

621.382
MAL



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electrónica y Computación

“ESPECTRO ENSANCHADO: ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED PARA EL CASCO COMERCIAL DE GUAYAQUIL Y REALIZAR UN ANÁLISIS COMPARATIVO SOBRE EL MARCO REGULATORIO NACIONAL E INTERNACIONAL”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD
Especialización: Electrónica**

Presentado por:

**SUSANA ANDREA MALDONADO FLORENCIA
JONATHAN ALFREDO ARIAS TORRES**

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO

2002



AGRADECIMIENTO



ING. WASHINGTON MEDINA,
Director de Tesis por su gran
ayuda y colaboración en la
realización de este proyecto.

DEDICATORIA

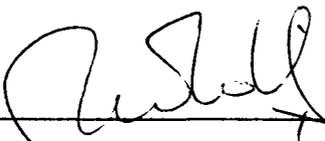
**A DIOS,
A NUESTROS PADRES,
HERMANAS, Y
A FAUSTO FLORENCIA**

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

PRESIDENTE

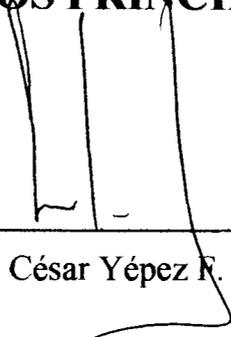
Ing. Cristóbal Mera

DIRECTOR DE TESIS



Ing. Washington Medina M.

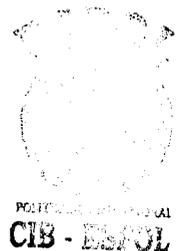
MIEMBROS PRINCIPALES



Ing. César Yépez F.



Dr. Freddy Villao Q.



DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en estas tesis, nos corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Susana Maldonado Florencia



Jonathan Arias Torres

RESUMEN

El negocio de las telecomunicaciones cambia continuamente en base a diferentes factores, uno de ellos la tecnología, la misma que cada vez permite ofrecer más servicios y aplicaciones en respuesta a las necesidades de los usuarios.

Como parte de este desarrollo, los sistemas tradicionales ya no satisfacen la eficiencia requerida en la prestación de los servicios en la actualidad. Este trabajo propone una alternativa interesante, el diseño de una red punto multipunto bajo la tecnología de Espectro Ensanchado. Este servicio está dirigido a usuarios de mediano tráfico, que desean unir dos o más puntos en cualquier parte de Guayaquil.

Para este efecto analizaremos los aspectos más importantes dentro de una red inalámbrica como sus características, tipos, centrándonos en el estudio de las redes inalámbricas de área local y sus configuraciones.

Mas adelante se analiza la teoría de Espectro Ensanchado, su normalización por los organismos internacionales, los tipos de modulación utilizados y las técnicas que se han desarrollado.

Basándonos en un esquema de inversión a largo plazo durante un período de cinco años, hemos obtenido buenos resultados en los cálculos de análisis costos beneficio, recuperación de capital y de rentabilidad anual. Lo cual, respalda a esta investigación.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VII
INDICE DE FIGURAS	XI
INDICE DE TABLAS	XIV
INTRODUCCIÓN	15
I. REDES INALAMBRICAS	16
1.1 Introducción.....	16
1.1.1 Definición.....	16
1.1.2 Características.....	16
1.1.3 Tipos de redes inalámbricas.....	17
1.1.4 Ventajas e inconvenientes.....	18
1.2 Redes de Área Local Inalámbricas WLAN.....	19
1.2.1 Definición WLAN.....	19
1.2.2 Aplicaciones de Redes de Área Local Inalámbricas.....	19
1.2.3 Breve reseña histórica.....	20
1.2.4 Ventajas e inconvenientes de usar WLAN.....	22
1.2.5 Tipos de redes de Área Local Inalámbricas.....	23
1.2.6 Norma para la regulación de redes inalámbrica IEEE802.11.....	25
1.3 Tecnologías utilizadas en las redes inalámbricas.....	31
1.3.1 Tecnologías de Espectro Ensanchado.....	31
1.3.2 Tecnología de infrarrojos.....	32
1.4 Configuraciones WLAN.....	35
1.4.1 Peer to peer o redes AD-HOC.....	35

1.4.2	Extensión de las celdas básicas.....	36
1.4.3	Enlace entre varias Lan.....	38

1.5	Algoritmo de acceso MAC.....	38
1.5.1	Arquitectura del subnivel MAC.....	38
1.5.2	Protocolo CSMA/CA.....	41

1.6	Análisis de redes inalámbricas existentes en el mercado.....	43
-----	--	----

II. ESPECTRO ENSANCHADO.....	51
-------------------------------------	-----------

2.1	Historia del desarrollo de las técnicas de Espectro Ensanchado.....	51
2.2	Conceptos generales.....	56
2.3	Tipos de técnicas de Espectro Ensanchado.....	62
2.3.1	Sistemas de secuencia directa.....	63
2.3.2	Sistemas de salto de frecuencia.....	66
2.3.3	Sistemas de pulso FM (chirrido).....	69
2.3.4	Sistemas de salto de tiempo.....	70
2.3.5	Sistemas híbridos.....	71
2.3.6	Comparación de técnicas de modulación de Espectro Ensanchado.....	72

2.4	Interferencia en sistemas de Espectro Ensanchado.....	78
2.4.1	Interferencia en sistemas de secuencia directa.....	79
2.4.2	Interferencia en sistemas de salto de frecuencia.....	82

2.5	Tipos de emisión autorizados.....	86
2.6	Ventajas y desventajas de utilizar Espectro Ensanchado.....	89
2.7	Áreas de expansión e investigación.....	90
2.8	Aplicaciones desde sus inicios hasta la actualidad.....	92

III. MODULACION DE ESPECTRO ENSANCHADO.....	99
--	-----------

3.1 Modelo de modulación de Espectro Ensanchado.....	99
3.2 Modulación de espectro de secuencia directa.....	106
3.3 Ganancia de procesado.....	111
3.4 Códigos PN.....	111
3.5 Función de auto correlación de un código de Gold.....	113
3.6 Generación de secuencias PN.....	115
3.7 Secuencias de Gold.....	116
3.8 Recepción de una señal de Espectro Ensanchado-Sincronización.....	117
3.9 CDMA.....	121
3.10 Comparación con otros métodos.....	126

IV. MARCO REGULATORIO.....	129
-----------------------------------	------------

4.1 Marco regulatorio internacional.....	129
4.1.1 Análisis de la regulación para la implementación y operación de sistema de Espectro Ensanchado en el exterior.....	129
4.2 Marco regulatorio nacional.....	138
4.2.1 Análisis de las disposiciones generales para la implementación y operación de sistemas de Espectro Ensanchado en nuestro país....	138

V. CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE REDES INALAMBRICAS DE ESPECTRO ENSANCHADO.....	149
--	------------

5.1 Diseño de redes inalámbricas punto multipunto.....	149
5.1.1 Características.....	149
5.1.2 Equipos disponibles en el mercado.....	150
5.1.3 Análisis para el diseño de la red.....	161

5.2 Diseño de redes inalámbricas punto a punto.....	166
5.2.1 Características.....	166
5.2.2 Equipos disponibles en el mercado.....	166
5.2.3 Análisis para el diseño de la red.....	170

VI. ANALISIS Y DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE ESPECTRO ENSANCHADO PARA LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.....	172
---	------------

6.1 Características y necesidades de los usuarios.....	172
6.2 Tipo de servicio a ofrecerse.....	175
6.3 Demanda del servicio según los clientes.....	176
6.4 Criterios para la ubicación de estaciones.....	177
6.5 Enlaces entre estaciones.....	179
6.6 Especificaciones del sistema.....	179
6.7 Especificaciones del servicio.....	188
6.8 Especificaciones de los equipos.....	189
6.9 Análisis de Costo / beneficio (C/B).....	199
6.10 Comparación con otros sistemas.....	210

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	212
BIBLIOGRAFÍA.....	215

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Red inalámbrica de larga distancia	17
Figura 1.2	Red inalámbrica de corta distancia	17
Figura 1.3	Modelo del bloque básico de una WLAN	26
Figura 1.4	Configuración peer to peer	36
Figura 1.5	Alcance de un punto de acceso	37
Figura 1.6	Extensión de una celda de cobertura	37
Figura 1.7	Enlace entre varias LAN	38
Figura 1.8	Arquitectura del protocolo IEEE 802.11	39
Figura 1.9	Comparación de distancia en exteriores sobre el tiempo de propagación	49
Figura 2.1	Patente número 2.292.387 de los Estados Unidos	55
Figura 2.2	Comparación de espectro ensanchado con banda angosta	57
Figura 2.3	Modelo general de un sistema de comunicación digital de espectro ensanchado	59
Figura 2.4	Espectro ensanchado por secuencia directa	62
Figura 2.5	Ejemplo de Secuencia directa	63
Figura 2.6	Sistema típico de secuencia directa	65
Figura 2.7	Salto de frecuencia	66
Figura 2.8	Sistema típico de salto de frecuencia	68
Figura 2.9	Salto en el tiempo	70
Figura 2.10	Sistema Híbrido	71
Figura 2.11	Ilustración de los efectos de interferencia de banda amplia y estrecha	83
Figura 2.12	Colectores de datos que se utilizan en redes inalámbricas SS	92

Figura 2.13	Arquitectura de un entorno inalámbrico con espectro ensanchado	93
Figura 2.14	Conexión a Internet mediante un enlace dedicado.	96
Figura 3.1	Densidad espectral de potencia de $G(f)$	101
Figura 3.2	$G(f)$ después del proceso de ampliación	102
Figura 3.3	Señal de interferencia $I(f)$	102
Figura 3.4	Ampliación de $I(f)$	103
Figura 3.5	Diagrama de bloques de un receptor espectro ensanchado	105
Figura 3.6	Función de autocorrelación	114
Figura 3.7	Registros de desplazamiento con retroalimentación	115
Figura 5.1	Configuración de un enlace punto - multipunto	149
Figura 5.2	Componentes de una red inalámbrica	151
Figura 5.3	Equipos AIRONET de la serie 340 para trabajos en grupo	153
Figura 5.4	Componentes para un enlace punto a punto	154
Figura 5.5	Componentes para un enlace punto multipunto	154
Figura 5.6	Producto WaveNET IP	155
Figura 5.7	Wave Net IP usado como extensión de una red	156
Figura 5.8	Repetidora en configuración Back-to-Back	156
Figura 5.9	Configuración del KB/SS como extensión de una red WAN	157
Figura 5.10	Configuración para ISP del Kb/SS.	159
Figura 5.11	Antenas omnidireccionales	164
Figura 5.12	Antena sectorizada	164
Figura 5.13	Lynx Wireless E1/T1 Transceiver	168
Figura 5.14	Harris Aurora 2.4 Ghz.	169
Figura 5.15	Antenas unidireccionales	171
Figura 6.1	Ubicación de los nodos y sectores de Guayaquil	178

