la longitud de onda y de las distancias desde los sitios a lo largo del eje. El radio de la zona de Fresnel nos brinda información de la altura mínima a la que tienen que estar las antenas para asegurar que ningún obstáculo interfiera en dicha zona. El radio se calcula con la siguiente expresión:

$$R_n = 17.3 \sqrt{\frac{n}{F(\text{GHz})} \left(\frac{d_1 * d_2}{d_1 + d_2} \right)}$$

donde;

n es el número de la zona de Fresnel a la que se le quiere calcular el radio.

F es la frecuencia del enlace en GHz.

d₁ es la distancia desde la antena transmisora hasta la Zona de Fresnel o el obstáculo.

d₂ es la distancia de la antena receptora hasta la Zona de Fresnel o el obstáculo.

R_n es el Radio de Fresnel en metros.

La mayor cantidad de energía de la onda electromagnética, la encontramos en el 60% de la primera Zona de Fresnel por lo tanto de la expresión anterior solo requerimos de este porcentaje y añadir 3 metros para asegurar que no habrá obstáculo que interfiera la Zona de Fresnel.

2.1.3.2 Curvatura de la tierra ⁶. Como se mencionó anteriormente este factor afecta el enlace radioeléctrico, para evitarla se implementa la siguiente expresión:

⁶ WAYNE, Op. cit., p. 369 - 370.

$$h = \frac{d_1 * d_2}{12.75 * k}$$

donde;

d₁ es la distancia desde la antena transmisora hasta la Zona de Fresnel o el obstáculo.

d₂ es distancia de la antena receptora hasta la Zona de Fresnel o el obstáculo.

k es un factor de curvatura de la onda electromagnética equivalente a 4/3 en nuestra región.

h es la altura mínima a la que tiene que estar ubicada la antena.

2.2 RUIDO ⁷

El ruido se define como cualquier energía eléctrica no deseada presente en la pasabanda útil de un circuito de comunicaciones. El ruido generalmente se divide en dos categorías: no correlacionado y correlacionado.

2.2.1 RUIDO NO CORRELACIONADO

Es el que está presente sin importar si hay señal o no. Se divide en dos categorías: externo e interno.

⁷ WAYNE, Op. cit., p. 35-43.

2.2.1.1 Ruido externo. Son señales producidas externamente cuyas frecuencias caen dentro de la banda útil del filtro de entrada de un circuito. Existen tres tipos de ruido externo: atmosférico, extraterrestre y el hecho por el hombre.

- ✓ Ruido atmosférico: también llamado electricidad estática. Es la energía eléctrica que ocurre naturalmente y se origina en la atmósfera de la tierra. Es mayormente producido por perturbaciones eléctricas naturales como los relámpagos, estos producen electricidad estática en forma de impulsos que despliegan su energía en un rango amplio de radiofrecuencias.

Para las frecuencias superiores a aproximadamente 30 MHz, el ruido atmosférico es insignificante. DSSS trabaja en la banda de 2.4 GHz, así que teóricamente, no se ve afectado por el ruido atmosférico. Sin embargo, la combinación de factores tales como la lluvia y fuertes descargas eléctricas, pueden ocasionar fallas en un enlace radio eléctrico. En ocasiones, las antenas pueden enrutar los rayos hacia los equipos y obviamente producir daños en estos. Para evitar esta situación, es aconsejable colocar las antenas a la menor altura posible y cerca de pararrayos que se encarguen de llevar los rayos hacia la tierra. Además, se debe tener en cuenta que un rayo ioniza fuertemente la zona donde cae. Esto indica que si una antena está en esa zona, se le induce voltaje que puede llegar a tener una amplitud tan elevada que dañe el radio e incluso equipos de nuestra red tales como hubs o switches y hasta las

tarjetas de red. Como medida preventiva se puede colocar un dispositivo pasivo conocido como *lighting protector*. Ver figura 30.

La puesta a tierra en este tipo de enlaces es opcional. Algunos ingenieros no incurren en ella debido a que las antenas no tienen ningún tipo de punta por donde pueda caer un rayo, pero la gran mayoría reconoce la importancia de una puesta a tierra. Generalmente se usa cable eléctrico número 2 y una varilla de cobre de 2.4 metros de largo. Se recomienda soldar el cable eléctrico a la varilla y el otro extremo conectarlo al lighting protector.

- ✓ Ruido extraterrestre: también llamado ruido del espacio profundo. Se origina fuera de la atmósfera de la tierra debido al sol, la vía láctea y otras galaxias. No afecta en gran medida a los enlaces, por lo tanto, en muchas ocasiones, no es tenido en cuenta por los ingenieros que realizan las instalaciones radioeléctricas utilizando DSSS.

- ✓ Ruido hecho por el hombre: como su nombre lo indica, es todo el ruido que se atribuye al hombre. Entre las principales fuentes de este ruido se encuentran los motores eléctricos, luces fluorescentes, equipos de conmutación de potencia, entre otros. Para los radioenlaces utilizando DSSS las fuentes productoras de microondas más perjudiciales son las antenas para celulares, antenas satelitales, teléfonos inalámbricos en la banda de 2.4 GHz e inclusive los mismos radioenlaces MAN en la banda de 2.4 GHz. Todos estos son los ruidos más comunes producidos por el hombre que afectan este tipo de enlaces en nuestra región.

2.2.1.2 Ruido Interno

Se define como la interferencia eléctrica generada dentro de un dispositivo y se divide principalmente en tres tipos: térmico, de disparo y tiempo de tránsito. Este tipo de ruido lo tienen en cuenta más que todo los diseñadores de radios.

- ✓ Ruido térmico: es el movimiento aleatorio de los electrones libres dentro de un conductor causado por la agitación térmica.

- ✓ Ruido de disparo: es causado por la llegada aleatoria de portadores (huecos y electrones) en el elemento de salida de un dispositivo electrónico como un diodo o un transistor.

- ✓ Ruido de tiempo de tránsito: variación aleatoria e irregular producida por cualquier modificación a una corriente de portadores conforme pasa desde la entrada hasta la salida de un dispositivo.

2.2.2 RUIDO CORRELACIONADO

Es una energía eléctrica no deseada que está presente como resultado directo de una señal, es decir, que este existe si a un circuito se le imprime una señal de entrada. Entre los principales tenemos las distorsiones armónicas las cuales son los múltiplos no deseados de la onda seno de frecuencia simple que se crean cuando esta se amplifica en un dispositivo no lineal y el ruido de intermodulación que son las frecuencias no deseadas que resultan del producto cruzado de dos o más señales que son amplificadas en un dispositivo no lineal.

Los ruido no correlacionados son de importancia al diseñar los dispositivos electrónicos usados para los radioenlaces.

2.2.3 RELACIÓN SEÑAL A RUIDO

Es una relación matemática sencilla del nivel de la señal con respecto al nivel de ruido en un punto dado del circuito, el amplificador o el sistema completo. Esta puede expresarse como una relación de voltaje o una de potencia, así:

Relación de voltajes:

$$\frac{S}{N} = \left[\frac{\text{voltaje de la señal}}{\text{voltaje del ruido}} \right]^2 = \left(\frac{V_s}{V_n} \right)^2$$

Relación de Potencias:

$$\frac{S}{N} = \left[\frac{\text{potencia de la señal}}{\text{potencia del ruido}} \right]^2 = \left(\frac{P_s}{P_n} \right)^2$$

Esta relación se expresa como una función logarítmica, así:

Para la relación de voltaje:

$$\frac{S}{N} (dB) = 20 \log \left(\frac{V_s}{V_n} \right)$$

Para la relación de potencias:

$$\frac{S}{N} (dB) = 10 \log \left(\frac{P_s}{P_n} \right)$$

Mayormente, la relación señal a ruido se expresa en dBm. Para los enlaces microondas utilizando DSSS, tenga en cuenta lo siguiente:

- ✓ Un valor de SNR ≥ 24 dBm se considera bueno.
- ✓ Un valor de $9 \text{ dBm} \leq \text{SNR} \leq 23 \text{ dBm}$ se considera aceptable.
- ✓ Un valor de SNR ≤ 8 dBm se considera pobre.

Donde SNR es la Relación Señal a Ruido.

Esta relación es uno de los parámetros más importantes en las comunicaciones inalámbricas. Entre más alta sea la relación señal a ruido, mejor será el funcionamiento del sistema. En la práctica, se ha notado que si la relación señal a ruido es buena, por lo menos en uno de los puntos del enlace, no garantiza que el enlace sea bueno. Además, si la SNR es aceptable en uno o dos de los puntos del enlace, este puede ser bueno. Se han visto casos en los que la relación señal a ruido en uno de los puntos del enlace, es aceptable, en el otro pobre y a pesar de esto el enlace se mantiene bueno. Esto se debe a la redundancia por bit de información del DSSS, debido a que al tener una trama con más bits de redundancia es menos probable que toda la información se pierda en el trayecto. La única desventaja es que al aumentar la trama, disminuimos la velocidad de transmisión. A continuación se muestran gráficas que representan la relación señal a ruido que existe en cada uno de los extremos de diferentes radioenlaces.

Figura 14. Enlace bueno, con relación señal a ruido aceptable en los extremos

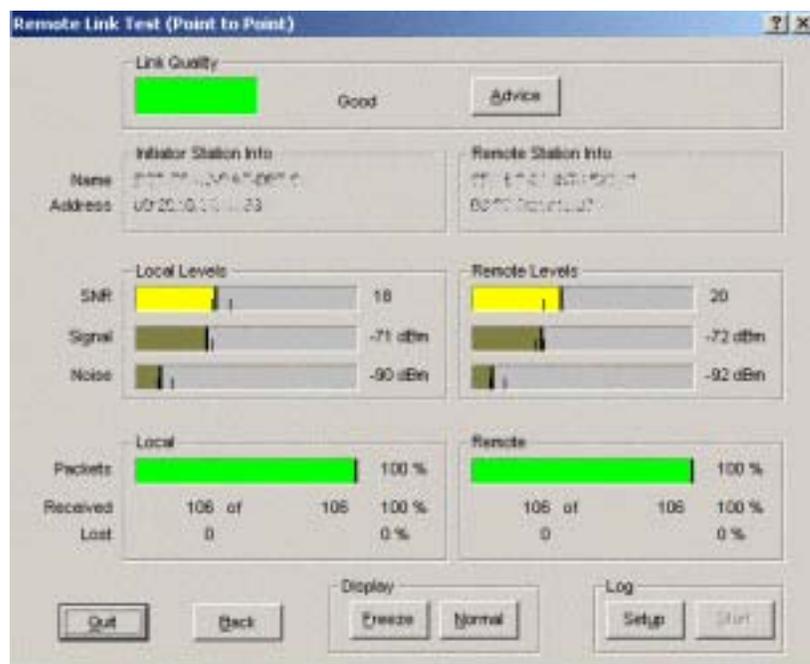


Figura 15. Enlace bueno, con relación señal a ruido aceptable en un extremo y pobre en el otro

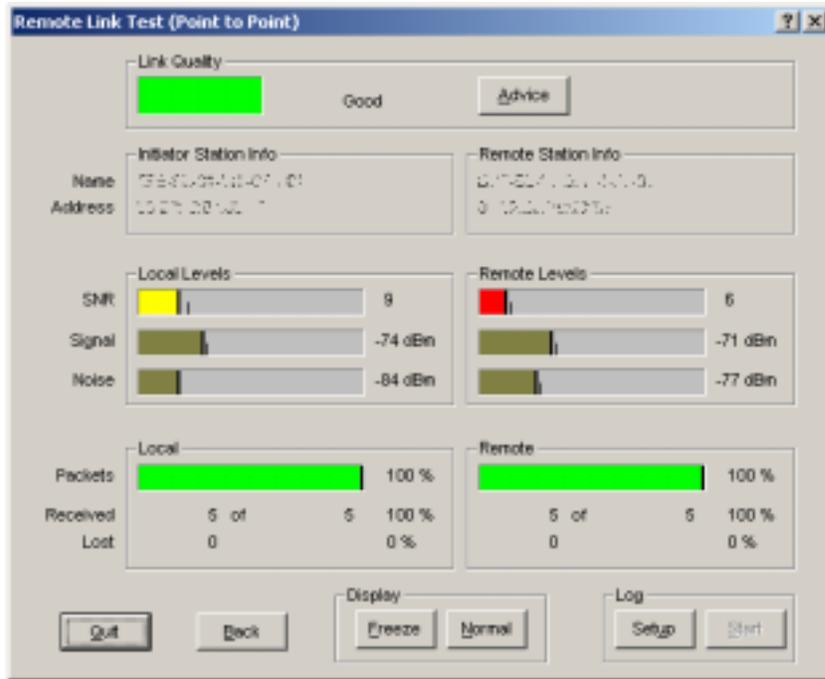


Figura 16. Enlace bueno, con relación señal a ruido buena en un extremo y aceptable en otro