Figura 6.2	Enlace general entre estaciones.	179
Figura 6.3	Enlace dedicado de los nodos	180
Figura 6.4	Enlace entre la base y las remotas	181
Figura 6.5	Cobertura del Cerro del Carmen	186
Figura 6.6	Cobertura Cerro Azul	187
Figura 6.7	Equipo KB/SS	190
Figura 6.8	Diagrama de puertos de la base y la remota	192
Figura 6.9	Equipo de radio Tsunami	195
Figura 6.10	Configuración básica de las radios Tsunami	195
Figura 6.11	Conmutador Súper Stack II 3Com	196
Figura 6.12	Antenas utilizadas en las remotas	197
Figura 6.13	Antenas Tilttek de la Serie TA-5200	198
Figura 6.14	Nodo Principal	200
Figura 6.15	Nodo Secundario	201
Figura 6.16	Primer caso de crecimiento de enlaces	205
Figura 6.17	Segundo caso de crecimiento de enlaces	205

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Comparación de los adaptadores inalámbricos analizados	50
Tabla 3.1	Primera comparación de los sistemas de compartición de canal	127
Tabla 3.2	Segunda comparación de los sistemas de compartición de canal	128
Tabla 4.1	Canales de saltos permitidos	144
Tabla 5.1	Resumen de las características técnicas	160
Tabla 5.2	Pérdidas según distancia en frecuencias de 2.4 Ghz. en campo abierto	162
Tabla 5.3	Productos para enlaces punto a punto	167
Tabla 5.4	Productos Lynx para la banda de los 2.4 y 5.8 Ghz	168
Tabla 6.1	Cálculo del Margen de Fading	184
Tabla 6.2	Características técnicas del Kb/SS	194
Tabla 6.3	Modelos de antenas Til Tek para la banda de los 2.4 GHz	197
Tabla 6.4	Modelos de antenas Til Tek para la banda de los 5.8 GHz.	198
Tabla 6.5	Tipos de cables	199
Tabla 6.6	Costos de inversión inicial	203
Tabla 6.7	Gastos mensuales	204
Tabla 6.8	Cálculos para el primer caso de crecimiento de enlaces	208
Tabla 6.9	Cálculos para el segundo caso de crecimiento de enlaces	209
Tabla 6.10	Comparación de enlaces punto a punto con punto multipunto	211

INTRODUCCION

Actualmente los servicios de Telecomunicaciones están orientados a cubrir las necesidades básicas de los clientes enlazando sus agencias o sucursales a fin de interconectar sus redes para compartir información y recursos.

En el diseño de nuestra red tomamos en cuenta la técnica de Espectro Ensanchado, ya que a la hora de diseñar nos ofrece muchas ventajas y a pesar de que no ha sido muy difundida, existen en el mercado una variedad de productos desarrollados en base a esta tecnología.

Sin embargo, existen normas que rigen el uso de esta tecnología en nuestro país, debido a que los equipos que la utilizan operan en las bandas ICM (Industrial, Científica y Médica), libres del pago por el utilización del espectro radioeléctrico, pero que necesitan homologación y autorización por parte de las entidades que rigen las telecomunicaciones en nuestro país.

Nuestra red estará a disposición de los clientes de los sectores industriales y comerciales, esperando tener la aceptación necesaria y ofreciéndoles un servicio nuevo, con valor agregado, el mismo que les permitirá desarrollar sus actividades de una manera práctica y segura al momento de compartir recursos.

CAPITULO 1

REDES INALÁMBRICAS



1.1 INTRODUCCIÓN

1.1.1 DEFINICIÓN

Son redes de difusión de paquetes entre un conjunto de estaciones o nodos que se comunican a través de ondas de radio utilizando como medio de transmisión el aire en lugar de cables. Utilizan diferentes topologías a fin de ampliar la cobertura de las redes existentes, además de un conjunto de protocolos que aseguran su compatibilidad.

1.1.2 CARACTERÍSTICAS

Permiten la conexión inalámbrica de corto y largo alcance, y la interconexión de nodos sin necesidad de cables, donde cada uno de estos pueden comunicarse entre sí sin estar conectados físicamente.

Las redes inalámbricas no podrán superar a las redes cableadas, la diferencia mas crítica es la velocidad. Otro de los factores que la limitan, son los errores que se producen cuando es de larga distancia, ya que la atenuación en las señales es sólo una de las causas.

1.1.3 TIPOS DE REDES INALÁMBRICAS.

Existen dos amplias categorías de Redes Inalámbricas:

- **De larga distancia.** Son utilizadas para transmitir la información dentro de áreas que pueden variar desde una misma ciudad hasta varios países circunvecinos. Son llamadas redes MAN (Redes de Area Metropolitana) o WAN (Redes de Area Extensa).

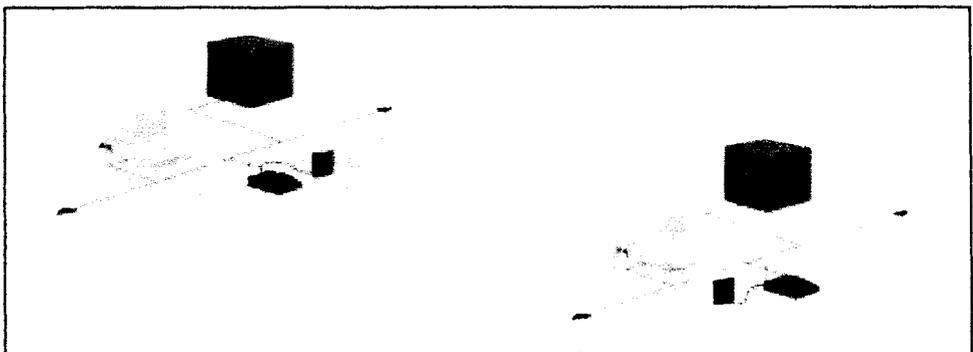


Figura 1.1 Red inalámbrica de larga distancia

- **De corta distancia.** Son utilizadas principalmente en redes corporativas cuyas oficinas se encuentran en uno o varios edificios no muy retirados entre si. Se conocen como LAN (Redes de Area Local).

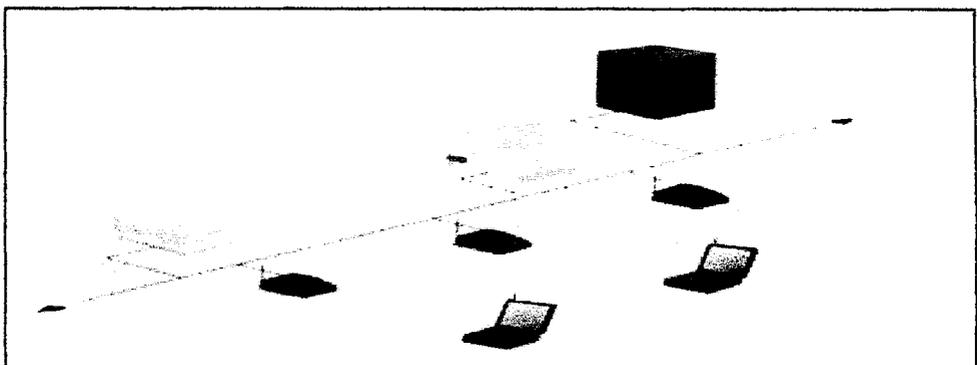


Figura 1.2 Red inalámbrica de corta distancia

1.1.4 VENTAJAS E INCONVENIENTES.

Las principales ventajas en la utilización de redes inalámbricas son:

- Movilidad de los nodos de emisión y recepción de la señal.
- Facilidad de instalación.
- Proporcionan cierto grado de portabilidad.
- Evitan el costo de instalación del cableado entre nodos.
- Ayudan a proporcionar redundancia a una red existente.
- Son muy útiles en edificios o áreas aisladas, donde la instalación del cableado pueda ser difícil.
- Muy útiles para personas que están en constante movimiento.

Las desventajas son:

- Alto precio de los componentes.
- La velocidad de transmisión es baja en comparación a las redes cableadas.
- La seguridad deja mucho que desear debido a las conexiones fácilmente interceptables, a pesar de que ya existen métodos contra este tipo de inconvenientes.

1.2 REDES DE AREA LOCAL INALÁMBRICAS WLAN

1.2.1 DEFINICIÓN DE WLAN.

Las redes inalámbricas de área local, son un sistema flexible de comunicación conformada por un conjunto de nodos que se comunican a través de dispositivos de radio con una cobertura geográfica limitada, administrada de forma privada, baja tasa de errores y relativamente alta velocidad de transmisión, que en lugar de cables coaxiales, par trenzado o fibra óptica utilizados en las LAN convencionales, usa el aire como medio de transmisión de las ondas electromagnéticas.

1.2.2 APLICACIONES DE REDES DE ÁREA LOCAL INALÁMBRICA.

Las redes inalámbricas son muy atractivas por las facilidades que brindan, su rendimiento en velocidad no se compara al de una red convencional pero son una alternativa muy buena.

Actualmente las redes LAN inalámbricas se aplican en:

- Hospitales, fábricas, almacenes, o sitios donde los usuarios están en movimiento
- Interconexión de redes LAN que se encuentran en lugares físicos distintos.

- En entornos cambiantes que necesitan una estructura de red flexible y adaptable.
- Implementación de redes de área local en edificios de construcción antigua de difícil acceso para el cableado.
- Generación de grupos de trabajo que realizan reuniones eventuales o esporádicas donde no vale la pena instalar una red cableada fija.
- Redes locales para situaciones de emergencia.
- En las industrias en severas condiciones ambientales para interconectar dispositivos y máquinas.

1.2.3 BREVE RESEÑA HISTÓRICA.

En el año de 1979 los ingenieros de IBM en Suiza publicaron los resultados de un experimento que consistía en utilizar enlaces infrarrojos para crear una red de área local en una fábrica.

La Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos (FCC), encargada de regular y administrar las telecomunicaciones en ese país, en 1985 asignó las bandas ICM (Industrial, Científica y Médica) situadas entre 902-928 MHz, 2.4-2.4835 GHz y 5.725-5.850 GHz, a las redes inalámbricas basadas en Espectro Ensanchado y que pueden utilizarse libremente sin licencias. Esto hizo que las WLAN pasen de un experimento a un producto comercial.

Entre 1985 y 1990 se desarrollaron productos WLAN y en mayo de 1991 se publicaron trabajos sobre redes operativas que superaban la velocidad de 1 Mbps; velocidad mínima a partir de la cual la norma IEEE 802 considera que la red es realmente una LAN. Sobre la norma IEEE 802 hablaremos más detallado en la sección 1.2.6 del presente capítulo.

Sin embargo aún no eran bien aceptadas en el mercado. Las razones fueron las siguientes:

- Falta de un estándar debido a que los diferentes fabricantes desarrollan sus propias soluciones utilizando por lo general técnicas y frecuencias distintas e incompatibles.
- Altos costos de investigación.
- Menores beneficios, las WLAN permitían solo la transmisión de datos mientras que una red cableada soportaba datos, voz y video a velocidades muy altas.

Gracias a la definición de la norma IEEE 802.11 se consiguió en el mercado un incremento de dispositivos WLAN lo que abarató los costos e hizo más asequible los precios de estos productos. Además el desarrollo de equipos portátiles ha logrado dar movilidad a los usuarios y enlazarlos a dispositivos inalámbricos que les permite mantener comunicación constante con otros terminales, con el servidor o con algún otro dispositivo que forme parte de la red.

1.2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE USAR WLAN.

Las ventajas que puede ofrecer las redes inalámbricas de área local son las siguientes.

- *Movilidad.* Estos sistemas ofrecen a los usuarios acceso en tiempo real en cualquier lugar de su organización.
 - *Sencillez de instalación.* La instalación es fácil y rápida ya que no hay que tender cables.
 - *Flexibilidad.* Permite que la red llegue a lugares donde el cableado es imposible.
 - *Gastos reducidos.* La inversión inicial para una LAN inalámbrica puede ser mayor que la requerida para una LAN convencional, pero los gastos de instalación y mantenimiento e incluso de ampliación de la red podrían llegar a ser mucho menores, sobre todo en ambientes dinámicos que tienden a cambios frecuentes.
 - *Escalabilidad.* Se pueden configurar diversos tipos de topología, se cambian con facilidad y van desde redes de igual a igual para un bajo número de usuarios hasta una infraestructura para miles de usuarios.
 - *Interoperatividad entre equipos.* Debido a la compatibilidad que debe existir dispuesta por la norma IEEE 802.11.
-

Existen ciertas limitaciones que pueden citarse tales como:

- Velocidad menor que las redes cableadas.
- Ancho de banda menor que las redes cableadas.
- La interferencia con otros equipos eléctricos limita la cobertura.

1.2.5 TIPOS DE REDES DE ÁREA LOCAL INALÁMBRICAS

Tenemos dos tipos de WLAN, los sistemas móviles y los sistemas fijos. Los Sistemas Inalámbricos Móviles son básicamente utilizados en ambientes cerrados donde se poseen equipos móviles y se presenta el roaming a través de la red, es decir el traspaso de un área de cobertura a otra. En estos sistemas podemos mencionar las siguientes configuraciones:

- **Redes Independientes o Ad hoc.** Grupo de estaciones que no utilizan puentes para reenviar sus datos. La mas simple red independiente es aquella en donde no interviene ningún servidor y las estaciones se comunican punto a punto, estos tipos de redes son comunes en negocios pequeños, salones de exhibición y el hogar.
 - **Redes Inalámbricas Stand-alone.** Utilizan dispositivos que tienen como función el reenvío de datos de una estación a otra dentro de la misma celda, esta infraestructura de red debe tener un único nombre y cada estación que quiera conectarse a la red deberá ser configurada con el mismo nombre de Red.
-

- **Acceso de Redes Inalámbricas a Redes Ethernet.** Este tipo de configuración permite la conexión de estaciones móviles y de escritorio que pertenecen a una red inalámbrica o una red Ethernet, creando coberturas extensas, todas las estaciones de las redes inalámbricas deben tener configurado un nombre de red al que están conectadas y cuando se presenta el roaming se hará el cambio automático de punto de acceso para mantener la comunicación.

Los Sistemas Inalámbricos Fijos son utilizados en ambientes amplios donde la distancia entre las estaciones no permite crear enlaces punto a punto. Podemos mencionar las siguientes configuraciones:

- **Configuración de repetidores inalámbricos.** Para tener un repetidor inalámbrico se deberá utilizar un puente. Esta configuración se crea cuando la distancia entre las dos celdas es demasiado larga para crear un enlace punto a punto, las dos redes deben tener el mismo nombre ya que esto hará que no sean dos redes sino en realidad una sola, este tipo de configuración no soporta el cambio de área de cobertura entre estaciones.
- **Configuración Edificio a Edificio.** Esta configuración establece un enlace punto a punto lo cual permite conectar múltiples segmentos de Redes LAN en diferentes edificios, pero la comunicación está sujeta a las regulaciones que aplican en cada país. Se utilizan puentes y antenas externas.

1.2.6 NORMA PARA LA REGULACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA LOCAL IEEE 802.11

En 1990 se forma el comité IEEE 802.11, que empieza a trabajar para tratar de generar una norma para las WLAN. En 1994 aparece el primer borrador, y en junio de 1997 se dio por finalizada la norma. Esta muestra las especificaciones para la capa física y la capa de control de acceso al medio (MAC).

Utiliza un modelo multicapas, en el que las capas más bajas corresponden a las especificaciones de la capa física y del medio particular utilizado. La siguiente capa corresponde al protocolo de acceso al medio y es común a todas las redes independientemente del medio físico que se este utilizando.

En la figura 1.3 se representa el modelo desarrollado por este grupo de trabajo, comenzando por el bloque más elemental de una LAN inalámbrica, el Conjunto de Servicios Básicos (BSS), que consta de varias estaciones ejecutando el mismo protocolo MAC y compitiendo para acceder al medio compartido.

Un BSS puede estar aislado o puede conectarse con un sistema de distribución o núcleo a través de un punto de acceso que funciona como un puente.

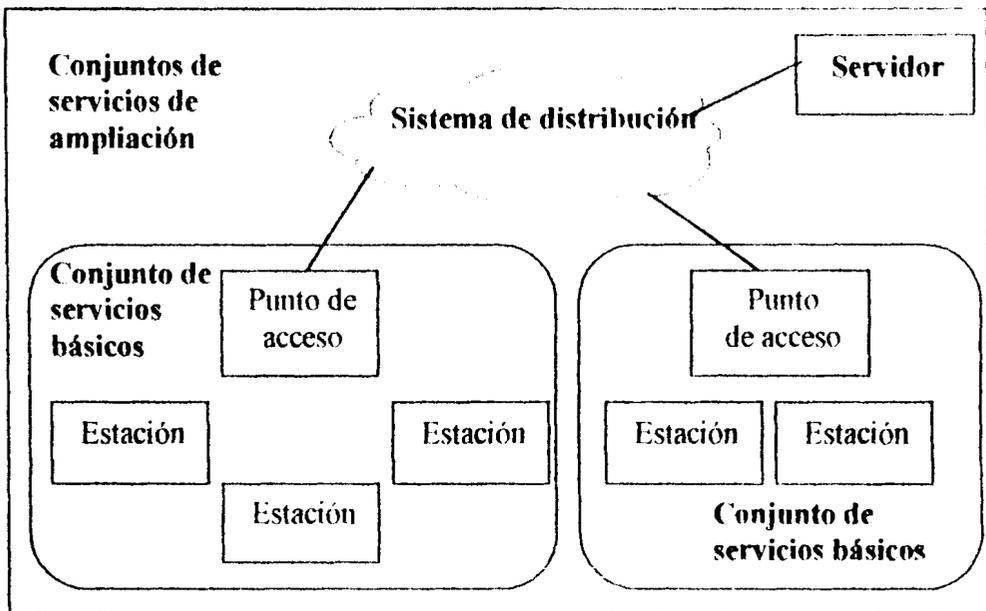


Figura 1.3 Modelo del bloque básico de una WLAN.

El protocolo MAC puede ser distribuido o controlado por una función de coordinación central localizada en el punto de acceso. El BSS viene a ser como una especie de celda o célula. Un Conjunto de Servicios de Ampliación (ESS), consta de dos o más BSS interconectados por un sistema de distribución que generalmente es una LAN cableada.

La normalización define tres tipos de estaciones según la movilidad:

- **Sin transición:** Una estación de este tipo es estacionaria o se mueve sólo en el rango de comunicaciones directas de las estaciones de un único BSS.
- **Transición BSS:** Esta se define como una estación que se desplaza de un BSS a otro BSS dentro del mismo ESS.

- **Transición ESS:** Esta se define como una estación que se transfiere desde un BSS en un ESS a un BSS interno dentro de otro ESS.

En la norma 802.11 actual se definen tres medios físicos:

- Espectro ensanchado por secuencia directa.
- Espectro ensanchado por salto de frecuencia.
- Luz infrarroja en banda base (sin modular).

El hecho de que existan varias posibilidades en la elección de la capa física es ventajoso para algunos ya que permite una mayor flexibilidad a la hora de diseñar la red; pero para otros resulta incómodo ya que esto conlleva a utilizar otras especificaciones para alcanzar interoperatividad.

La arquitectura MAC descrita por el IEEE 802.11 se compone de dos funcionalidades básicas:

- Función de coordinación puntual (PCF).
- Función de coordinación distribuida (CDF).