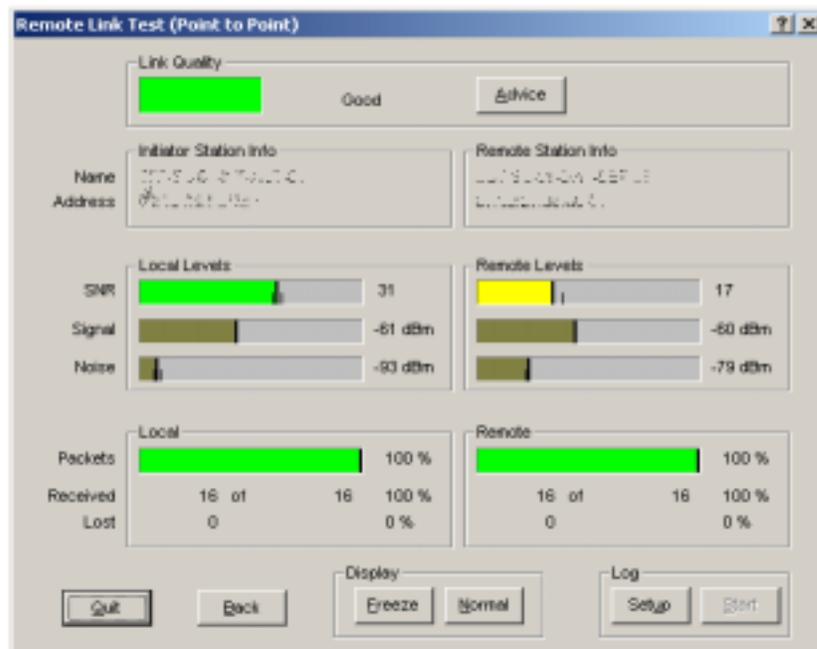
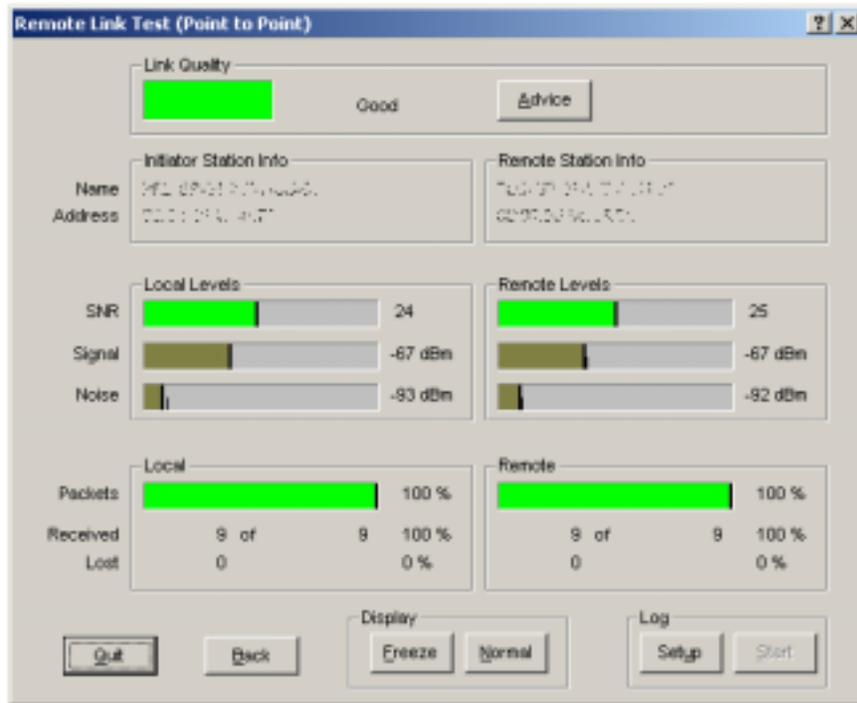


Figura 17. Enlace bueno, con relación señal a ruido buena en los dos extremos



2.3 ATENUACIÓN

Es uno de los factores más importantes que se presenta en cualquier tipo de enlace. Es la pérdida de la potencia radiada por la antena a medida que la onda electromagnética se aleja de esta, debido a que las ondas al ser radiadas, se alejan más unas de otras haciendo que el número de ondas por unidad de área disminuya. Esto obedece a la ley inversa cuadrática, la cual dice que la densidad de potencia radiada por una antena disminuye con el cuadrado de la distancia. Nada de la potencia radiada se pierde, esta solo se dispersa en un área más grande, disminuyendo la densidad de potencia.

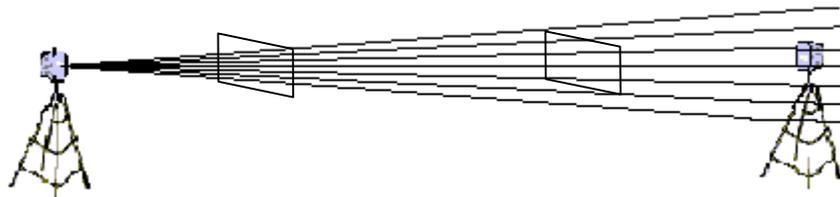
Para enlaces vía wireless de grandes distancias con DSSS se utilizan amplificadores de manera que se aumente la potencia de radiación de la antena, el más utilizado y recomendado es el de 1 Vatio. Es importante escoger un amplificador a la misma frecuencia del enlace, en nuestro caso se seleccionaría un amplificador de 1 Vatio en la banda de 2.4 GHz. Dependiendo de la distancia, se colocan amplificadores en cada uno de los extremos del enlace o en los dos.

La distancia en un radio enlace esta fuertemente ligada a la atenuación, como mencionamos anteriormente. En nuestra región, para enlaces en DSSS a 2.4 GHz, son mayormente utilizadas las antenas grillas de 24 dbi, aunque también encontramos de 15, 19 y 21 dbi, además de las antenas pannel donde la de 15.5 dbi es la más usada. La escogencia de una de estas antenas depende de la ganancia que le queramos dar al enlace y recordemos que esta nos define si el enlace es bueno o malo. Las antenas de alrededor de 15 dbi son usadas generalmente para distancias de hasta 1 Km, las de 19 dbi hasta 3 Km y las de 21 dbi pueden enlazar redes a distancias de hasta 7 Km. Una antena de 24 dbi en condiciones favorables puede enlazar redes a distancias de hasta 10 Km sin amplificador. Para distancias mayores se recomienda utilizar antenas con mayor ganancia donde tenemos las de 29 dbi como las más utilizadas que pueden enlazar distancias de hasta 17 Km. Finalmente, para distancias mayores a las mencionadas se tendría que usar amplificación adicional. Se recomiendan los amplificadores de 1 W, aunque también se usan los de 500 mW.

Por experiencia, en caso de necesitar colocar un amplificador en uno de los extremos de un radio enlace, se recomienda colocarlo donde hayan menos antenas debido a que puede interferir en las otras señales o puede ser obstáculo para futuros enlaces que se realicen utilizando la tecnología DSSS a 2.4 GHz. Generalmente se utilizan amplificadores para radio enlaces mayores a 20 Km y menores a 70 Km.

Es importante mencionar que un enlace radioeléctrico está sujeto a una serie de cambios que se pueden dar en el ambiente. Por lo tanto, elegir un valor de ganancia determinada para una distancia es relativo. Los valores mencionados anteriormente se sustentan en valores teóricos dados por los fabricantes, lo cual indica que pueden diferir un poco debido a todas las variables que se deben tener en cuenta al realizar un enlace.

Figura 18. Pérdida de potencia por unidad de área



En la figura 18, notamos que el número de ondas electromagnéticas que atraviesan un área determinada, disminuye a medida que éstas se alejan de la antena (fuente), produciéndose así la pérdida de potencia que comúnmente se conoce como atenuación.

2.4 ABSORCIÓN

La atmósfera de la tierra no es un vacío, esta compuesta por átomos y moléculas de varias sustancias como, gases, líquidos y sólidos. Algunos de estos materiales son capaces de absorber las ondas electromagnéticas. Estas ondas se propagan en la atmósfera de la tierra, transfiriendo energía a los átomos y las moléculas que la componen. Una vez absorbida la energía, se pierde y ocasiona una pérdida en el voltaje e intensidad de campo magnético además de una reducción en la densidad de potencia.

La absorción de radiofrecuencia en la atmósfera terrestre, depende de la frecuencia y esta es insignificante por debajo de los 10 GHz. La atenuación de las ondas debido a la absorción, no depende de la distancia del enlace pero sí de la distancia total que la onda se propaga por la atmósfera.

Es importante mencionar que la atmósfera de nuestra región costera es salina. La mayoría de las antenas utilizadas para enlaces de 2.4 GHz, están hechas con materiales conductores que van perdiendo sus propiedades con el tiempo debido a la capa de óxido que se forma por la salinidad del ambiente. Mientras más se acerque la antena a la zona costera, mayor es la probabilidad de que se oxide. Por esta razón se recomienda utilizar antenas galvanizadas o en su defecto, utilizar pintura protectora cada seis meses. Recuerde que la antena no solo está formada por el reflector y el foco, los herrajes que la sostienen al mástil donde se soporta también requieren de cuidado porque generalmente son de metal.

3. EQUIPOS WIRELESS

3.1 RADIO DE MICROONDAS

Existen básicamente dos tipos de radios para redes inalámbricas: los radios bases (Access Point) y los clientes (estaciones satélite). Ambos tipos de radios se pueden clasificar en outdoor si se ubica a la intemperie e indoor si no.

Figura 19. Radio indoor



Figura 20. Radio outdoor

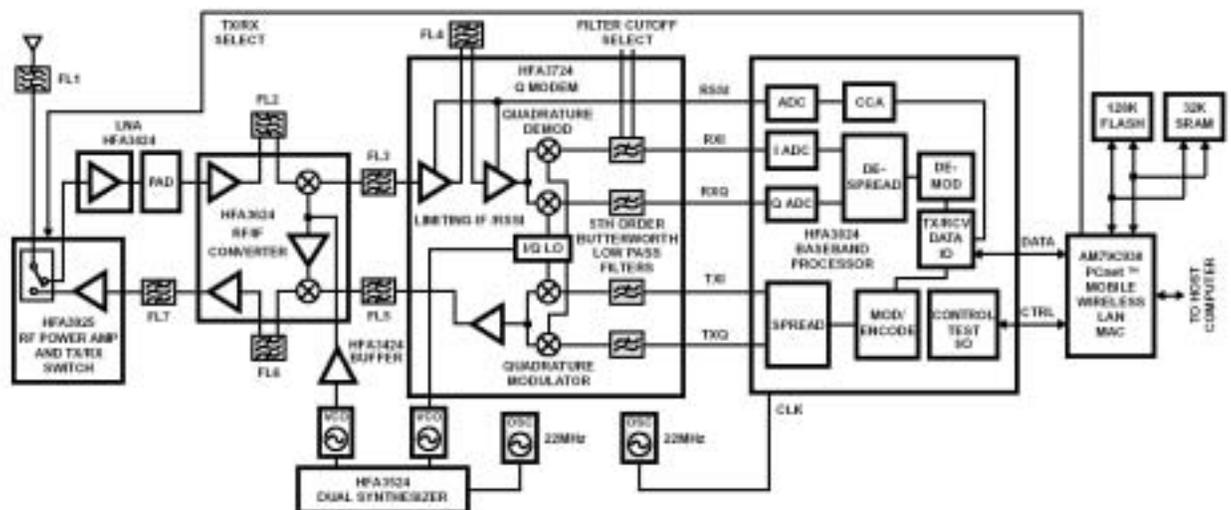


Un radio está compuesto por una PC card que ensancha y modula la señal, y una Board que es la contiene generalmente una Interface Ethernet, la Interface para la PC card, un procesador, memorias ROM y RAM, el software que le permite funcionar como una base o un cliente y además distribuye la potencia eléctrica.

3.1.1 PC Card

Este dispositivo se encarga del ensanchamiento y de la modulación de la señal. Es también conocida como la Interface RF, se conecta a la antena a través de un cable coaxial conocido como Pig Tail, su estructura se muestra en la figura 21.

Figura 21. Diagrama PC Card



La PC Card está compuesta esencialmente de cuatro partes: procesador de banda base, modulador/demodulador, conversor RF/IF y switcheo/amplificación.

Procesador de banda base: lleva a cabo el proceso de ensanchamiento y desensanchamiento de la señal en banda base utilizando la Secuencia de Barker o CCK.

Modulador/demodulador: como su nombre lo indica, modula o demodula la señal utilizando QPSK o BPSK.

Conversor RF/IF: convierte la señal de frecuencia intermedia a señal de radiofrecuencia y viceversa.

switcheo/amplificación: Permite utilizar la antena como receptora y transmisora además de amplificar la señal de RF.

Figura 22. PC Card



3.1.1.1 Proceso de recepción. La señal de RF pasa por un filtro FL1 que se encarga de dejar pasar las señales en la banda de 2.4 GHz (ISM), luego llega al integrado HFA3925 que debe encontrarse en modo de recepción. Este hace pasar la señal por una serie de etapas

de amplificación antes de llegar al filtro pasa banda FL2 el cual se encarga de suprimir el ruido existente en la señal. A continuación, la señal filtrada es convertida a una frecuencia intermedia de 280 MHz por el convertidor HFA3624, la señal atraviesa el filtro FL3 que a su vez sirve como acoplador de impedancias entre el conversor de RF/IF y el demodulador hasta llegar a los limitadores que están compuestos por dos amplificadores en cascada y un filtro FL4 que se encargan de la sensibilidad de recepción. Después de esto, la señal es demodulada y pasa al procesador de banda base que luego de convertirla de análoga a digital, la desensancha y manda los datos al chip AM79C930 que se encarga de formar la trama que luego pasará a un host o a la board del radio.

3.1.1.2 Proceso de Transmisión. La trama llega a la Interface Ethernet del radio o directamente a la PC Card, luego el chip AM79C930 separa los bits de control y los bits de datos haciéndolos pasar a la etapa de procesamiento en banda base donde los bits de datos son ensanchados utilizando la secuencia de Barker o CCK, la señal ensanchada pasa al modulador y luego llega al filtro FL5 que controla la ganancia de la señal en este punto, luego la señal es convertida de su frecuencia intermedia de 280 MHz a una señal de RF en la banda de 2.4 GHz y atraviesa el filtro pasabanda LC FL6 encargado de suprimir armónicos no deseados. La señal de RF se preamplifica a la salida del conversor RF/IF pasa a través del filtro pasabanda FL7 de 2.4 GHz llegando al chip HFA3925 que se encarga de amplificar la señal de RF y seleccionar el modo de transmisión para la antena.