Cada una de estas funciones de coordinación define un modo de operación de acceso al medio para las estaciones que conforman una red inalámbrica

La función de coordinación distribuida es básica en el nivel MAC y deben estar implementada en todas las estaciones que conforman la red. El mecanismo de acceso al medio especificado en este nivel se basa en técnicas de acceso aleatorio y por lo tanto es solamente utilizado por tráfico de tipo asincrónico que no requiere severas restricciones temporales. La IEEE 802.11 especifica que el algoritmo a utilizar en este nivel y para este tipo de tráfico es el CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance). Aunque tanto las técnicas de reserva centralizadas como la distribuida se implementan en productos WLAN, según la norma IEEE 802.11 considera dos técnicas de acceso aleatorio de la función de coordinación puntual:

- **Rotación circular.** Con esta técnica a cada estación se le da la oportunidad de transmitir, ante lo que la estación puede declinar la proposición o puede transmitir sujeta a un límite superior, especificado generalmente en términos de cantidad de datos a transmitir o el tiempo para efectuarlo y cuando la estación termina debe ceder su turno de transmisión a la siguiente estación. Cuando varias estaciones disponen de datos a transmitir por un largo periodo de tiempo, las técnicas de rotación circular pueden resultar muy eficientes. Si sólo unas pocas estaciones disponen de datos a transmitir durante un extenso periodo de tiempo, el costo de la rotación circular entre estaciones es elevado, ya que la mayoría de ellas no transmiten datos y entonces solo ceden el turno de estación en estación. En estas circunstancias pueden ser

preferibles otras técnicas dependientes de que el tráfico de datos es a ráfagas o continuo. El tráfico continuo se caracteriza por transmisiones largas y razonablemente continuas. El tráfico a ráfagas se caracteriza por transmisiones cortas y esporádicas como en el caso de tráfico interactivo terminal-estación.

- **Competición.** Usualmente las técnicas de contención son apropiadas para tráfico a ráfagas, con estas técnicas no se realiza control para determinar de quien es el turno. Todas las estaciones compiten en una forma que puede ser dura y caótica. Estas técnicas son necesariamente de naturaleza distribuida. Su principal ventaja es que son sencillas de implementar y eficientes en condiciones de carga baja y moderada. Sin embargo, para algunas de estas técnicas, las condiciones tienden a deteriorarse bajo condiciones de alta carga.

Entre otras cosas el IEEE 802.11 agrega:

- Que el consumo de potencia depende de la implementación.
- La seguridad en las comunicaciones inalámbricas incluye dos aspectos básicos, la autenticación, que consiste en proporcionar y verificar la identidad de una estación o cliente y la privacidad donde los datos son encriptados antes de ser enviados en forma inalámbrica.

El estándar IEEE 802.11 es el más difundido pero existen otros promovidos por otras organizaciones que pretenden también regular la operación de este tipo de redes, que las veremos a continuación:

- En 1992 la ETSI (European Telecommunications Standards Institute), a través del comité ETSI-RES 10, inicia actuaciones para crear una norma a la que denomina HiperLAN (High Performance LAN) en las bandas de 5,2 y 17,1 GHz.
- En 1993 también se constituye la **IRDA (Infrared Data Association)** una organización internacional no lucrativa que tiene como objetivo la creación y promoción de estándares de interconexión mediante infrarrojos interoperativos, de bajo costo y que soporten modelos punto a punto de corto alcance. Constituida en 1993 y con sede en Walnut Creek (California), IrDA representa el punto de referencia en comunicaciones ópticas por infrarrojos inalámbricas. En la actualidad cuenta con más de 160 miembros que pertenecen a la industria de comunicaciones, componentes, ordenadores y periféricos, cable y telefonía, software, hardware y proveedores de servicios. De sus actividades cabe destacar la especificación en septiembre de 1993 de las bases para las normas de enlace de datos SIR (Serial InfraRed) y el establecimiento, en junio de 1994, de los protocolos SIR (Serial infrared Link), IrLAP (protocol stack Link Access Protocol), y IrLMP (InfraRed Link Management Protocol).

- En 1996, finalmente, un grupo de empresas del sector de informática móvil y de servicios formó el Wireless LAN Interoperability Forum (WLI Forum). Entre los miembros fundadores de WLI Forum se encuentran empresas como ALPS Electronic, AMP, Data General, Contron, Seiko, Epson y Zenith Data Systems.

En un futuro no lejano, el previsible aumento del ancho de banda asociado a las redes inalámbricas y, consecuentemente, la posibilidad de los multimedia móvil, permitirá atraer a más mercados, al mismo tiempo que se reforzarán los mercados ya existentes. La aparición de estos está fuertemente ligada a la evolución de los Sistemas Comunicación Personal (PCS), ya que se ha creado una infraestructura de usuarios con una cultura tecnológica y hábito de utilización de equipos de comunicaciones móviles en todos los sectores de la industria y de la sociedad.

1.3 TECNOLOGIAS UTILIZADAS EN LAS REDES INALAMBRICAS

1.3.1 TECNOLOGIAS DE ESPECTRO ENSANCHADO

Es un esquema de modulación donde la señal se expande a través de un ancho de banda mayor al mínimo requerido para transmitir con éxito, mediante un sistema de codificación que desplaza la frecuencia o la fase de la señal consiguiendo un efecto de camuflaje. En el receptor la señal se recompone para obtener la información inicial.

1.3.2 TECNOLOGÍAS DE INFRARROJOS



Esta tecnología usa el rango infrarrojo del espectro electromagnético para transmitir información mediante ondas por el espacio libre.

Se utiliza un transreceptor que envía un haz de Luz Infrarroja, hacia otro que la recibe. La transmisión de luz se codifica en el envío y decodifica en la recepción mediante un protocolo de red existente. Los primeros transreceptores dirigían el haz infrarrojo de luz a una superficie pasiva, generalmente el techo, donde otro transreceptor recibía la señal. Se pueden instalar varias estaciones en una sola habitación utilizando un área pasiva para cada transreceptor. Además la tecnología se ha mejorado utilizando un transreceptor que difunde el haz en todo el cuarto y es recogido mediante otros transreceptores. El grupo de trabajo de Red Inalámbrica IEEE 802.11 está trabajando en una capa estándar MAC para Redes Infrarrojas.

El principio de funcionamiento en la capa física es muy simple y proviene del ámbito de las comunicaciones ópticas por cable: un Diodo Emisor de Luz (LED), que constituye el dispositivo emisor, emite luz que se propaga en el espacio libre en lugar de hacerlo en una fibra óptica, como ocurre en una red cableada. En el otro extremo, el receptor, un fotodiodo recibe los pulsos de luz y los convierte en señales eléctricas que, tras su manipulación pasan a la UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) del ordenador, de forma que para la CPU (Unidad de procesamiento central)

todo el proceso luminoso es absolutamente transparente. En el proceso de transmisión los bits viajan mediante pulsos, donde el cero lógico se representa por existencia de luz y el uno lógico por su ausencia.

Tras la capa física se encuentra la capa de enlace, conocida como IrLAP, (Infrared Link Access Protocol) que se encarga de gestionar las tareas relacionadas con el establecimiento, mantenimiento y finalización del enlace entre los dos dispositivos que se comunican. IrLAP constituye una variante del protocolo de transmisiones asíncronas HDLC (Half Duplex Line Control) adaptada para resolver los problemas que plantea el entorno radio. El enlace establece dos tipos de estaciones participantes, una actúa como maestro y otra como esclavo. El enlace puede ser punto a punto o punto a multipunto, pero en cualquier caso la responsabilidad del enlace recae en el maestro.

La capa de red está definida por el protocolo IrLMP (Infrared Link Management Protocol), la capa inmediatamente superior a IrLAP, se encarga del seguimiento de los servicios (como impresión, fax y módem), así como de los recursos disponibles por otros equipos, es decir, disponibles para el enlace.

Finalmente, la capa de transporte, IrTP (Infrared Transport Protocol) se ocupa de permitir que un dispositivo pueda establecer múltiples haces de datos en un solo enlace, cada uno con su propio flujo de control.

De acuerdo al ángulo de apertura con que se emite la información en el transmisor, los sistemas infrarrojos pueden clasificarse en sistemas de corta apertura, también llamados de rayo dirigido o de línea de vista y en sistemas de gran apertura, reflejados o difusos recogidos por la norma 802.11.

Desgraciadamente la dispersión utilizada en este tipo de red hace que la señal transmitida rebote en techos y paredes, introduciendo un efecto de interferencia en el receptor, que limita la velocidad de transmisión (la trayectoria reflejada llega con un retraso al receptor). Esta es una de las dificultades que han retrasado el desarrollo del sistema infrarrojo.

Tiene una longitud de onda cercana a la de la luz y se comporta como ésta (no puede atravesar objetos sólidos como paredes, por lo que es inherentemente seguro contra receptores no deseados); debido a su alta frecuencia, presenta una fuerte resistencia a las interferencias electromagnéticas artificiales radiadas por dispositivos hechos por el hombre (motores, luces ambientales, etc.); la transmisión infrarroja con láser o con diodos no requiere autorización especial en ningún país (excepto por los organismos de salud que limitan la potencia de la señal transmitida); utiliza un protocolo simple y componentes sumamente económicos y de bajo consumo de potencia, una característica importante en dispositivos móviles portátiles.

Es sumamente sensible a objetos móviles que interfieren y perturban la comunicación entre emisor y receptor; las restricciones en la potencia de transmisión limitan la cobertura de estas redes a unas cuantas decenas de metros; la luz solar directa, las lámparas incandescentes y otras fuentes de luz brillante pueden interferir seriamente la señal.

Las velocidades de transmisión de datos no son suficientemente elevadas y solo se han conseguido en enlaces punto a punto. Por ello, lejos de poder competir globalmente con las LAN de microondas, su uso está indicado más bien como apoyo y complemento a las LAN ya instaladas, cableadas o por radio (microondas), cuando en la aplicación sea suficiente un enlace de corta longitud punto a punto que, mediante la tecnología de infrarrojos, se consigue con mucho menor coste y potencia

1.4 CONFIGURACIONES WLAN

1.4.1 PEER TO PEER O REDES AD-HOC

Es la configuración más básica llamada también de igual a igual, consiste en dos terminales móviles que tienen que verse mutuamente de manera directa es decir que cada uno de ellos debe estar en el rango de cobertura radioeléctrica del otro, además estos terminales deben estar equipados con tarjetas adaptadoras para comunicaciones inalámbricas. Estas redes tipo Ad-hoc son muy fáciles de implementar. Todos los equipos tienen igualdad

de prioridades y no existe ningún dispositivo de reenvío de paquetes ni puentes que les permitan comunicarse con otras redes. Son utilizados en el hogar y en pequeñas oficinas.