3.1.2 BOARD

Es utilizada para recibir la señal de la PC Card y convertirla para que pueda ser manejada por una tecnología de red, generalmente Ethernet. Además, almacena el software que hace que el radio se comporte como Base o cliente. Está compuesta por 4 partes principalmente: Procesador, memorias Flash y RAM, Interface Ethernet, Potencia eléctrica.

Procesador: dispositivo semiconductor encargado de recibir instrucciones y procesarlas para entregar un resultado.

Memoria Flash: encargada del almacenamiento del Software que permite que el funcionamiento del radio. Además, guarda la configuración.

Memoria RAM: se le carga la configuración del radio una vez este se encuentre encendido.

Interface Ethernet: permite la comunicación entre el radio y dispositivos Ethernet y FastEthernet.

Potencia eléctrica: encargada de la regulación y distribución de la energía eléctrica DC que necesita el radio para funcionar correctamente.

3.2 ANTENAS EN 2.4 GHZ

Las antenas juegan un papel muy importante en los enlaces radioeléctricos ya que son las encargadas de radiar la señal de RF proveniente del radio de microondas. En la banda de 2.4 GHz podemos encontrar los siguientes tipos de antenas:

- ✓ **Antenas omnidireccionales:** son aquellas que irradian la energía electromagnética a los 360°, es decir, su patrón de radiación es circular. Entre las antenas omnidireccionales podemos citar las antenas verticales que transmiten para todas las direcciones en el plano horizontal, esta característica hace que este tipo de antenas introduzca más ruido electromagnético que las antenas direccionales. Las antenas omnidireccionales no deben usarse en Colombia para enlaces DSSS porque que las leyes así lo indican.

Figura 23. Antena omnidireccional y especificaciones eléctricas



Model	HG2412U
Frequency	2400-2500 MHz
Gain	12 dBi
Polarization	Vertical
Vertical Beam Width	8°
Horizontal Beam Width	360°
Impedance	50 Ohm
Max. Input Power	50 Watts
VSWR	< 1.5:1 avg.
Weight	1.7 lbs (0.8kg)
Length	48 in. (1.2m)
Radome Material	Gray Fiberglass
Mounting	2.0" diameter mast max.
Wind Survival	>150 MPH
Operating Temperature	-45° C to +80° C
Connector	N-Female

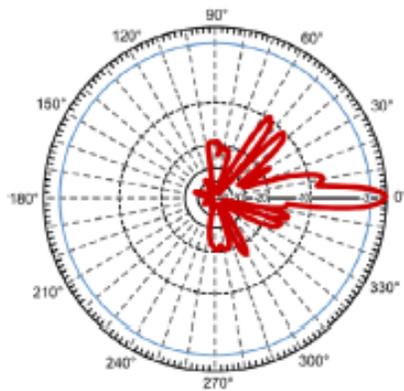
- ✓ **Antenas sectoriales:** concentran la energía electromagnética en un sector determinado por el fabricante, entre las más usadas tenemos: 90°, 120°, 180°.

Figura 24. Antena sectorial y especificaciones eléctricas

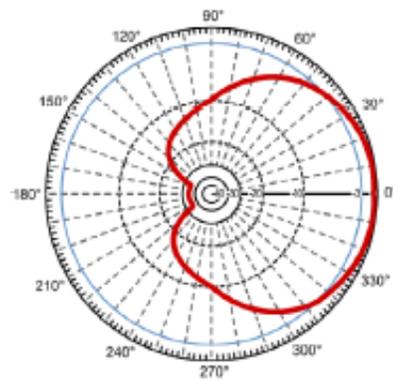


Frequency	2400-2500 MHz
Gain	20 dBi
Horizontal Beam Width	120 degrees
Vertical Beam Width	+/- 6.5°
Impedance	50 Ohm
Max. Input Power	250 Watts
VSWR	< 1.3:1 avg.
Connector	N Female
Lightning Protection	Direct Ground

Figura 25. Patrón de radiación de antena Sectorial



Posición Horizontal



Posición Vertical

- ✓ **Antenas direccionales:** concentran la irradiación de energía hacia una determinada dirección. La ganancia de la antena dependerá de su mayor direccionalidad. Existen básicamente 3 tipos de antenas direccionales para la banda de 2.4 GHz: Yagi, Grillas, Plana.

Figura 26. Antena Yagi y especificaciones eléctricas



Figura 27. Antena Grilla y especificaciones eléctricas

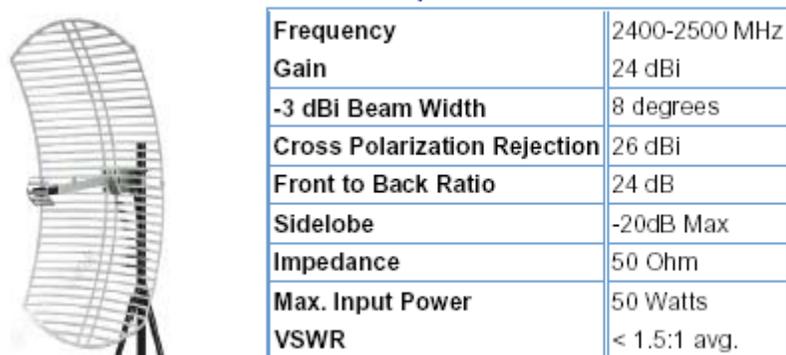


Figura 28. Antena Plana y especificaciones eléctricas



Gain (dBi)	15.5 dBi
Polarization Isolation	>30 dBi
Sidelobe Suppression	> 18 dBi
-3 dBi Beamwidth	25° Vertical : 25° Horizontal
-10 dBi Beamwidth	45° Vertical : 45° Horizontal
Front/Back Ratio	>30 dBi
Impedance	50 Ohms
VSWR	1.5:1

La principal diferencia entre las antenas Yagi, Grilla y Plana radica en el patrón de radiación. A continuación se muestra el patrón de radiación de cada uno de estos tipos de antenas cuando se instalan en posición vertical u horizontal.

Figura 29. Patrón de radiación de Antena Grilla

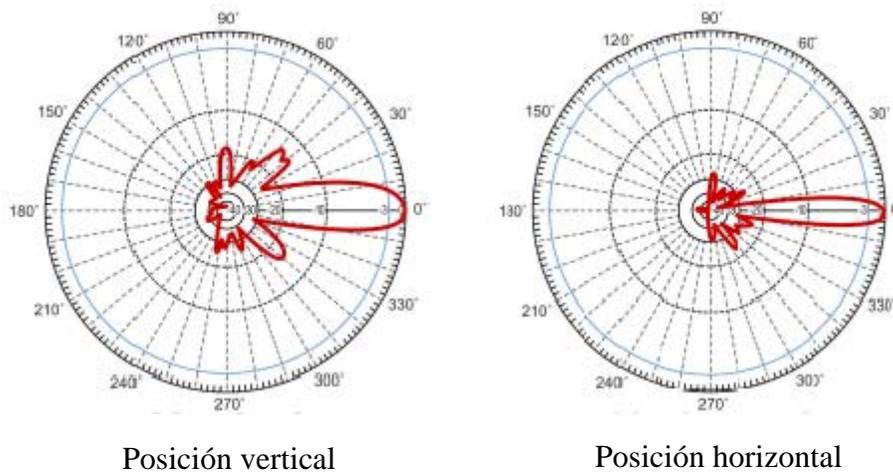


Figura 30. Patrón de radiación de Antena Yagi

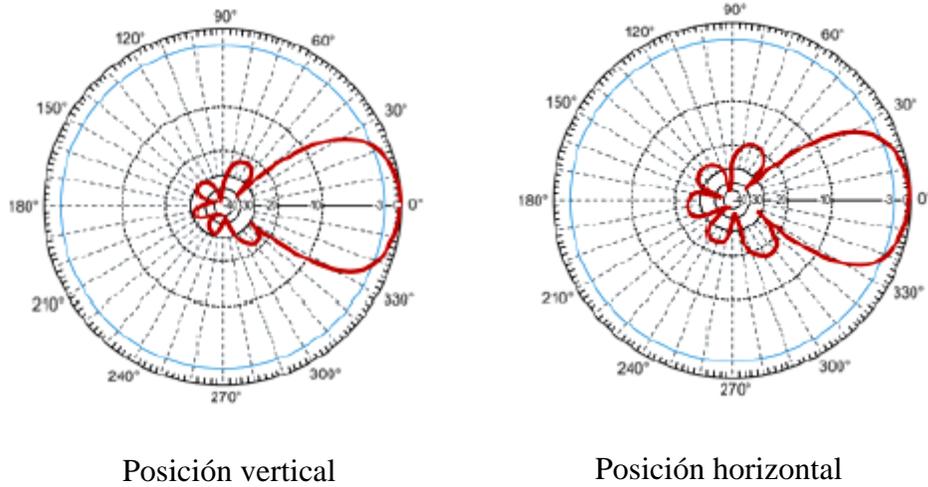
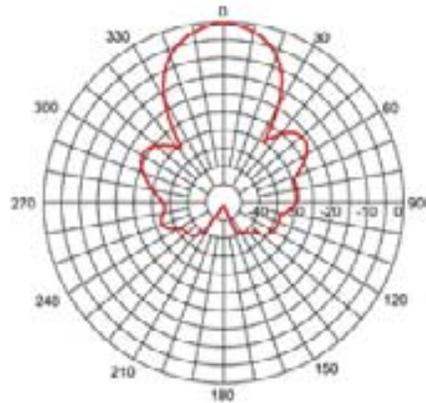


Figura 31. Patrón de radiación de Antena Plana



La antena Plana es bastante utilizada pero por la poca ganancia directiva que ofrece no se aplica para enlaces a grandes distancias. Entre las más usadas se encuentran: 14 dbi, 15 dbi

y 15.5 dbi. Finalmente, podemos mencionar que la antena Grilla es la más usada de las tres, debido a las grandes ganancias directivas que los fabricantes ofrecen, entre las cuales se encuentran: 15 dbi, 19 dbi, 24 dbi (más utilizada) y 29 dbi.

3.2.1 Cálculo de la ganancia de las antenas

Existe una manera teórica de calcular la ganancia de las antenas en un radioenlace.

Matemáticamente la ganancia de las antenas es:

$$A = G_s - F_m - L_p - L_f - L_b$$

donde;

A Ganancia total de las antenas transmisoras y receptoras.

G_s Ganancia del radioenlace.

F_m Margen de desvanecimiento para un determinado objetivo de confiabilidad.

L_p Perdida de la trayectoria de espacio libre entre antenas.

L_f Perdida del alimentador.

L_b Perdida de acoplamiento.

Los factores anteriores están definidos por las siguientes expresiones matemáticas:

$$F_m = 30 \log D + 10 \log (6ABF) - 10 \log (1-R) - 70$$

donde;

D es la distancia en Kilómetros.

A es el factor de rugosidad. Puede ser 4 si la señal de RF cruza por encima de agua o un terreno muy parejo, 1 sobre un terreno normal y 0.25 sobre un terreno montañoso muy disparejo.

B es el factor para convertir una probabilidad del peor mes a una probabilidad anual. Puede ser 1 para convertir una disponibilidad anual a una base para el peor mes, 0.5 para áreas calientes y húmedas, 0.25 para áreas normales tierra adentro, 0.125 para áreas montañosas o muy secas.

F es la frecuencia del radioenlace en GHz.

R es la confiabilidad expresada como (ejemplo, 99.99 % = 0.9999 de confiabilidad).

Perdida de trayectoria en el espacio libre

$$L_p = 92.4 + 20 \log F + 20 \log D$$

donde;

F es la frecuencia del radioenlace en GHz.

D es la distancia en Kilómetros.

Perdida de acoplamiento

Estas son causadas por los acoples que hay entre el radio y la antena. Generalmente se fijan a $L_b = 0.25$ db por unión. Para dispositivos tales como uniones para BNC y lighting protector se fija un valor de $L_b = 2$ db.

Perdida del alimentador

Estas son las pérdidas debido al cable coaxial y dependen del cable que se use y de la cantidad de este.

La manera de calcular la ganancia de las antenas es asignando la ganancia que va a tener nuestro radioenlace. A continuación, se reemplazan las variables mencionadas anteriormente y de esta forma se obtiene el valor de ganancia total de las antenas. El criterio más utilizado para seleccionar las antenas a usar, es el de dividir el valor de la ganancia total A entre 2. De esta manera se obtiene el valor de la ganancia de las 2 antenas a utilizar en el radioenlace. Por razones de seguridad, se escoge la ganancia de antena inmediatamente mayor al valor calculado teóricamente.

3.3 LIGHTING PROTECTOR

Es un dispositivo pasivo que se encarga de evitar que la descarga eléctrica dañe los equipos, enrutándola hacia la tierra. El *lighting protector* se ubica entre el radio y la antena, consta de una entrada y una salida para coaxial y una conexión para la puesta a tierra.

Figura 32. Lighting protector



3.4 CABLES

Para enlaces de microondas en la banda de 2.4 GHz se usa cable coaxial para llevar la señal del radio a la antena. La cantidad de cable que se utilice depende de la cantidad de ruido electromagnético que haya en el ambiente, entre más cable coaxial exista entre la antena y el radio, mayor será la atenuación de la señal de RF. Por lo tanto, si la señal sufre mucha atenuación es mejor utilizar un radio outdoor, un radio de este tipo se puede ubicar muy cerca de la antena haciendo que la cantidad de cable coaxial usada sea mínima. Entre

los cables coaxial más usados se encuentran: WBC 600 o LMR 600, WBC 400 o LMR 400.