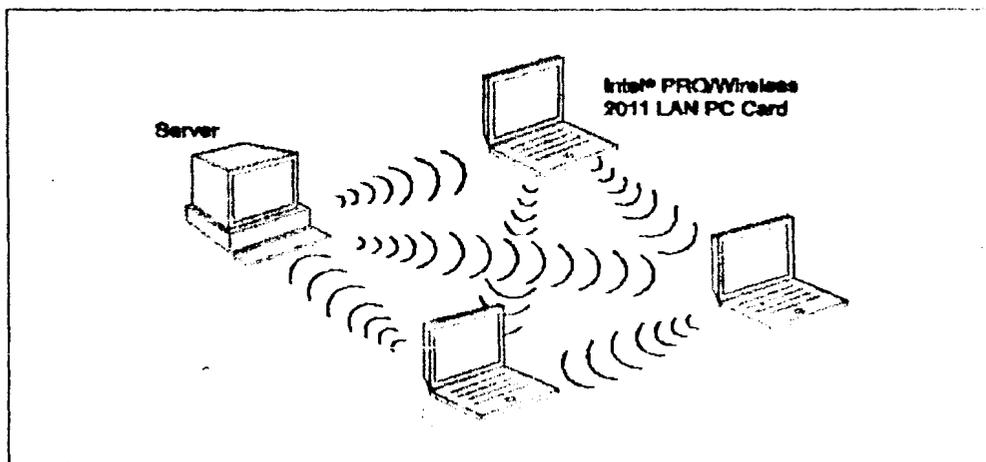


Figura 1.4 Configuración peer to peer

1.4.2 EXTENSION DE CELDAS BASICAS

Se usa para aumentar tanto el alcance como el número de terminales de una red de tipo Ad-hoc. Aquí aparece un nuevo elemento, el llamado Punto de Acceso, que en realidad son puentes que trabajan en el nivel dos, es decir, en la capa de enlace y con la que se puede doblar el alcance de la red inalámbrica, porque ahora la distancia máxima permitida no es entre estaciones sino entre cada estación y el punto de acceso. Cada punto de acceso puede enlazar redes Ad-hoc con redes fijas con lo cual cada usuario tiene acceso desde su terminal móvil a otros recursos.

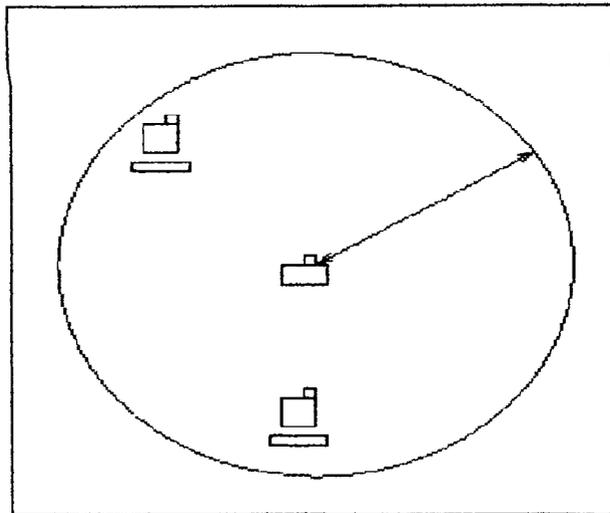


Figura 1.5 Alcance de un punto de acceso

Para dar cobertura a una zona determinada habrá que instalar varios puntos de acceso de tal manera que podamos cubrir la superficie necesarias con las celdas de cobertura que proporciona cada punto de acceso, ligeramente solapadas para permitir el paso de una celda a otra sin perder la comunicación.

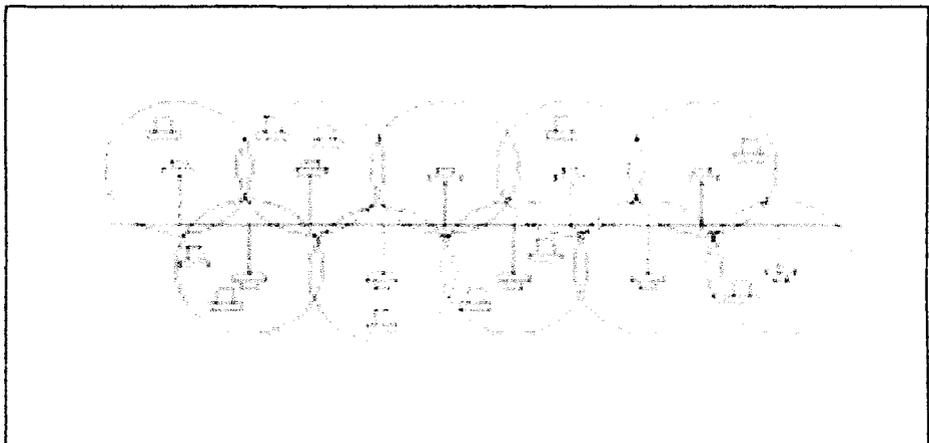


Figura 1.6 Extensión de una celda de cobertura

1.4.3 ENLACE ENTRE VARIAS LAN

Otra de las posibles configuraciones es enlazar redes que se encuentran situadas en lugares distintos geográficamente. Por ejemplo en el caso de interconectar dos redes locales que se encuentran en dos edificios distintos, la solución a este problema es instalar antenas direccionales en cada edificio apuntándose mutuamente y a la vez conectada a la red local de su edificio mediante un punto de acceso.

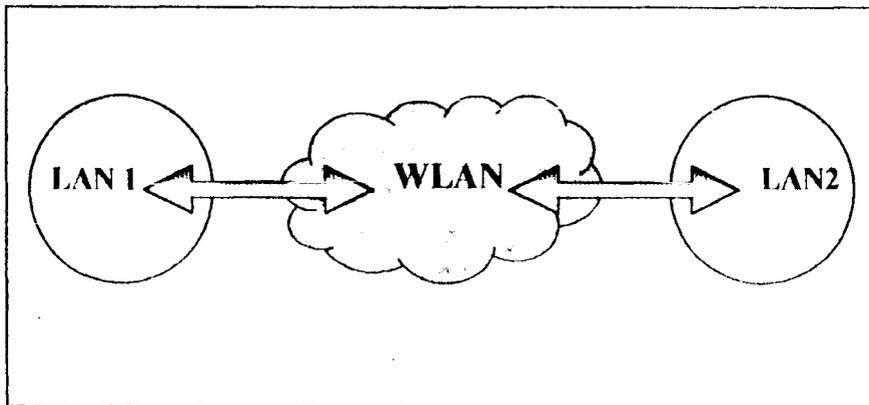


Figura 1.7 Enlace entre varias LAN

1.5 ALGORITMO DE ACCESO MAC

1.5.1 ARQUITECTURA DEL SUBNIVEL MAC

El grupo 802.11 consideró dos opciones para un algoritmo MAC. La primera son los protocolos de acceso distribuido que dispersan la decisión de transmitir entre todos los nodos como en redes tipo Ad hoc y en configuraciones que presentan tráfico a ráfagas. La segunda opción son los

protocolos de acceso centralizado, que implican la gestión centralizada de la transmisión, esto es muy común en configuraciones en que varias estaciones se encuentran conectadas entre sí y con alguna estación base que generalmente se conecta a una LAN cableada. El resultado final del 802.11 es un algoritmo llamado MAC Inalámbrico de Principio Distribuido (DFWMAC, Distribution Foundation Wireless MAC), que proporciona un control de acceso distribuido con un control centralizado opcional, implementado sobre él. Como sabemos la capa MAC se divide en dos subcapas conocidas como DCF y PCF. La subcapa inferior es la DCF y emplea un algoritmo de competición que proporciona acceso a todo el tráfico. Todo el tráfico ordinario asíncrono usa DCF. Mientras la PCF se construye sobre la DCF, para asegurar el acceso a los usuarios que requieren de un servicio centralizado sin competición.

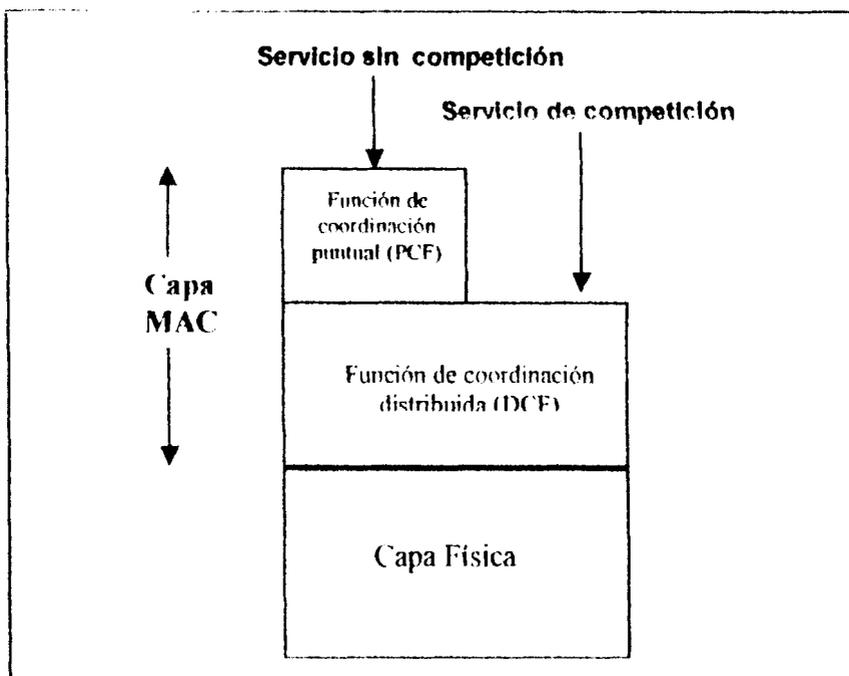


Figura 1.8 Arquitectura del protocolo IEEE 802.11

La subcapa DCF hace uso de un sencillo algoritmo MAC. Si una estación desea transmitir una trama MAC, escucha el medio. Si el medio se encuentra libre la estación puede transmitir, si no debe esperar hasta que se haya completado la transmisión en curso, antes de poder transmitir.

DCF no incluye una función de detección de colisiones, como es el caso de CSMA/CD, pues la detección de colisión no resulta práctica en redes inalámbricas.

Para asegurar el correcto funcionamiento, DCF incluye un conjunto de retardos que equivale a un esquema de prioridades, utilizando un retardo conocido como espacio intertrama (IFS). De hecho, existen tres valores diferentes de IFS:

- **SIFS (IFS corto):** el IFS más corto, usado para todas las acciones de respuesta inmediata. Cualquier estación que use SIFS para determinar la oportunidad de transmitir tiene prioridad porque quien tenga el periodo de contención más corto será el primero que envía.
- **PIFS (función de coordinación puntual IFS):** IFS de longitud intermedia, empleado por el controlador centralizado para llevar a cabo sondeos y tiene prioridad sobre el tráfico de competición normal.