La diferencia entre estos 3 cables radica en la atenuación que causan a la señal proveniente del radio. Encontramos que el WBC 600 causa menos atenuación, que el WBC 400 (ver anexo B). Los conectores para el cable a utilizar dependen de los equipos y dispositivos a los que se han de conectar.

Los radios de microondas, amplificadores y splitters vienen con entradas tipo BNC hembra por lo tanto se debe utilizar un conector BNC macho para conectarlos. Se deben usar conectores de acuerdo al tipo de cable que se desee utilizar. Por ejemplo: Si se quiere utilizar cable WBC 400 se deben adquirir conectores apropiados para este tipo de cable.

Figura 33. Conector BNC macho



Se recomienda utilizar el mismo tipo de conector para realizar la conexión a la antena, por lo tanto estas se deben adquirir con entrada tipo BNC hembra.

La conexión entre la Interface RF y el cable coaxial se hace a través de un pequeño cable coaxial conocido como Pig Tail. Existe una gran variedad de pig tails, la diferencia radica

básicamente en el tipo de conector que estos usen y lo que sea capaz de unir. Los más usados son: Pig Tail para unir Pc Card-Coaxial, y el Pig Tail para unir Pc Card-Lighting Protector / Amplificador / Splitter.

Figura 34. Pig Tail para unir PC Card-Coaxial



Figura 35. Pig Tail para unir PC Card-Lighting Protector / Amplificador / Splitter



3.5 AMPLIFICADORES Y SPLITTERS

Otros de los equipos usados en radioenlaces en la banda de 2.4 GHz, son los Amplificadores y los Splitters. La fabricación de los amplificadores se limita a 1 Vatio de salida. Es importante recordar que estos enlaces son de baja potencia y en Colombia esta es la potencia límite para la utilización del espectro ensanchado.

Existen dos tipos de amplificadores, Indoor para interiores y Outdoor para exteriores, se diferencian en la tolerancia al medio que tiene el uno con respecto al otro.

Figura 36. Amplificador 2.4 GHz Outdoor



Figura 37. Amplificador 2.4 GHz Indoor



Un amplificador trae dos terminales, una terminal es para conectar a la antena y la otra va al radio, para esto se usa el cable coaxial y los conectores mencionados.

Un splitter es un dispositivo electrónico que toma la señal de RF por una de sus terminales y la divide dándole salida por las terminales restantes. Reduce la potencia de la señal de acuerdo al número de terminales de salida que tenga. Hay dos tipos de splitter: indoor y outdoor.

Figura 38. Splitter 2.4 GHz Indoor



En la figura 38 se observa un splitter de tres vías donde los terminales 1 y 2 se conectan a las antenas, mientras que el terminal COM se conecta al radio, las conexiones se hacen con cable coaxial.

Figura 39. Splitter 2.4 GHz Outdoor



Un splitter es usado para evitar utilizar antenas sectoriales u omnidireccionales. Se conecta a la base y a las antenas. Es recomendable usarlo con amplificador ya que como se mencionó anteriormente, con un splitter la potencia de la señal de RF se reduce de acuerdo al numero de terminales que este tenga. Entonces se conectaría el radio base al amplificador, este al splitter y finalmente el spliter a las antenas direccionales.

Los equipos y dispositivos mencionados los podemos adquirir con los siguientes fabricantes:

- ✓ Hyperlink. Inc: Radios, Antenas, Conectores, Cables, Splitter, PC Card (www.hypertech.com).
- ✓ Wavecom: Radios, Antenas, Conectores, Cables, Splitter, PC Card (www.wavecom.com).
- ✓ Orinoco: Radios, Cables, PC Card (www.orinoco.com)
- ✓ Avaya: Radios, Cables, PC Card (www.avaya.com)
- ✓ Belden: Cables (www.belden.com)

Existen otros fabricantes que no se mencionan tales como: Linksys, Búfalo, Samsung.

Pero la falta de referencias de estos hacen que no se encuentren entre los principales.

4. PROCESO DE INSTALACIÓN

Al implementar una red inalámbrica metropolitana, el proceso de instalación es un aspecto determinante ya que de éste depende el éxito o buen funcionamiento de la red. Por lo tanto, antes de llevarlo a cabo, es importante entender el funcionamiento de la tecnología DSSS, conocer los factores que afectan a los enlaces de este tipo y finalmente conocer los equipos que se utilizarán.

El proceso de instalación comienza por realizar un estudio de línea de vista, con este se determina qué tan factible es realizar el radioenlace sin incurrir en algún tipo de puente repetidor que cause sobre costos en el proyecto, aunque si es necesario se debe realizar.

El relieve de nuestra región es accidentado por lo tanto hay muchos lugares donde se hace necesario ubicar puentes repetidores, pero vale la pena resaltar que a muchos de estos lugares no llega la energía eléctrica o los permisos para ubicar antenas son muy complicados y llevan bastante tiempo, esto ocurre más que todo en sitios alejados de las ciudades. Generalmente las empresas de comunicaciones dedicadas a este tipo de enlace pagan mensualidades por instalar antenas en territorios pertenecientes a familias que generalmente son de bajos recursos económicos u optan por alquilar espacios en torres de grandes compañías de telecomunicaciones, como Bellsouth, Comcel y Telecom., siempre y cuando las señales no afecten sus radioenlaces.

En las ciudades se prefiere ubicar las antenas repetidoras en edificios de gran altura o por lo menos que cuya altura permita realizar con éxito el radio enlace. Hay que tener en cuenta que los edificios altos son bastante apetecidos por las empresas de telecomunicaciones en la ubicación de antenas, generando gran cantidad de ruido electromagnético en el área circundante que perjudicaría cualquier radioenlace nuevo que se fuera a realizar. Además, si se realiza un nuevo radioenlace, éste afectaría también los enlaces que ya tengan lugar en el área. Es por esto que muchas veces se hace desmontar o parar la instalación de antenas nuevas. El ente estatal que se encarga de esta regulación es el ministerio de comunicaciones pero con lo popular que se han hecho los radioenlaces el ministerio no es lo suficientemente grande como para controlar la cantidad de radioenlaces que se realizan en nuestra región.

La línea de vista es importante en un radioenlace para cuando se usan microondas debido a que estas señales son altamente directivas por eso la importancia de ubicar las antenas en lugares con suficiente altura para que estas se “vean”, pero tenga en cuenta que va a existir ruido en cualquier lugar que se desee ubicar una antena, aunque en algunos lugares el ruido será mayor que en otros.

Después de determinar la línea de vista, se establece la topología que se va a realizar. Se recomienda para la unión de dos sedes la utilización de enlaces punto a punto o en su defecto con repetidoras intermedias. Para la unión de varias sedes es habitual la utilización de enlaces punto multipunto en estrella o estrella extendida, pero es importante mencionar que en nuestra región estos estarían por fuera de las leyes de telecomunicaciones que existen en nuestro país. Una manera de enlazar varias sedes utilizando enlaces punto a

punto es con la utilización de splitters para colocar las antenas directivas por sede a unir y de esta manera enlazar como punto a punto todas las sedes con una estación base común para todas. Otra opción es realizar enlaces punto a punto por cada sede a unir y luego comunicarlas entre sí con la utilización de un switch o hub a través de las Interfaces Ethernet de los radios.

Una vez determinada la topología, se estudia el lugar donde colocar la antenas o las antenas. Para esto se hace uso de los perfiles topográficos de las sedes a unir, aunque en la ubicación de una antena es muy útil la experiencia de la persona que este realizando la instalación. El perfil topográfico nos muestra los obstáculos naturales que pueden entorpecer la trayectoria de propagación de la señal, pero hay que recordar que existen obstáculos hechos por el hombre que de igual manera pueden afectar nuestra señal. Por lo tanto se recomienda que para realizar radioenlaces en donde a simple vista o con la ayuda de un telescopio no se pueda observar el objetivo que se quiere enlazar, desplazarse por la trayectoria que seguiría la señal para asegurar que no haya obstáculo que la entorpezca o para colocar una repetidora en caso que se necesite.

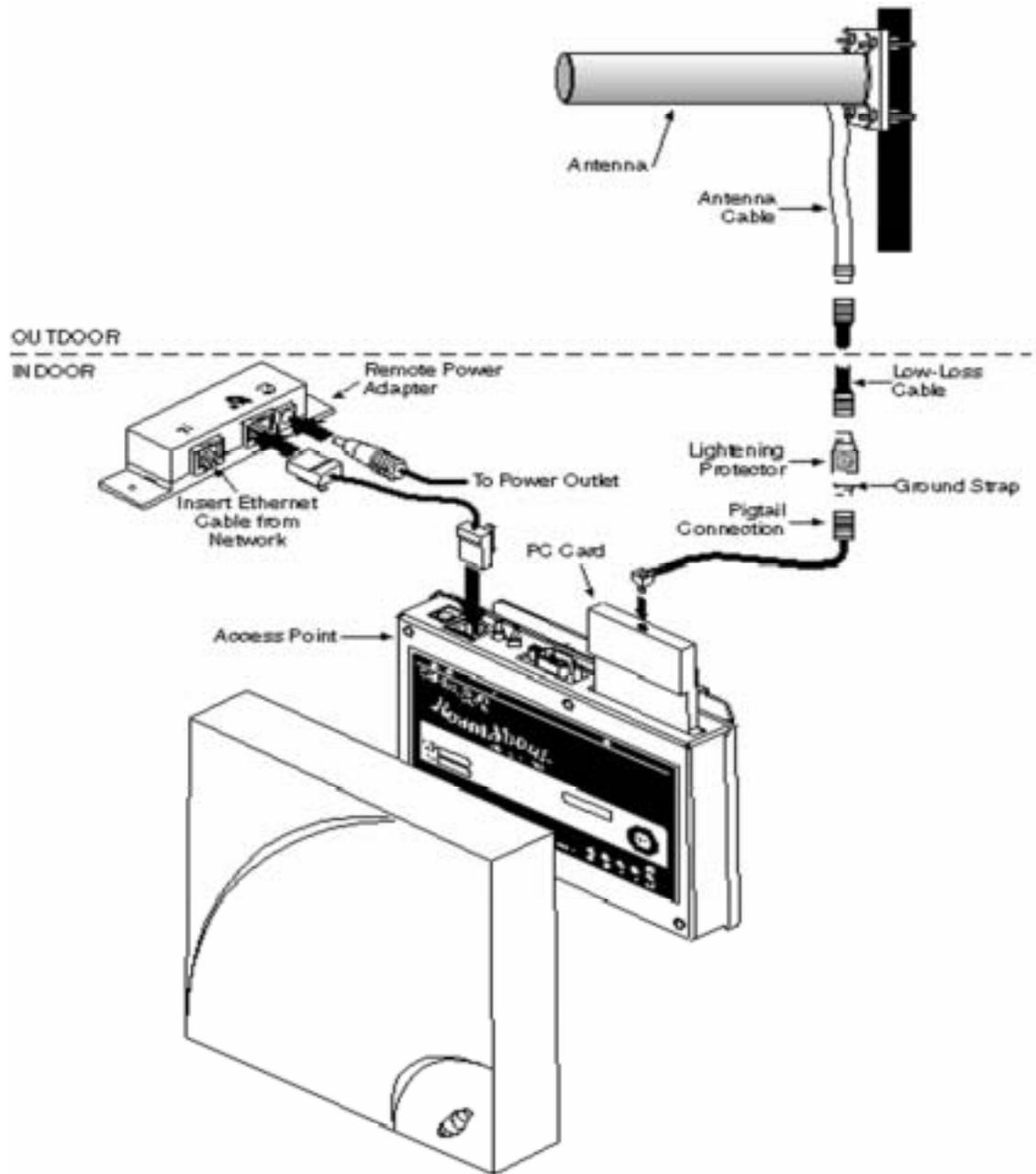
Con el perfil topográfico y el recorrido de la trayectoria de la señal se determinan las alturas de los obstáculos entre los puntos a unir, teniendo en cuenta la curvatura de la tierra y la zona de Fresnel, de manera que se construyan las torres o mástiles con la altura adecuada para realizar el radioenlace.

Una vez determinada la altura de las torres o mástiles se procede a ubicar el lugar donde ha de instalarse la antena. Para esto se hace necesario utilizar un computador portátil con el software que permita monitorear el enlace mientras se esté instalando la antena, lo que se busca en la instalación es que al hacer *ping* al radio previamente ubicado en la otra sede, este responda y además que no pierda paquetes. De esta forma tendremos un enlace seguro entre las sedes.

La importancia del software de monitoreo radica en que se puede ajustar la antena de manera que haya enlace entre las sedes. Generalmente estos software muestran la relación señal a ruido y de acuerdo a esta, es posible mover la antena de manera que con cada movimiento se pueda observar cómo la SNR varía para determinar así el lugar donde se muestre buen enlace.

Es importante utilizar la menor cantidad de cable coaxial posible entre la antena y el radio, con el fin de lograr menos atenuación de la señal y por ende más potencia radiada por la antena. Algunos ingenieros recomiendan la utilización del *lighting protector* basados en su experiencia en radioenlaces, también es primordial el suministro de energía eléctrica regulada al radio. Se recomienda utilizar extensiones eléctricas directamente desde un estabilizador de voltaje. Además, hay que tener en cuenta que nuestra región es bastante salina por esto se recomienda utilizar antenas galvanizadas además de proteger los conectores con cintas encauchetadas y silicona líquida de manera que no se sulfaten por el ambiente al que van a estar expuestos.