- **PIFS (función de coordinación distribuida IFS):** IFS mayor, utilizado para todo tráfico asíncrono ordinario. Es el retardo mínimo para tramas asíncronas que compiten para conseguir el acceso.

La función de coordinación puntual en cambio es un método de acceso alternativo que consiste en un sondeo por parte del gestor de sondeo centralizado (coordinador puntual). El coordinador puntual hace uso de PIFS cuando realiza sondeos. Dado que PIFS es menor que la DIFS, el coordinador puntual debe tomar el medio mientras realiza un sondeo, recibir respuestas y bloquear todo el tráfico asíncrono.

1.5.2 PROTOCOLO CSMA/CA.

Haciendo uso de un IFS, las reglas para acceso MAC son:

1. Una estación con una trama a transmitir sondea el medio. Si este está libre, la estación espera para ver si el medio permanece libre durante un tiempo igual a PIFS. Si es así, la estación puede transmitir inmediatamente.
2. Si el medio está ocupado, la estación aplaza la transmisión y continúa supervisando el medio hasta que la transmisión en curso haya finalizado.

3. Una vez que ha ocurrido esto, la estación espera otro IFS. Si el medio permanece libre durante este período, la estación espera según un esquema de retroceso exponencial binario y sondea de nuevo el medio. Si el medio se encuentra aún libre, la estación puede transmitir.

La técnica de retroceso exponencial binario proporciona un método para gestionar la carga alta. Si una estación intenta transmitir y encuentra ocupado el medio, espera un cierto tiempo y lo intenta de nuevo. Sucesivos intentos de transmisión fallidos provocan tiempos de retroceso cada vez mayores.

La norma 802.11 ha añadido al protocolo de acceso CSMA/CA un mecanismo de intercambio de mensajes con reconocimiento al que denominan Reservation-Based Protocol. Cuando una estación está lista para transmitir primero envía una solicitud o petición de envío que es una trama denominada RTS (Request To Send), la estación a la que va dirigida esta trama debería responder con una trama CTS (Clear To Send) si está lista para recibir. Todas las estaciones reciben el RTS y aplazan el uso del medio hasta que detecten un CTS correspondiente o hasta que expire un contador de tiempo.

Luego de que la estación recibe el CTS comienza a transmitir y una vez terminada la transmisión el receptor le envía una confirmación ACK.

1.6 ANALISIS DE REDES INALÁMBRICAS EXISTENTES EN EL MERCADO

Se analizaron adaptadores inalámbricos de AT&T, Proxim, Solectek y Xircom para conectar una MC (computadora móvil) a una LAN. Los cuatro ofrecen adaptadores inalámbricos PCMCIA, orientados a usuarios con equipos portátiles (MC). Solectek también ofrece una versión de puerto paralelo, para que pueda conectar cualquier sistema de escritorio o portátil. La segunda parte de una solución inalámbrica en una LAN es el punto de acceso, el dispositivo que establece la conexión entre los adaptadores inalámbricos y la red alamburada. Se revisaron puntos de acceso de los mismos fabricantes.

Dejando aparte la conveniencia, se deben de considerar ciertos detalles como: el costo, el rendimiento y la facilidad de uso. Comparados con los adaptadores de LAN basados en cable, estos productos pueden parecer caros. Hoy en día, se pueden conseguir adaptadores de Ethernet por mucho menos de US\$100.00 por nodo. Pero el costo de instalar el cable de red puede ser caro y a veces poco práctico, particularmente en los casos en que la red es sólo para uso temporal.

Hoy, los puntos de acceso y los adaptadores alcanzan velocidades potenciales de 2 Mbps. Las redes inalámbricas que se evaluaron resultaron casi tolerables cuando se carga los programas de la red. Todos los fabricantes clasificaron sus velocidades como de 1 a 2 Mbps.

Todos los productos mostraron buenos resultados, de 400 pies (122 mts) a más de 1.000 pies (305 m) sin perder conexión en la prueba de distancia en exteriores.

Los productos analizados utilizan las dos técnicas para la distribución de la señal en el espectro:

- **Salto de Frecuencias:** utilizado por RangelAN2 de Proxim y el Netwave de Xircom.
- **Secuencia Directa:** Utilizada por WavelAN de AT&T y AirLAN de Solectek.

Según las pruebas realizadas se puede considerar que los productos que usan la secuencia directa resultaron mejores en rendimiento y distancia.

Según se mueve la computadora, la señal del adaptador se puede cambiar o otro Punto de Acceso para continuar con la transmisión. Cuando una portátil detecta que la señal se hace más débil y que se está alejando del alcance de un punto de acceso, el adaptador interroga a todos los otros puntos de acceso de la red para ver cuál está más cerca. Entonces, el adaptador, de forma transparente, se cambia de un punto de acceso a otro. Sólo el Proxim pudo moverse sin perder la conexión. El NetWare de Xircom, el Wavel AN de AT&T y el de AirLAN/Parallel de Solectek mostraron dificultad al moverse de un punto de acceso a otro.

Al diseñar la red inalámbrica que deba cubrir una área grande, se tienen que instalar tantos puntos de acceso, de tal forma que las áreas de cobertura se superpongan una con otra para eliminar cualquier zona muerta. Proxim y Solectek ofrecen ambos programas diagnósticos que le permiten probar la fortaleza y la calidad de la señal de radio entre una MC y un punto de acceso.

WAVELAN DE AT&T.

El adaptador de PCMCIA AT&T, WaveLAN, junto con el puente WavePOINT tienen un buen rendimiento y fuertes opciones de administración. El cambiar las MCs de un punto de acceso a otro no es fácil. WaveLAN no permiten movilidad. El WaveLAN PCMCIA, está dividido en dos partes: una tarjeta tipo II, que opera en la banda de los 902 a 928 Mhz con una ranura PCMCIA, y una pequeña unidad de antena, que se agrega a la parte trasera del panel de vídeo de la computadora. WaveLAN resultó con un buen rendimiento en cuanto a distancia, fue aceptable de 100 a 1,000 pies. Se pudo realizar una conexión pasando a través de dos paredes y una puerta de cristal con sólo una pequeña degradación de la señal.

La configuración de los puentes WavePOINT es de conectar y usar, excepto que posiblemente se tenga que cambiar uno o dos interruptores en el exterior para adecuarlo a su tipo de medios. Las opciones de administración de WaveLAN incluyen: control de acceso de una LAN alambrada, estadísticas sobre los paquetes, y mediciones de la señal. Las mediciones de la señal usan diagramas de barra para mostrar la fortaleza de la señal y la razón de señal/ruido. Para seguridad adicional en la red, hay opciones disponibles de codificación de datos.

RANGELAN2 DE PROXIM INC.

Proxim tiene el adaptador RangeLAN2/PCMCIA y el RangeLAN/Access Point. Esta solución tiene fuertes capacidades de movilidad, herramientas para diseñar redes inalámbricas. Este es un adaptador para Ethernet compatible con el PCMCIA Tipo II que opera en las frecuencias de 2,4 a 2,484 GHz. El RangeLAN2 tiene una antena y un transmisor que debe adherirse al dorso de la MC. La antena es liviana y fácilmente desmontable, al contrario de la antena paralela de Solectek.

El rangeLAN2/Access Point, con un tamaño aproximadamente igual a la mitad de una computadora de escritorio, cubre la brecha entre la computadora móvil y un segmento alambreado de LAN. La antena del punto de acceso, que parece una palanca de juego, se conecta al dispositivo por un cable de 1.22 m de largo. No es tan pequeño, ni tan fácil de montar en la pared como la de solución de Xircom, que es de conectar y usar.

El RangeLAN2 realizó con satisfacción pruebas de rendimiento y fue el único producto en esta comparativa con capacidades completas de movilidad. Los usuarios pueden moverse libremente por los pasillos de las oficinas sin tener brechas de transmisión siempre que las células de los puntos de acceso se superpongan. Una vez que las células se superponen, el software del adaptador detecta que se está alejando del rango del punto de acceso e interroga a los otros puntos de acceso para ver cuál tiene la señal más fuerte. Esto trabaja bien, dependiendo de la colocación de los puntos de acceso y las antenas a lo largo de la oficina. En general, las excelentes capacidades de movilidad de RangeLAN2, sus

herramientas de diseño, y su ejecución adecuada en las pruebas de rendimiento lo hacen una de las mejores soluciones inalámbricas de operación en redes del mercado de hoy.

AIRLAN DE SOLETECK.

Ofrece soluciones de adaptador inalámbrico PCMCIA paralelo y de ISA, Solectek Corp., le permite tener bajo un mismo techo inalámbrico todas las necesidades del sistema. Los dos adaptadores que se probaron, el AirLAN/PCMCIA y el AirLAN/Paralelo, proveen alcance y rendimiento superiores al promedio, pero sin habilidades de movilidad. Estos productos operan en frecuencias de 902 a 928 Mhz. El AirLAN/PCMCIA es un adaptador del tipo II, compatible con PCMCIA, el AirLAN/Paralelo es un adaptador paralelo que tiene una batería recargable.

La antena del adaptador AirLAN/PCMCIA es liviana y fácil de quitar, y se monta en un soporte al dorso de la PC. El adaptador AirLAN/Paralelo también se monta en la cubierta, pero su tamaño no es tan cómodo.

El adaptador AirLAN/Paralelo fue más lento que el AirLAN/PCMCIA. La mayor diferencia fue en la prueba de alcance. El AirLAN/PCMCIA mantuvo su rendimiento a más de 1,000pies, el AirLAN/Paralelo no pudo alcanzar los 700 pies. La serie inalámbrica AirLAN de Solectek ofrece una solución para casi cualquier tipo de sistema: una PC de escritorio con un puerto paralelo, una PC tipo portátil paralelo, una PC tipo portátil con una ranura PCMCIA, o hasta un sistema basado en pluma con un puerto paralelo o una ranura PCMCIA.

NETWAVE DE XIRCOM INC.

Xircom no sólo se libra del cable en esta solución inalámbrica de LAN sino que el adaptador CreditCard también elimina la antena, ya que la incorpora en la propia tarjeta PCMCIA, dejando sólo una pequeña protuberancia. Este diseño único tiene sus ventajas y desventajas.