Figura 40. Componentes de un enlace inalámbrico metropolitano

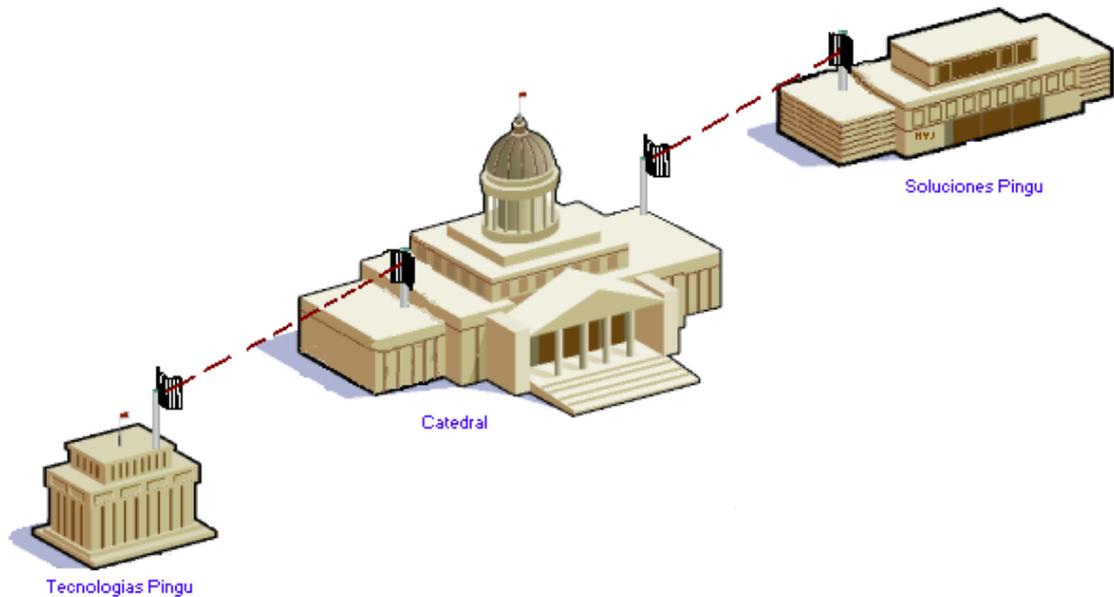


Después de ubicar la antena se procede a conectar el radio al backbone de la sede o al host que necesite conectarse a la otra sede. Es importante seguir los estándares sobre cableado

estructurado para poder llevar la señal a través del cable UTP. Se recomienda utilizar cable UTP intemperie ya que tiene un dieléctrico entre los hilos que los protege de un ambiente pesado. No es necesario colocar tubería con la utilización de este cable pero en caso de no contar con este se puede utilizar cable UTP haciéndolo pasar por tubería que sea plástica o galvanizada, la escogencia de una de las dos depende más que todo de precios aunque algunos ingenieros prefieren utilizar tubería plástica debido a que la galvanizada por ser conductora confina la energía electromagnética de los 4 pares de hilos del cable sino se aterriza aunque también mencionan que sirve de malla para que el ruido electromagnético no afecte la señal en el UTP siempre y cuando la tubería esté aterrizada.

Después de realizar todo el proceso de instalación, se deben hacer pruebas entre las estaciones utilizando el comando *ping* para comprobar que los retardos no sean muy altos y que no se pierdan paquetes

4.1 EJEMPLO DE UNA RED METROPOLITANA INALÁMBRICA EN LA BANDA DE 2.4 GHz UTILIZANDO DSSS



Soluciones Pampers cuenta con una aplicación de software contable para la administración del inventario de mercancía, esta carga en la base de datos que administra Tecnologías Pingu la información contable diaria. Todos los días se tiene que acceder a la información almacenada en los servidores.

Tecnologías Pingu se encuentra a una distancia de 7 Km de Soluciones Pampers. La línea de vista entre estas se encuentra obstruida por la Catedral de la ciudad de Cartagena. Para conectar las empresas se presentó la siguiente solución de red.

Se realizó un radioenlace en la banda de los 2.4 GHz utilizando DSSS. Este consiste en ubicar una repetidora en la catedral de manera que la señal pueda llegar a ambas empresas. El primer paso para la realización del radioenlace fue negociar con el padre Arol el arriendo que se pagaría por la ubicación de las antenas en el techo de la catedral. Luego de haber llegado a un acuerdo, se procedió a ubicar las antenas en las empresas Soluciones Pampers y Tecnologías Pingu. Para hacerlo se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones.

Soluciones Pampers es un edificio de 4 pisos donde cada uno de estos mide 3.5 m, Tecnologías Pingu cuenta con una altura de 4 pisos donde cada uno mide 4 m. Para la catedral se exigió que las antenas no se vieran mucho. Por lo tanto se ubicarán a una altura máxima de 3 m sobre el techo de esta. La altura de la catedral en este punto es de 15.7 m.

Se procedió a medir las distancias entre soluciones Pampers y la catedral y de esta a Tecnologías Pingu. Los resultados fueron:

Soluciones Pampers – Catedral: 3.7 Km

Catedral – Tecnologías Pingu: 4.1 Km.

Luego se procedió a calcular la altura de a la que serían ubicadas las antenas teniendo en cuenta la curvatura de la tierra y la Zona de Fresnel de la siguiente manera:

- ✓ Para la Zona de Fresnel:

$$R_n = 17.3 \sqrt{\frac{n}{F(\text{GHz})} \left(\frac{d_1 * d_2}{d_1 + d_2} \right)}$$

En donde: $n = 1$ (por ser la primera Zona de Fresnel)

$F = 2.412 \text{ GHz}$

Como no hay obstáculos entre la catedral y Soluciones Pampers se tomarán las distancia d_1 y d_2 como la mitad de la distancia total entre estos establecimientos para poder utilizar la expresión anterior. Así:

$d_1 = 1.85 \text{ Km}$

$d_2 = 1.85 \text{ Km}$

El radio de Fresnel equivale a $R_n = 10.30 \text{ m}$, pero como solo nos interesa el 60 %, entonces $R_n = 6.18 \text{ m}$.

✓ Curvatura de la tierra:

$$h = \frac{d_1 * d_2}{12.75 * k}$$

donde;

$d_1 = 1.85 \text{ Km}$.

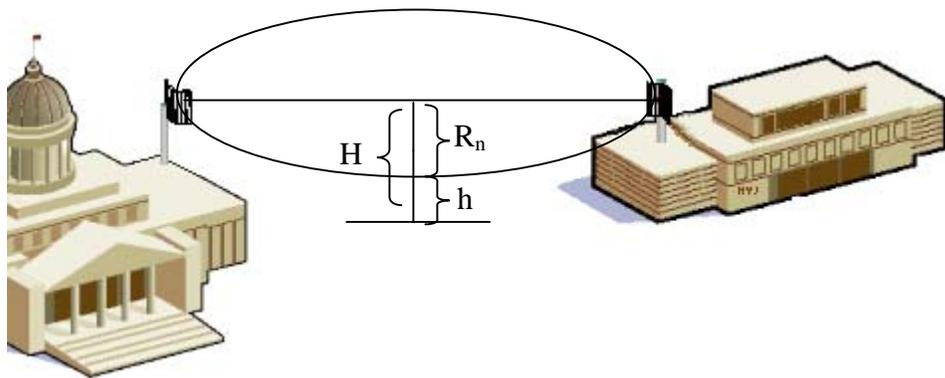
$d_2 = 1.85 \text{ Km}$.

$k = 4/3$

En donde $h = 0.2 \text{ m}$.

Entonces la altura mínima a la que la señal debe pasar sobre la tierra es

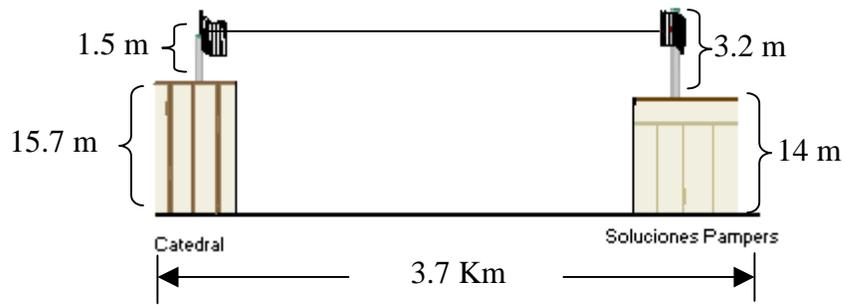
$$H = 0.2 \text{ m} + 6.18 \text{ m} = 6.38 \text{ m}$$



La altura donde se ubicará la antena en la Catedral es de 15.7 m y la altura del edificio es de 14 m, por lo tanto no se necesita de gran altura en las antenas para poder pasar el límite de los 6.38 m en altura. Por lo tanto se escogen los mástiles de la siguiente manera: para la catedral se escoge un mástil de 1.5 m teniendo en cuenta que no debe sobrepasar los 3 m exigidos por el padre y para soluciones Pampers se usará un mástil de 3.2 m calculado así:

$$h_{SP} = (15.7 \text{ m} + 1.5 \text{ m}) - 14 = 3.2 \text{ m}$$

En donde h_{SP} es lo que le falta a la antena de soluciones Pampers para estar al mismo nivel de altura de la antena de la catedral.



es así como la señal viajará en línea recta debido a que de esta manera no hay obstáculo que obstruya la trayectoria de la señal como se mencionó anteriormente.

Ahora procedemos a realizar el cálculo de la ganancia de las antenas:

$$A = G_s - F_m - L_p - L_f - L_b \quad (1)$$

En donde $G_s = 80$ db (El ministerio exige que sea mayor de 10 db).

Se escoge la ganancia de 80 db para asegurar el funcionamiento del radioenlace.

El margen de desvanecimiento F_m se calcula así:

$$F_m = 30 \log D + 10 \log (6ABF) - 10 \log (1-R) - 70$$

En donde $D = 3.7$ Km

$A = 4$ (Para terreno parejo)

$B = 0.5$ (Para áreas calientes y húmedas)

$R = 99.99$ % (Confiabilidad del sistema)

$$F = 2.412 \text{ GHz}$$

$$F_m = -78.33 \text{ db.}$$

Ahora se calcula la perdida de trayectoria en el espacio libre:

$$L_p = 92.4 + 20 \log F + 20 \log D$$

En donde $D = 3.7 \text{ Km}$

$$F = 2.412 \text{ GHz}$$

$$L_p = 111.4 \text{ db.}$$

Cálculo de las perdidas por acoplamiento

Los acoples en la instalación son: Acople por Lighting protector = 2db y Acople por conectores para coaxial BNC = 0.25 db

Entonces:

$$L_b = 2 \text{ db} + (0.25 * 2) \text{ db}$$

$$L_b = 2.5 \text{ db.}$$

Las pérdidas de la fuente se deben a la cantidad de cable coaxial que se utilice, en este caso se utilizará cable coaxial LMR 400. Se usará un radio Outdoor, por lo tanto el cable coaxial tendrá una distancia máxima de 1 m. La atenuación para esta distancia es $L_f = 0.22$ db, para obtener este valor hay que remitirse a las especificaciones técnicas del fabricante.

Reemplazando en (1) tenemos:

$$A = 80 \text{ db} + 78.33 - 111.4 \text{ db} - 0.22 \text{ db} - 2.5 \text{ db}$$

$$A = 44.21 \text{ db}$$

Obtenemos el resultado total de la ganancia de las dos antenas, procedemos ahora a la escogencia de las mismas así:

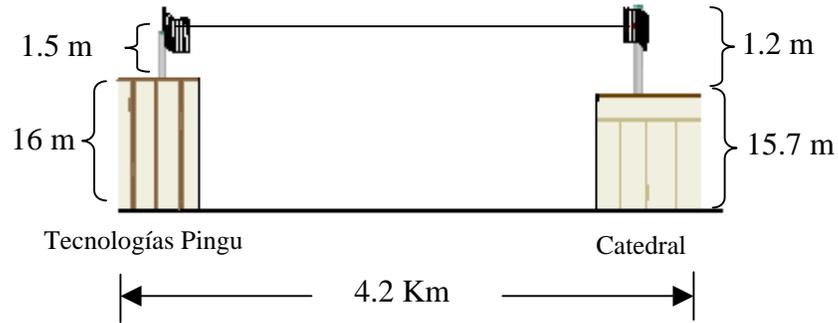
$$(A / 2) = 22.105 \text{ db} \quad (\text{por antena})$$

Por efectos comerciales se escoge la ganancia directiva inmediatamente mayor a la calculada, entonces se usaran antenas de 24 dbi (Grillas). Para estas antenas la nueva ganancia del sistema es 83.8 db.

Para el cálculo de la altura de las antenas y la ganancia directiva del radioenlace entre la catedral y Tecnologías Pingu, se realiza el procedimiento anterior aplicando las respectivas expresiones, de donde obtenemos como resultados:

$h_{TP} = 1.5 \text{ m.}$ (Mástil Tecnologías Pingu)

$h_{C2} = 1.2 \text{ m.}$ (Mástil Catedral)



Las ganancias directivas de las antenas serán de 24 dbi (Grillas) utilizando 1 metro de cable coaxial LMR 400, dos conectores BNC y 1 Lighting Protector.

Costos

A continuación se presentan los costos en los que se incurrió para este radioenlace:

Equipo	Cantidad	Valor unitario	Total
Antenas 24 dbi	4	90 US	360 US
Radio Outdoor	4	220 US	880 US
Cable LMR 400	1	120 US	120 US
Cable eléctrico	100 m	4000 ML	400.000 ML
Mástiles	4	20.000 ML	80.000 ML
Cable UTP CAT 5	1	216.000 ML	216.000 ML
Lighting protector	4	19 US	76 US
Conectores BNC	16	11 US	176 US
RJ 45	6	500 ML	3.000 ML
Tierra	4	40.000 ML	160.000 ML
Cable eléctrico número 2	100 m	3300 ML	330.000 ML
Accesorios eléctricos	4 Estaciones	6000 ML	24.000 ML

Considerando que 1 dólar equivale a 3000 pesos, el proyecto tendría un costo total aproximado de \$ 6'049.000 ML

5. CONCLUSIONES

Al pensar en una red metropolitana inalámbrica, el proceso de instalación es una de las etapas más importantes y decisivas ya que de él depende el funcionamiento de ésta. Existen factores que determinan el funcionamiento de los radioenlaces pero no todos los afectan en gran medida. En nuestra región algunos son más determinantes que otros, la atenuación que depende de la distancia que haya entre los puntos a enlazar es uno de ellos. Para disminuirla, se deben escoger las antenas con ganancia directiva apropiada y en el peor de los casos utilizar alguna amplificación extra, no mayor de 1 W.