Por una parte, hace a este adaptador aun más portátil y flexible que las otras soluciones. Como no tiene una antena que cuelgue de su MC, hace más fácil moverse.

El tamaño pequeño de la antena y la relativamente baja potencia de transmisión del adaptador limitan el alcance y las capacidades de transmisión. Puede ser necesario tener múltiples puntos de acceso para cubrir completamente la oficina. Xircom planea tener una mejora de software con movilidad completa. Como el RangeLAN2 de Proxim, Netwave usa saltos de frecuencia y opera en la banda de 2.4 hasta 2.484 Ghz para transmitir y recibir datos. El adaptador trabaja con el Netwave Access Point para conectar un cliente móvil o estacionario a la LAN alambrada, o directamente con otros adaptadores Netwave.

El Access Point crea una zona de servicio a su alrededor para proveer comunicaciones inalámbricas dentro de un radio de 50 m. Sin embargo, si la red excede el alcance del adaptador, se necesitará comprar por lo menos dos puntos de acceso y alambrarlos juntos para lograr la cobertura adicional.

Para dejar que los usuarios se muevan, se deberán colocar estratégicamente varios puntos de acceso para constituir una serie de zonas de servicio que se superponen una con la otra, creando una zona mayor de servicio. El Access Point es un dispositivo compacto y liviano. La administración del punto de acceso es limitada. Netwave ofrece flexibilidad, facilidad de uso, y buenas opciones de seguridad.

En la figura 1.9 y en la tabla 1.1 se resumen las pruebas realizadas.

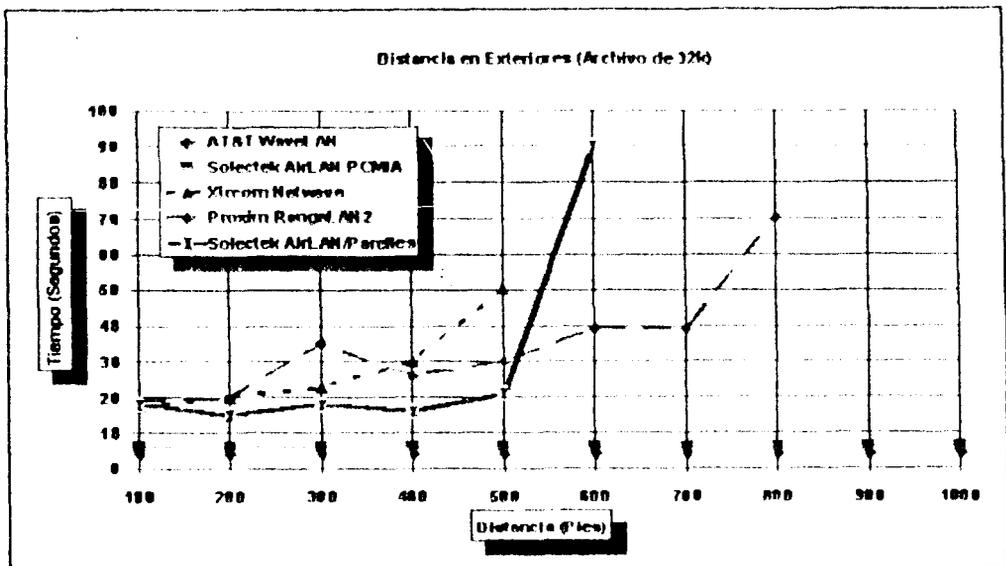


Figura 1.9 Comparación de distancia en exteriores sobre el tiempo de propagación

	AT&T	PROXIM	SOLECTECK	SOLETECK	XIRCOM
	WaveLAN	RangeLAN2	AirLAN	AirLAN	Netwave
	PCMCIA	PCMCIA	PCMCIA	Paralelo	PCMCIA
PRECIOS					
Adaptador de LAN	US\$ 695.00	US\$ 695.00	US\$ 699.00	US\$ 699.00	US\$ 599.00
Punto de Acceso	US\$1,995.00	US\$1,895.00	US\$4,799.00	US\$4,799.00	US\$1,499.00
CARACTERISTICAS DE HARDWARE					
Técnica de modulación	S. Directa	S. Frecuen	S. Directa	S. Directa	S. Frecuen
Frecuencia usada	902-928Mhz	2,4-2,484 Gz	902-928 Mhz	902-928 Mhz	2,4-2,484 Gz
Canales usados	N.A.	79	N.A.	N.A.	78
Suspenc. y continuac.	SI	SI	SI	SI	NO
Admón. de energía	SI	SI	SI	SI	NO
CARACTERÍSTICAS PUNTO DE ACCESO.					
movilidad	NO	SI	NO	NO	NO
Cable 10BaseT (UTP)	SI	SI	SI	SI	SI
Cable 10Base2(COAXIAL)	SI	SI	SI	SI	SI
SIST OPERATIVO DE REDES					
LAN Manager	SI	SI	SI	SI	SI
NetWare 3.x	SI	SI	SI	SI	SI
NetWare 4.x	SI	SI	SI	SI	SI
OS/2 LAN Server	SI	SI	SI	SI	SI
UNIS	SI	NO	NO	NO	NO
VINES	SI	SI	SI	SI	SI
Windows NT 3.1	SI	SI	SI	SI	SI
LANTASTIC	SI	SI	SI	SI	SI
Windows For Groups	SI	SI	SI	SI	SI
CARACT DE ADMON					
Protocolos	Ninguno	Ether Talk, IP/ARP,IPX, TCP/IP	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Direcciones de MAC	SI	NO	SI	SI	SI
Apoya SNMP	SI	SI	NO	NO	NO

Tabla 1.1 Comparación de los adaptadores inalámbricos analizados.

CAPITULO 2

ESPECTRO ENSANCHADO

2.1 HISTORIA DEL DESARROLLO DE LAS TÉCNICAS DE ESPECTRO ENSANCHADO

La tecnología espectro ensanchado fue desarrollada sobre necesidades militares. Era un resultado natural de la segunda guerra mundial en la cual la tecnología desempeñó un papel importante. Su desarrollo comenzó en los años cuarenta. Quizás la mejor manera de describir su historia está en primero conocer abreviadamente las técnicas en teoría y la tecnología en comunicaciones que estaban disponibles durante este período.

En 1930, Norbert Wiener publica Análisis Armónico Generalizado. Wiener es el inventor del modelo probabilístico del flujo de información en sistemas de comunicación y de control.

En 1935, los ingenieros alemanes que trabajaban para TELEFUNKEN, Paul Kotowski y Kurt Dannehl solicitaron una patente para un dispositivo usado para enmascarar señales de voz con una señal de ruido igualmente de banda ancha producida por un generador que rotaba. El receptor tenía otro generador que rotaba y que al sincronizarse con el transmisor se utilizó para recuperar la señal de ruido y de la voz. Esta invención era un punto de partida en el desarrollo de los sistemas de comunicación de espectro ensanchado usando la técnica de secuencia directa.

En 1942, el Ingeniero Nathan Marchand, de 26 años de edad, trabajando para ITT (Federal Telephone and Radio Corporation) en Nueva York, patenta el “correlator band-pass”.

Shannon en 1947 desarrolla sus teorías de comunicación. Las teorías de Shannon y de Wiener estimularon al Instituto de Ingenieros de Radio (IRE) formar un grupo de profesionales en teoría de comunicaciones. Nathan Marchand y Louis de Rosa, presidentes del IRE, desempeñaban en ese entonces papeles dominantes en el desarrollo de los sistemas de espectro ensanchado.

Alguna vez durante la Segunda Guerra Mundial, Henri Businger junto con Louis de Rosa desarrollaron un sistema de comunicaciones cambiante en el tiempo que era un pariente temprano de los sistemas modernos de espectro ensanchado por salto de tiempo.

Los progresos tales como teorías y otras investigaciones de Shannon contribuyeron a la aparición del espectro ensanchado como se sabe hoy. Aunque los sistemas del espectro ensanchado eran desarrollados bajo secreto, había un cierto intercambio de información entre diversos investigadores. Muchos sistemas del espectro ensanchado emergieron durante ese tiempo. Algunos de ellos son WHYN, ruedas de ruido, y NOMAC (Noise Modulation And Correlation). WHYN (Wobulated HYperbolic Navigation) fue desarrollado por Sylvania durante los mediados de los años 40. Este sistema de navegación fue utilizado para dirigir los misiles.

Los estudios extensos de las técnicas de espectro ensanchado fueron hechos en los laboratorios del MIT y MIT's Lincoln Laboratories. Muchas de las investigaciones

fueron realizadas por estudiantes graduados, dirigidos por Group Leaders Fano y Davenport. Las técnicas bajo estudio fueron nombradas “Noise Modulation and Correlation” o NOMAC. El primer sistema de NOMAC fue utilizado para la comparación de los funcionamientos de los sistemas de transmisión que funcionaban en presencia de ruido gaussiano de banda ancha.

Pero hasta ahora solo hemos visto un pequeño cronograma del origen de las técnicas de espectro ensanchado. Pero la historia de su nacimiento va mas allá. Su evolución fue un drama épico de proporciones legendarias. En el centro de la historia está una mujer joven hermosa, de creatividad e inteligencia que la condujo a revolucionar la tecnología de las comunicaciones en el siglo XXI. Hoy, Hedy Lamarr vive en Estados Unidos en Florida. Durante la guerra mundial II, sin embargo, ella era una estrella encantadora de Hollywood.

Fritz Mandl era uno de los fabricantes más grandes de armamentos en Europa. Él se había hecho el principal distribuidor de armamentos del ejército austriaco durante la primera guerra mundial, él y Austria violaron el tratado de Versalles vendiendo las armas a Hungría. Por otra parte, él tenía reputación de vender bombas y los aeroplanos a Hitler. Lamarr y Mandl se casaron en 1933. Mandl conducía la investigación en sistemas de control de armas. La investigación indicaba que las ondas de radio eran mejores que el alambre para las armas que controlaba, como los torpedos. Era difícil asegurar que el canal de comunicaciones entre un comandante y un torpedo no se rompería, dejando al torpedo planear su propio curso. Las ondas de radio solucionaron el problema de necesitar una conexión física de comunicación entre el comandante y el torpedo. Pero las ondas

de radio tenían un defecto serio: los enemigos podrían tener acceso a la misma onda de radio e interferir.