Generalmente se requiere que el enlace radioeléctrico tenga una ganancia muy por encima de lo que en realidad se necesita para que funcione, pero vale la pena resaltar que al instalar antenas con altas ganancias directivas, mayores de 24 dbi, se está causando un gran ruido electromagnético en el ambiente debido a la concentración de energía del lóbulo de la antena. Además, si se usa amplificación adicional a la del radio, se crea una barrera para futuros radioenlaces de ese tipo causando problemas como el nodo escondido o interferencia electromagnética.

Un enlace con mayor potencia que se encuentren en la misma banda y en las cercanías de otro enlace de puede dañar otros radioenlaces, por esta razón se deben utilizar este tipo de

dispositivos solo si el enlace realmente lo requiere, pero en lo posible se debe evitar usar amplificación extra por la “barrera electromagnética” que se crea con estos.

La reflexión es otro de los factores determinantes. Generalmente se da por el lugar donde se haya ubicado la antena, ya que en cualquier punto de la trayectoria de la señal, esta puede chocar con algún tipo de material conductor que la haga reflejar causando que no llegue a la antena receptora. Las grandes torres y las grúas son los que comúnmente causan este tipo de problemas. Este factor está ligado a la línea de vista entre antenas por tal razón es importante ubicar la antena teniendo en cuenta la existencia de obstáculos que puedan llegar a interrumpir la señal o peor aún a reflejarla.

Otro de los factores más significativos en radioenlaces en la banda de 2.4 GHz es el ruido electromagnético. En nuestra región los más comunes son el ruido atmosférico y el causado por el hombre. Estos causan gran interferencia en la señal, la técnica de Espectro Ensanchado en Secuencia Directa (DSSS) fue desarrollada para trabajar en ambientes con ruido, inclusive con tormentas eléctricas puesto que la redundancia le permite asegurar que no haya pérdida de datos, pero también tiene un límite. El ruido es un problema grande en estos enlaces, generalmente el problema más común de ruido es el causado por enlaces del mismo tipo por lo fácil que es adquirir equipos que trabajen en 2.4 GHz en DSSS. Además, la falta de regulación por parte del ministerio de comunicaciones ocasiona que cualquiera pueda hacer radioenlaces en la banda de 2.4 GHz incrementando el ruido electromagnético en nuestra región.

La salinidad de nuestro ambiente es otro factor que afecta antenas, conectores, herrajes, mástiles, torres, tuberías, cables por esa razón se prefiere utilizar antenas, herrajes, mástiles y tuberías galvanizados además de usar pintura retardante para oxido. Los conectores deben protegerse para evitar que se sulfaten y pierdan sus propiedades conductoras. Además, los cables deben ser intemperie en caso de que estén expuestos al medio ambiente ya que de lo contrario durarían poco y causarían pérdida en sus propiedades aumentando su capacidad de atenuar señales.

En los enlaces DSSS la escogencia del radio Outdoor o Indoor es importante porque define la potencia radiada por la antena. El criterio que se utiliza para definir la ubicación del radio es la potencia de salida que necesite el radio para que pueda enlazarse con el punto remoto. Al escoger un radio Outdoor se pierde menos potencia de la señal de RF en cable coaxial, mientras que para ubicar un radio Indoor generalmente se utiliza más cable coaxial presentándose atenuación en la señal de RF causando que la potencia de salida radiada por la antena sea menor comparada con la de un radio Outdoor. Es importante resaltar que un radio Indoor no va a estar expuesto a la intemperie por lo tanto va a estar protegido y que aunque un radio Outdoor está diseñado para ambientes pesados corre más riesgos que los Indoor.

La legislación en nuestra región es bastante estricta a pesar de que la banda de 2.4GHz es libre, el ministerio de comunicaciones colombiano vela porque ningún sistema de comunicaciones sea afectado por otro, por lo tanto todo radioenlace debe ser avalado por el este ente público.

La ubicación de la antena es un aspecto importante a considerar debido a que de este depende que el radioenlace funcione. Los factores más influyentes son la relación señal a ruido (SNR) y la pérdida de paquetes. La SNR depende de la amplificación del enlace tanto local como remoto, por esta razón solo en el peor de los casos se utilizará amplificación extra a la del radio. Es importante recordar que la única señal que podemos mejorar es la señal de RF porque siempre habrá ruido electromagnético y es poco probable que este disminuya a menos que por ejemplo sea causado por otros enlaces radioeléctricos y algunos de estos sean desmontados permitiendo así que los niveles de ruido disminuyan. La pérdida de paquetes es otro aspecto que se puede mejorar en un radioenlace alineando las antenas transmisoras y receptoras al punto en que no haya pérdida de paquetes en el enlace.

Las redes metropolitanas inalámbricas se caracterizan por la rapidez de la instalación, porque no es necesario realizar obras civiles complejas para la realización de un enlace y son seguras. Aunque no ofrecen las velocidades de las redes alambradas, se están desarrollando estándares que siguen aumentando el ancho de banda para los enlaces radioeléctricos y se puede enlazar redes a grandes distancias sin la necesidad de incurrir en gastos excesivos. Todas estas ventajas hacen que estos enlaces se estén utilizando con mayor frecuencia para redes MAN sobre los enlaces con cable (generalmente Fibra Óptica).

6. RECOMENDACIONES

La seguridad para las redes inalámbricas es importante en el desarrollo de implementaciones inalámbricas. Una red ante todo debe ser segura puesto que la información que fluye a través de esta es de carácter privado y se han desarrollado mecanismos que permiten mantenerla protegida y segura ante cualquier ataque de un intruso que desee ingresar. Hay que recordar que se puede irrumpir en una red inalámbrica “enlazándose” con equipos wireless por esta razón se hace importante desarrollar este tema.

Por otra parte, teniendo en cuenta que los equipos utilizados para redes wireless son de suma importancia porque son los que finalmente permiten el enlaces entre redes, se hace necesario encontrar mejores alternativas en equipos wireless teniendo en cuenta factores tales como el ambiente y tráfico que van a soportar, material y diseño de las antenas, atenuación en los cables, etc. De esta manera se lograría una variedad amplia de alternativas de donde escoger equipos para armar redes inalámbricas.

BIBLIOGRAFÍA

WAYNE, Tomasi. Sistemas de comunicaciones electrónicas. 2ª. edición. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación, 1996.

TANENBAUN, Andrew. Local and metropolitan area networks. 4ª edición. New Jersey: Prentice Hall, 1990.

HALSALL, Fred. Comunicación de datos, redes de computadoras y sistemas abiertos. 4ª edición. New Jersey: Addison Wesley, 1998.

<http://www.alcalawireless.com/docs/trabajo%20redes%20inalmbricas.pdf>: presenta información sobre el funcionamiento de las redes inalámbricas en general.

http://www.wavewireless.com/products/product/speedlan/ph9000/9000_Spanish.pdf: especificaciones técnicas de dispositivos wireless.

<http://greco.dit.upm.es/~david/TAR/trabajos2002/11-Wireless-Gregorio-Robles.pdf>: información acerca de tecnologías wireless.

<http://www.abcdatos.com/tutoriales/redes/inalambricas.html>: las redes inalámbricas y sus ventajas

<http://www.monografias.com/trabajos/redesinalam/redesinalam.shtml>: información sobre técnicas de modulación de señales.

<http://members.fortunecity.es/navaswireless/historia.htm>: historia y evolución de las redes inalámbricas.

http://www.eveliux.com/articulos/internet_inal.html: artículos sobre redes metropolitanas inalámbricas.

ANEXOS

ANEXO A

RESOLUCION NUMERO 3382 15 Diciembre de 1995

Por la cual se autorizan sistemas que operan con tecnología de espectro ensanchado

EL MINISTERIO DE COMUNICACIONES

En uso de las facultades legales y en especial las que le confiere la ley 72 de 1989, los Decretos 1900 de 1990, la Ley 80 de 1993 y

C O N S I D E R A N D O :

Que el decreto Ley 1990 de 1990, en su artículo 5 estipula que el Gobierno Nacional, a través del Ministerio de Comunicaciones, ejercerá las funciones de planeación, regulación y control de las telecomunicaciones.

Que el artículo 18 del mismo Decreto, establece que el espectro electromagnético es de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inenajenable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control corresponde al Ministerio de Comunicaciones.

Que el artículo 19 del mismo decreto, determina que las facultades de gestión, administración y control del espectro electromagnético comprende; entre otras las actividades de planeación, asignación de frecuencias y adopción de medidas tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro radioeléctrico.

Que los sistemas que utilizan la tecnología de espectro ensanchado (Spread SPECTRUM), son sistemas de banda ancha, caracterizándose por transmisiones de baja densidad de potencia, que minimizan la posibilidad de interferencia.

Que los sistemas de espectro ensanchado brindan la posibilidad de coexistir con sistemas tradicionales de banda angosta, mejorando la utilización del espectro radioeléctrico.

Que los sistemas de espectro ensanchado poseen una notable inmunidad a las interferencias provenientes de emisiones similares o de sistemas convencionales de banda angosta.

Que se hace necesario la regulación de estos sistemas.

En mérito a lo anterior,

RESUELVE :

ARTICULO 1º: DEFINICION DE LOS SISTEMAS DE ESPECTRO ENSANCHADO. Un sistema de Espectro Ensanchado se define como aquel en el que la energía media de la señal transmitida se reparte sobre un ancho de banda mucho mayor del ancho de banda de la información, empleando un código independiente al de los datos.

Características Generales: Son sistemas que básicamente presentan entre otras, las siguientes características:

1. Un mayor ancho de banda de transmisión, con una densidad espectral de potencia más baja, y un mayor rechazo a las señales interferentes que operan en la misma banda de frecuencias.
2. Ofrecen la alternativa de compartir el espectro con sistemas de banda angosta convencionales, debido a la posibilidad de transmitir una potencia inferior en la banda de paso de los receptores de banda angosta; además permiten rechazar altos niveles de interferencias.

3. La señal transmitida resultante es una señal de baja densidad de potencia y de banda ancha que se asemeja al ruido.

4. Proporcionan inherentemente un mayor grado de seguridad con respecto a los sistemas convencionales, así como a otros sistemas de espectro ensanchado que utilicen códigos diferentes y ningún procesamiento especial de la señal. La codificación también proporciona una capacidad de direccionamiento selectiva; múltiples usuarios que utilizan códigos diferentes pueden transmitir simultáneamente en la misma banda de frecuencia con una interferencia admisible.

5. Comparados con sistemas de banda angosta, presentan mayor confiabilidad en la transmisión en presencia de desvanecimientos selectivos, permitiendo una utilización eficaz del espectro.

ARTICULO 2º. Modalidades. Comprende entre otros la siguientes: Sistemas de secuencia directa (direc sequence -DS-), los de salto de frecuencia (frequency hopping- FH-) y los sistemas híbridos (FH/DS), que son una combinación de los anteriores.

PARAGRAFO 1: a) Espectro ensanchado por secuencia directa (Direc Sequence). Técnica de estructuración de la señal que utiliza una secuencia pseudoaleatoria digital o código, con una velocidad de transmisión, muy superior a la velocidad de la señal de información. Cada bit de información de la señal digital se transmite como una secuencia pseudoaleatoria de datos codificados, que produce un espectro semejante al ruido.

b) Espectro ensanchado por salto de frecuencia (Frequency Hopping), Técnica de estructuración de la señal que conmuta automáticamente la frecuencia portadora transmitida; proceso que se realiza en forma pseudoaleatoria a partir de un conjunto de frecuencias que ocupa un ancho de banda mucho mayor que el ancho de banda de información.

El receptor correspondiente realiza el “salto” de frecuencia en sincronismo con el código del transmisor para recuperar la información deseada.

c) **Espectro ensanchado híbrido.** Combinación de las técnicas de estructuración de la señal de espectro ensanchado por secuencia directa y por salto de frecuencia.

PARAGRAFO 2: Definiciones Básicas: a. Ancho de banda a “x” dB. Conjunto de frecuencias de una señal considerada en puntos inferior y superior del espectro continuo, inferiores en “x” dB con relación al punto de máxima potencia de referencia cero dB.

2. Ganancia del Proceso: Relación de señal-deseada/señal-interferente de salida del sistema, respecto a la señal-deseada/señal-interferente de entrada.

3. Potencia isotrópica radiada equivalente (p.i.r.e.). Producto de la potencia suministrada a la antena por su ganancia, con relación con una antena isotrópica en una dirección dada.

4. Sistema Punto - a - Punto. Sistema de comunicación que desde un punto específico, emite intencionalmente y en forma direccional su señal para ser recibida solamente por un receptor determinado.

5. Sistema Punto- Multipunto. Sistema de comunicación que desde un punto específico, emite intencionalmente y en forma no-direccional su señal con el fin de ser recibida en más de un receptor, en forma simultánea.

6. Aplicaciones industriales, Científicas y Médicas (ICM). Utilización de equipos destinados a producir y utilizar en un espacio reducido, energía radioeléctrica con fines industriales, científicos y médicos, domésticos o similares, con exclusión de todas las aplicaciones de telecomunicación. Los servicios de radiocomunicaciones que funcionen en las bandas de que trata la presente resolución deberán aceptar la interferencia perjudicial resultante de éstas aplicaciones.

ARTICULO 3°. Bandas de frecuencias. El Ministerio de Comunicaciones podrá autorizar la utilización de sistemas de espectro ensanchado, que operen únicamente en las siguientes bandas de frecuencia:

902 - 924 MHz

2.400 - 2.483,5 MHz

5.725 - 5.875 MHz

PARAGRAFO: El Ministerio de Comunicaciones podrá autorizar en la banda 924 a 928 Mhz., la operación de sistemas de radiolocalización utilizando sistemas convencionales y/o de espectro ensanchado, a los cuales les serán aplicables el régimen y las tarifas correspondientes a los servicios de telecomunicaciones. El Ministerio de Comunicaciones podrá autorizar la operación de sistemas de espectro ensanchado en otras bandas de frecuencia, cuando las condiciones lo ameriten.

ARTICULO 4°. - Características esenciales de los sistemas de Espectro Ensanchado.

Serán características esenciales para los sistemas que utilicen la tecnología de espectro ensanchado, las siguientes:

1. Para las estaciones remotas y los enlaces punto a punto, la potencia pico máxima de salida de un transmisor no debe exceder a un (1) vatio. Las antenas deben ser direccionales con un ancho de lóbulo no mayor de 60°.

2. Para sistemas de radiolocalización se permiten transmisores de máximo cinco (5) vatios de potencia de salida, utilizando antenas omnidireccionales.

3. La potencia isotrópica radiada equivalente (p.i.r.e.). máxima autorizada será de 36 dBm (6 dBW).

4. La intensidad de campo de emisiones procedentes de sistemas de espectro ensanchado, tendrán los siguientes límites (especificados para una distancia de 3 mts.):

Frecuencia Fundamental	Intensidad de campo de la fundamental (mW/metro)	Intensidad de campo de las armónicas (microvolts/metro)
902 – 924 MHz	50	500
2400 – 2483,5 MHz	50	500
5725 – 5850 MHz	50	500

5. Emisiones radiadas fuera de los límites de frecuencia especificados, excepto para las armónicas, deben tener una atenuación de por lo menos 50 dB por debajo del nivel de la fundamental.

6. Para frecuencias superiores a 1000 MHz, los límites superiores de intensidad de campo están basados en valores promedios. Sin embargo, la intensidad de campo pico de cualquier emisión no debe exceder los límites promedio máximos permitidos especificados en el numeral 4, en más de 20 dB para cualquier modalidad.

7. Los sistemas de salto de frecuencias deben tener canales intercalados con frecuencias portadoras separadas por un mínimo de 25 KHz. o un ancho de banda a 20 dB en el canal de intercalación.

8. En los sistemas de salto de frecuencia, cada frecuencia tiene que ser igualmente usada en promedio por cada transmisor. Los receptores del sistema pueden tener entradas con anchos de banda que igualen los anchos de banda de los canales intercalados de su correspondiente transmisor y deben emitir las frecuencias de sincronización dentro del ancho de banda asignado, para los sistemas de espectro ensanchado.

9. Los sistemas de salto de frecuencia que operan en la banda de 902-924 MHz deben usar por lo menos 50 frecuencias de intercalamiento. El ancho de banda máximo permitido a 20 dB del canal de salto, corresponde a 500 KHz. El tiempo promedio de ocupación de cualquier frecuencia no debe ser mayor que 0,4 segundos dentro de un periodo de 20 segundos.

10. Los sistemas de salto de frecuencia que operan en las bandas 2.400 -2.483,5 MHz y 5.725 - 5.850 MHz, deben usar por lo menos 75 frecuencias de intercalamiento. El ancho de banda a 20 dB máximo permitido del canal de intercalación corresponde a 1 MHz. El tiempo promedio de ocupación de cualquier frecuencia no debe ser mayor que 0.4 segundo dentro de un periodo de 30 segundos.

11. Para sistemas de secuencia directa el ancho de banda a 6 dB, debe ser por lo menos 500 KHz.

12. En la modalidad de secuencia directa, para cualquier ancho de banda de 100 KHz fuera de estas bandas de frecuencias, la potencia de radiofrecuencia que se obtiene por los productos de modulación de la secuencia de ensanchamiento, la secuencia de información y la frecuencia portadora, deberá estar, o bien por lo menos 20 dB por debajo para cualquier ancho de banda de 100 KHz dentro de la banda de trabajo que contenga el nivel más alto de la potencia deseada, o no exceder los siguientes niveles medidos a una distancia de 3 m:

Por debajo de 960 MHz., intensidad de campo de 200 uV/m.

Por encima de 960 Mhz., Intensidad de campo de 500 uV/m.

13. Para sistemas de secuencia directa, la densidad de potencia promedio transmitida en cualquier intervalo de 1 segundo no debe ser mayor que 8 dBm en cualquier ancho de banda de 3 KHz, dentro de las bandas autorizadas.

14. La ganancia de proceso para un sistema de secuencia directa debe ser al menos de 10 dB.

15. Los sistemas híbridos que usan una combinación, de secuencia directa y saltos de frecuencias, deben alcanzar una ganancia de proceso de por lo menos 17 dB al combina los dos sistemas.

ARTICULO 5°. OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ESPECTRO ENSANCHADO. El Ministerio de Comunicaciones, podrá registrar y autorizar la posterior utilización de los sistemas de espectro ensanchado, que cumplan además de las condiciones anteriores, las siguientes :

Topología. Los sistemas de espectro ensanchado en cualquiera de sus modalidades, podrán ser utilizados únicamente en las siguientes tipologías:

1. Sistemas fijos punto a punto, en cualquier modalidad.

2. Sistemas fijos punto-multipunto, operando únicamente en la modalidad de saltos de frecuencia o híbridos.

3. Sistemas fijos punto-multipunto, que operan en la modalidad secuencia directa, únicamente para áreas rurales.

4. Los sistemas de espectro ensanchado para utilización exclusiva dentro de edificaciones y áreas conexas, para aplicaciones de redes de área local (LAN).

ARTICULO 6°. Condiciones de operación. La operación de los sistemas de espectro ensanchado está condicionada a la autorización previa del Ministerio de Comunicaciones y a no causar interferencia a otros sistemas convencionales autorizados o por autorizar.

El Ministerio de Comunicaciones autorizará la operación de los sistemas de espectro ensanchado a título secundario, por lo tanto éstos sistemas :

No deben causar interferencia perjudicial a las estaciones de un servicio primario o de un servicio permitido a las que se le hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.

No pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicios primario o de un servicio permitido a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.

PARAGRAFO 1: Dentro de un área de servicio, se autorizará un máximo de seis (6) sistemas.

PARAGRAFO 2: Se podrán suspender, la utilización de uno o varios enlaces y de una estación base de sistemas de espectro ensanchado, con el fin de verificar si producen o no interferencia; su operación solo podrá reanudarse, hasta tanto quede plenamente demostrado que no generan interferencia.

ARTICULO 7°. Longitud de los enlaces. La máxima longitud de cualquier enlace que utilice técnicas de espectro ensanchado en el caso de áreas urbanas, no podrá exceder de las especificadas en la siguiente tabla:

PARAGRAFO 1 : Se consideran enlaces y estaciones urbanas, aquellos en los que al menos una de las estaciones del enlace esta dentro de un perímetro urbano.

PARAGRAFO 2 : La ubicación de estaciones en cerros, montes, montañas y en general sobre cualquier elevación natural, serán estudiados como casos particulares por el Ministerio de Comunicaciones.

PARAGRAFO 3 : Los sistemas podrán ajustar la potencia hasta el máximo indicado en el numeral 3 del artículo 4, de esta Resolución, para garantizar la longitud expresada.

ARTICULO 8º El Ministerio de Comunicaciones podrá autorizar equipos de espectro ensanchado, para ser utilizados como elementos de la red Telefónica pública conmutada, en la prestación del servicio telefónico fijo domiciliario por parte de los operadores autorizados y en la prestación de estos servicios en las bandas aquí estipuladas y en las resoluciones 2856 del 26 de diciembre de 1994, 993 del 10 de abril de 1995 y 2901 del 10 de noviembre de 1995.

ARTICULO 9º. HOMOLOGACION. El Ministerio de Comunicaciones, homologará los equipos a utilizar, con la tecnología de espectro ensanchado.

ARTICULO 10º. Las modificaciones de la ubicación y de las características técnicas de operación indicadas en el formulario de registro, requieren de autorización previa del Ministerio de Comunicaciones, la cual se podrá otorgar solo si los nuevos parámetros se ajustan a lo establecido en la presente resolución.

PARAGRAFO : La modificación de la ubicación de las estaciones remotas, no requiere de autorización previa del Ministerio de Comunicaciones, siempre y cuando se conserven las longitudes máximas de que trata el artículo 7, de esta resolución.

ARTICULO 11º. FORMULARIO DE REGISTRO. Los interesados en instalar sistemas de espectro ensanchado en el territorio nacional, deberán presentar debidamente diligenciado el formulario que para el efecto ha diseñado el Ministerio de Comunicaciones, con el objeto de registrar el sistema.

El proceso de registro y posterior autorización de la instalación de los sistemas, tendrá una validez de un (1) año calendario; el cual podrá renovarse anualmente, actualizando la información.

El Ministerio de Comunicaciones dispondrá en forma permanente de una base de datos actualizada, para consulta pública de los registros de sistemas de espectro ensanchado.

ARTICULO 12°. VALOR DEL REGISTRO. Los usuarios de sistemas de espectro ensanchado, deberán cancelar una suma por conceptos de derechos del registro y uso del espectro radioeléctrico, a nombre del FONDO DE COMUNICACIONES, dentro de los treinta (30) días siguientes a la fecha de aprobación del registro, si dentro de este tiempo no se cancelan los derechos, automáticamente se cancelara la autorización. Esta suma será la que resulte de la siguiente formula :

$$\text{VALOR REGISTRO (\$)} = K * \frac{AB(\text{MHz}) * SMLM (\$)}{5.2\text{MHz}}$$

Donde:

K = 2, para uso en edificaciones y zonas conexas.

K = 3, para enlaces punto a punto.

K = 10 para enlaces punto multipunto

AB Ancho de banda total a utilizar, en MHz.

SMLM Salario mínimo legal mensual en pesos colombianos

* Signo de multiplicación

K Factor de multiplicación

PARAGRAFO 1 : Las prorrogas, pagaran por anualidades los derechos que resulten de aplicar la anterior formula.

PARAGRAFO 2 : Las modificaciones que requieran permiso previo del Ministerio de Comunicaciones, pagaran dos (2) salarios mínimos legales mensuales.

ARTICULO 13°. SOLICITUDES DE REGISTRO. Dentro de los 60 días siguientes a la fecha de vigencia de la presente Resolución, el Ministerio de Comunicaciones recibirá las solicitudes de sistemas de espectro ensanchado, para su estudio, dentro de los 30 días siguientes comunicara a los interesados los resultados pertinentes.

Para tales efectos el interesado deberá presentar los estudios de propagación correspondientes con los datos necesarios en cuanto a ubicación, distancia a cubrir,

potencia, cantidad de estaciones, etc., a la Dirección de Telecomunicaciones y Servicios Postales.

Las solicitudes presentadas con posterioridad a los 60 días, se resolverán teniendo en cuenta los resultados de los estudios técnicos, efectuados a las solicitudes presentadas en el periodo inicial.

Las solicitudes de prórroga, se aprobarán en los términos de ley.

ARTICULO 14°. MULTAS Y SANCIONES. Las multas y sanciones por el incumplimiento de las normas técnicas y al presente reglamento serán las previstas en los artículos 50 y 53 del Decreto Ley 1900 de 1990-

ARTICULO 15°. La presente resolución rige a partir de su publicación y deroga las normas que le sean contrarias.

PUBLIQUESE Y CUMPLASE

Dada en Santafé de Bogotá, a los 15 DIC 1995

EL MINISTERIO DE COMUNICACIONES

ARMANDO BENEDETTI JIMENO

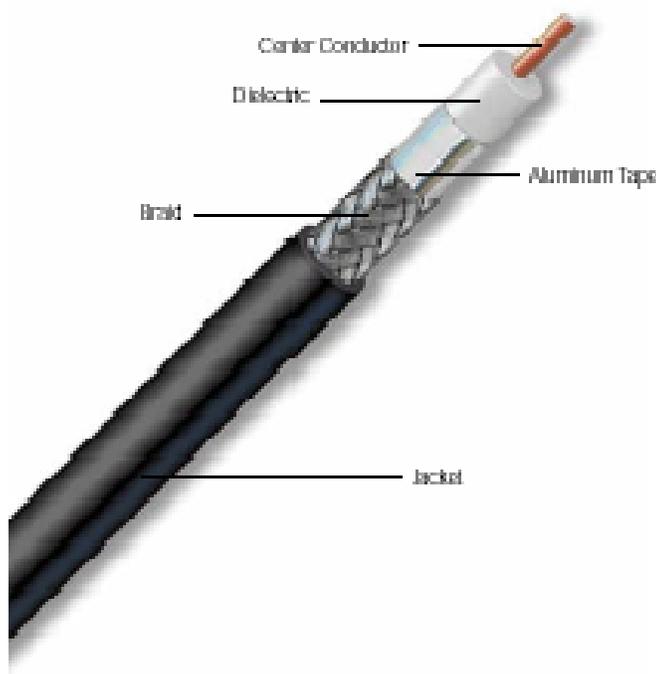
EL SECRETARIO GENERAL

ARNALDO MENESES RUMIE

ANEXO B

WBC-400 & WBC-400R

50 Ohm Coaxial Cable



Cable Construction

Center Conductor	
Copper/Aluminum	
Nominal Diameter	0.108"

Dielectric	
Formed PE	
Diameter Over Dielectric	0.285" Nominal

Shield	
Diameter over Tape	0.291" Nominal
Foil	Aluminum/Poly tape
Braid Coverage	90%
Braid	34 AWG Tin/Copper
Shield Diameter	0.320" Nominal

Jacket	
PE or FR-PVC (CMR/CATV/R fire rated)	
Diameter over Jacket	0.405" ± 0.005"
Jacket Thickness	0.043" Nominal

Mechanical Properties

Minimum Bend Radius	2" min. or 50mm
Operating Temperature Rating	-40°C to 85°C (PE) -20°C to 60°C (PVC)
Tensile Strength	72.6 kg or 160 lbs
Cable Weight	0.068 lbs./ft. Nom.

Attenuation

@ Frequency MHz:	dB/100 ft. (nom)	Power Handling
30MHz	0.70 dB	3.30KW
50MHz	0.90 dB	2.60KW
150MHz	1.50 dB	1.50KW
220MHz	1.90 dB	1.20KW
450MHz	2.70 dB	0.83KW
900MHz	3.90 dB	0.58KW
1500MHz	5.10 dB	0.44 KW
1900MHz	5.82 dB	0.38KW
2000MHz	6.00 dB	0.49KW
2500MHz	6.80 dB	0.43KW

Specifications subject to change. All values are nominal.

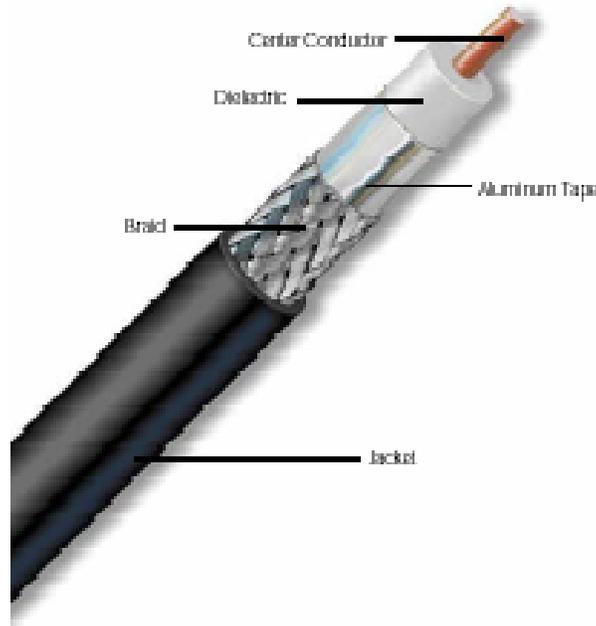
Electrical Properties

Jacket Spark	4000 VAC
Dielectric Strength	
Conductor to Shield	3 Sec. @ 7500 VDC
Capacitance	23.9 pF/ft. Nominal
Impedance	50.0 ± 2.0 Ohms
Velocity of Propagation	85.0% Nominal
DCR	
Conductor	1.32 Ohms/1000ft.
Shield	2.10 Ohms/1000ft.
Cutoff Frequency	16.2 GHz
Insulation Resistance	100,000 Mohm-1000 ft.
Peak Power	16.0 kW

WBC is a registered trademark of Comstar, Inc. of North Carolina

WBC-600 & WBC-600R

50 Ohm Coaxial Cable



Cable Construction

Center Conductor	
Copper/Aluminum	
Nominal Diameter	0.176"

Dielectric	
Foamed PE	
Diameter Over Dielectric	0.455" Nominal

Shield	
Diameter over Tape	0.461" Nominal
Foil	Aluminum/Poly Tape
Braid Coverage	90%
Braid	34 AWG Tin/Copper
Shield Diameter	0.490" Nominal

Jacket	
PE or FR-PVC (CMR/CATV rated)	
Diameter over Jacket	0.590" ± 0.003"
Jacket Thickness	0.050" Nominal

Mechanical Properties

Minimum Bend Radius	3" min. or 76mm
Operating Temperature Rating	-40°C to 85°C (PE) -20°C to 60°C (PVC)
Tensile Strength	158.9 kg or 350 lbs
Cable Weight	0.131 lbs./ft. Nom.

Attenuation

Frequency MHz	dB/100 ft. (nom)	Power Handling
30MHz	0.42 dB	5.50KW
50MHz	0.55 dB	4.30KW
150MHz	1.00 dB	2.40KW
220MHz	1.20 dB	1.90KW
450MHz	1.70 dB	1.30KW
900MHz	2.50 dB	0.93KW
1500MHz	3.30 dB	0.70KW
1900MHz	3.79 dB	0.61KW
2000MHz	3.90 dB	0.59KW
2500MHz	4.40 dB	0.52KW

Specifications subject to change. © 2004 WBCOMM.

Electrical Properties

Jacket Spark	4000VAC	
Dielectric Strength		
Conductor to Shield	3 Sec. @ 2500VDC	
Capacitance	23.4 pF/ft. Nominal	
Impedance	50.0 ± 2.0 Ohms	
Velocity of Propagation	87.0% Nominal	
DCR	Conductor	0.55 Ohms/1000ft.
	Shield	1.30 Ohms/1000ft.
Cutoff Frequency	16.2 GHz	
Insulation Resistance	100,000 Mohm-1000 ft.	
Peak Power	10.3 kW	

WBC is a registered trademark of Comstar, Inc. of North Carolina.

HG2416P 2.4 GHz 15.5 dBi Flat Planar Array Antenna

The HG2416P is a high gain planar array antenna designed specifically for IEEE 802.11b and 802.11g applications in the 2.4 GHz ISM band. It offers superior performance in a compact and easy to install package. This antenna's innovative reflector system provides excellent front-to-back ratio, significantly reducing background noise and interference.

This antenna is ideal for use at subscriber sites, and offers a cost-effective CPE (Customer Premise Equipment) solution. It is also suitable for small base station "micro-cell" sites.

Hyperlink's unique design offers a 30% lower profile than similar antennas from other vendors, offering a more compact alternative to yagi or flat patch antennas for medium range point-to-point links.

Features and Options

- o Superior performance
- o Light weight
- o Excellent front-to-back ratio
- o Compact size
- o Minimal wind loading
- o Low wind load
- o 60 degree tilt and swivel mast mount kit
- o Optional tilt and swivel wall mount bracket



Electrical Specifications

Gain (dBi)	15.5 dBi
Polarization Isolation	>30 dBi
Sidelobe Suppression	>18 dBi
-3 dBi Beamwidth	25° Vertical : 25° Horizontal
-10 dBi Beamwidth	45° Vertical : 45° Horizontal
Front/Back Ratio	>30 dBi
Impedance	50 Ohms
VSWR	1.5:1

Wind Loading Data

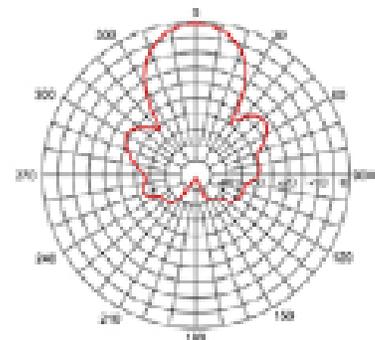
Wind Speed (MPH)	Loading (.82 sq. ft.)
40	5.8 lb.
60	12.8 lb.
80	22.5 lb.
100	35.5 lb.
120	51.7 lb.
140	70.1 lb.

Guaranteed Quality

This product is backed by Hyperlink's Limited Warranty.

Mechanical Specifications

Output Connector	7N type female
Mounting	Up to 2 in. O.D. pipe
Vertical Tilt	0-60° (optional)
Radome	UV-Inhibited ABS
Reflector Type	Planar array
Reflector Material	Aluminum Alloy
Dimensions	10.75" x 11"
Weight - Antenna	2 lb
Weight - Mount	< 0.5 lb



2.4 GHz 12 dBi Radome Enclosed Yagi

Features

- Superior performance
- Light weight
- All weather operation
- 45° beam-width
- Can be installed for either vertical or horizontal polarization
- Includes tilt and swivel mast mount



Model: HG2412Y

Superior Performance

The HyperGain® HG2412Y Radome Enclosed Yagi Antenna features high gain and a 45° beam-width. It is ideally suited for directional and multipoint IEEE 802.11b and 802.11g wireless LANs and other systems operating in the 2.4 GHz ISM band. This antenna features a 12-inch coax lead terminated with a N-Female connector. Special Order Connectors are also available. The unique design of this antenna allows it to be installed for either vertical or horizontal polarization.

Rugged and Weatherproof

This antenna is enclosed within a UV-stable radome for all-weather operation. The HG2412Y antenna is supplied with a 60-degree tilt and swivel mast mount kit.



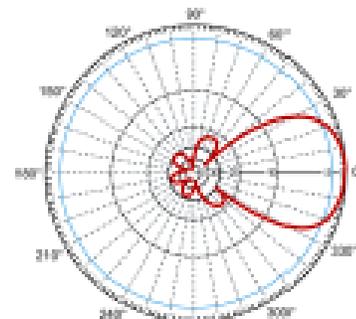
Electrical Specifications

Frequency	2400-2500 MHz
Gain	12 dBi
-3 dB Beam Width	45 degrees
Impedance	50 Ohm
Max. Input Power	50 Watts
VSWR	< 1.5:1 avg.

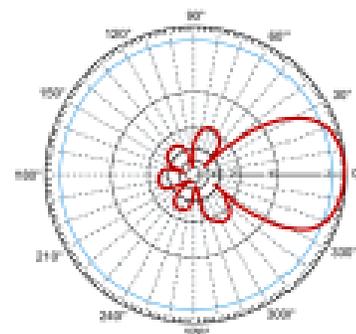
Mechanical Specifications

Weight	1.3 lbs. (.59 kg)
Dimensions Length x Diameter	11.2 x 3 (inches) 284 x 76 (mm)
Radome Material	UV-Inhibited Polymer
Mounting	2" (50.8 mm) dia. mast max.
Polarization	Vertical and Horizontal
Wind Survival	> 150 MPH

Antenna Gain Patterns



Vertical



Guaranteed Quality

This product is backed by Hyperlink's Limited Warranty

HyperGain® HG2424G

2.4 GHz 24 dBi High Performance Reflector Grid Antenna



Superior Performance

The HyperGain® HG2424G High-Performance Reflector Grid Antenna provides 24 dBi gain with an 8 degree beam-width for long-range highly directional applications. It can be installed for either vertical or horizontal polarization.

Rugged and Weatherproof

This antenna's construction features a rust-proof cast aluminum reflector grid for superior strength and light weight. This antenna's 2-piece reflector grid is simple to assemble and significantly reduces shipping costs. The grid surface is UV powder coated for durability and aesthetics. The open-frame grid design minimizes wind loading.

Electrical Specifications

Frequency	2400-2500 MHz
Gain	24 dBi
-3 dBi Beam Width	8 degrees
Cross Polarization Rejection	28 dBi
Front to Back Ratio	24 dB
Sidelobe	-20dB Max
Impedance	50 Ohm
Max. Input Power	50 Watts
VSWR	< 1.5:1 avg.

Mechanical Specifications

Weight	4.8 lbs. (2.18 kg)
Grid Dimensions	39.5 in (100 cm) x 23.5 in (60 cm)
Mounting	2 in. (50.8 mm) diameter mast max.
Elevation Angle	0 to +10 degrees
Operating Temperature	-45° C to +85° C

Wind Loading Data

Wind Speed	Loading (2.1 sq. ft.)
40	16.4 lb.
60	36.3 lb.
80	63.8 lb.
100	97.0 lb.
120	147.0 lb.
140	199.5 lb.

Available Connectors

This antenna is supplied with a 24" pigtail with any of the connectors listed in the tables below. Specify the desired connector by choosing the appropriate part number.

Standard Connectors

The following standard connectors are available from stock:

Connector Type	Part Number
N Female	HG2424G-NF
N Male	HG2424G-NM

Special Order Connectors

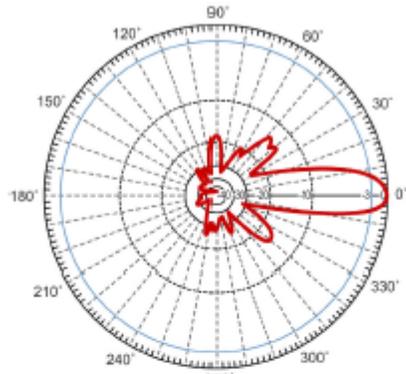
This antenna is also available with any of the following connectors by special order at a nominal additional charge. If you do not see your connector listed please contact our sales department.

Connector Type	Part Number
TNC Female	HG2424G-TF
TNC Male	HG2424G-TM
Reverse Polarity TNC Female	HG2424G-RTF
Reverse Polarity TNC Male	HG2424G-RTM
Reverse Polarity N Female	HG2424G-RNF
Reverse Polarity N Male	HG2424G-RNM
SMA Male	HG2424G-SM
Reverse Polarity SMA Female	HG2424G-RSF

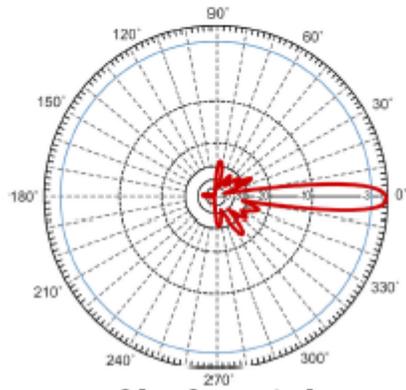
Guaranteed Quality

This product is backed by Hyperlink's Limited Warranty.

Radiation Patterns



Vertical



Horizontal