Lamarr conoció a George Antheil, que había estado en la vanguardia de la música experimental en los años 20, parte de la primera generación de los artistas que exploraron música mecánica como expresión de la sociedad industrial. Antheil era absolutamente famoso en Europa, y había hecho muchos trabajos creativos allí. Pero cuando Hitler comenzó a cerrar las casas de ópera alemanas, Antheil viaja a los EE.UU. porque su fuente de trabajo era amenazada. Este estaba muy enojado sobre la influencia de Hitler en las artes de Europa.

En ese contexto, Lamarr le contó a Antheil sobre su idea de un sistema que podría dirigir torpedos a su blanco sin ser interceptado por el enemigo, enviando mensajes entre el transmisor y el receptor por medio de radiofrecuencias múltiples en un modelo al azar. El mensaje se movería tan rápidamente a través de las ondas de radio que cualquier persona que tratara de escuchar una frecuencia determinada solamente oiría ruido, y no podría interceptar el mensaje.

El problema era la sincronización entre el transmisor y el receptor. Como resultado de sus experimentos musicales, Antheil tenía mucho de experiencia con la sincronización de sonidos.

Él dio la solución para que la idea funcione, rodillos de papel perforados con un modelo pseudo aleatorio que delinearían el camino de la frecuencia. Dos rodillos con el mismo modelo serían instalados en el transmisor y el receptor. Si los dos rodillos empiezan al mismo tiempo, y uno permaneciera en el punto fijo del

lanzamiento mientras que el otro fuese lanzado con el torpedo, y si se tuviera una buena estabilidad rotatoria en el motor que conducía los rodillos de papel, se mantendría derecha la sincronización. Pero era una idea poco práctica.

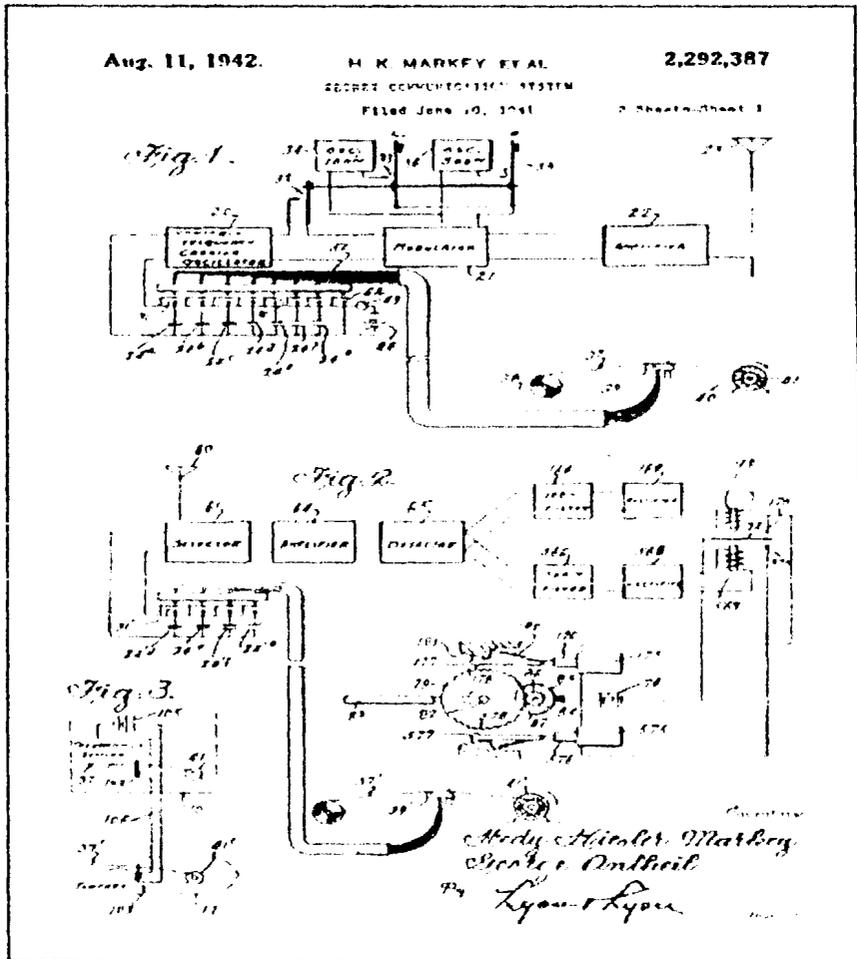


Figura 2.1 Patente número 2.292.387 de los Estados Unidos

Lamarr y Anthel enviaron su invención al consejo nacional recientemente establecido por los inventores. Los dos inventores trabajaron con un ingeniero eléctrico del MIT para hacer mejoras técnicas, y sometieron su invento a la patente en 1941. El 11 de agosto de 1942, Lamarr y de Anthel le fue concedido la patente número 2.292.387 de los EE.UU. para el sistema de comunicaciones secreto. La marina, sin embargo, rechazó tomar el sistema de comunicación secreto

seriamente. Cuando la guerra terminó, Lamarr y Antheil pusieron la invención detrás de ellos. No debía ser puesta en ejecución en el curso de la vida de Antheil. Sin embargo, mientras que aparentemente la patente estuvo inactiva, los ingenieros de la división electrónica de los sistemas de Sylvania comenzaron a experimentar con las ideas de la patente secreta, usando componentes digitales en lugar de los rodillos de papel. Desarrollaron un sistema electrónico de espectro ensanchado que manejó las comunicaciones seguras para los EE.UU. durante la crisis cubana en 1962. Para entonces, la patente secreta del sistema de comunicaciones había expirado. En los mediados de los años ochenta, los militares de los EE.UU. mostraron la tecnología, y el sector comercial comenzó a desarrollarla para la electrónica de consumidor.

2.2 CONCEPTOS GENERALES

Los aspectos teóricos de usar espectro ensanchado en un ambiente fuerte de interferencia se ha sabido por más de cuarenta años. Es reciente que las puestas en práctica llegaron a ser factibles, además que eran excesivamente costosas. Los adelantos tecnológicos nuevos, y las técnicas avanzadas en proceso de señales permitieron desarrollar equipos menos costosos para el uso civil.

Los diseñadores de los sistemas de comunicación se refieren a menudo a la eficacia con la cual los sistemas utilizan la energía y el ancho de banda de la señal. De la mayoría de los sistemas de comunicación éstas son las condiciones más importantes. En algunos casos, sin embargo, existen situaciones en las cuales es necesario que el sistema resista interferencia externa, funcionar en la energía

espectral baja, proporcionar la capacidad de acceso múltiple sin control externo, y proporcionar seguridad para que el canal sea inaccesible a otros módulos de recepción. Así, es a veces necesario sacrificar algo de la eficacia del sistema para conseguir estas características. Las técnicas del espectro de la extensión permiten lograr tales objetivos. Espectro Ensanchado es una forma de transmisión de datos, a través de ondas de radio, diseñada especialmente para minimizar la interferencia entre múltiples usuarios, evitar la interferencia de señales externas, evitar la intervención de las transmisiones y aumentar la velocidad de transmisión de datos.

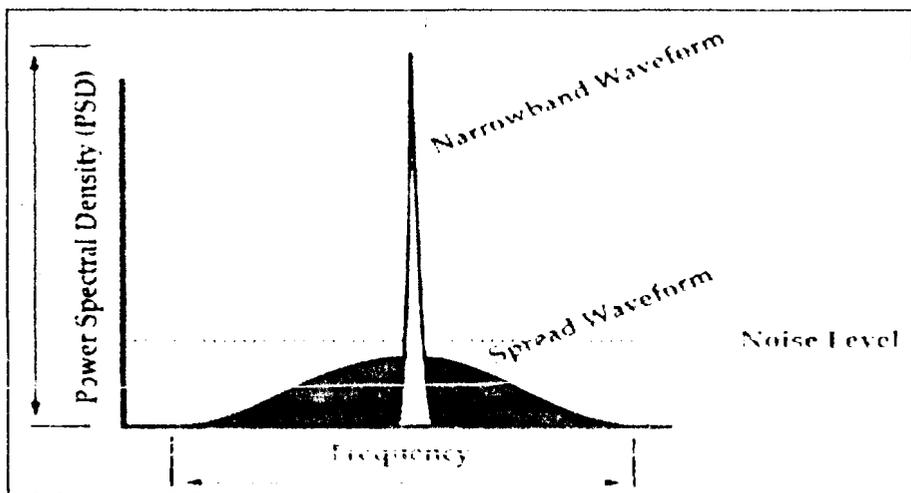


Figura 2.2 Comparación de espectro ensanchado con banda angosta

A diferencia de las tecnologías de transmisión de datos anteriores como banda angosta (narrow band), que transmitía datos a través de un simple, angosto y restringido rango de frecuencias, espectro ensanchado, tal como su nombre lo indica, reparte la señal en un amplio rango de frecuencias. La extensión es alcanzada usando una función que sea independiente del mensaje. Un sistema de Radio Frecuencia no es mejor necesariamente, si transmite más rápido o si tiene mayor alcance. Las leyes de la física que rigen la propagación de ondas

electromagnéticas (como las de radio) en el aire y que son comunes a todas las tecnologías, indican que a mayor razón de transmisión de datos, menor alcance y cobertura. Un sistema basado en banda angosta transmitiendo a la misma velocidad de datos de un sistema de espectro ensanchado tendrá el mismo alcance.

Todos los sistemas de espectro ensanchado tienen que satisfacer dos criterios:

- El ancho de banda de la señal transmitida debe ser mayor que la señal a ser transmitida
- El ancho de banda transmitida se debe determinar por una cierta función que sea independiente del mensaje y que lo sepa el receptor.

Una señal se llama seudo aleatoria, cuando aparece al azar la información que está contenida en ella. Una de las características más importantes de una señal espectro ensanchado (SS) es que contiene un número grande de formatos que se pueden usar diversas señales en la misma frecuencia para diferentes receptores, así el receptor que detecta uno de estos formatos no puede detectar ningún otro formato dentro de un solo mensaje. El número de los formatos usados en un sistema SS se llama factor de multiplicidad del puente de comunicaciones. La mayoría de los sistemas de comunicación bien conocidos, tienen un factor de la multiplicidad cerca de la unidad mientras que los sistemas de los SS tienen factores de multiplicidad en los millares. Así, puede ser que un intruso que intenta interferir con la comunicación tiene que saber exactamente los factores que se están utilizando, que no es muy probable considerando la talla del factor de la multiplicidad de los SS.

Los transmisores de espectro ensanchado usan similares niveles de energía que los transmisores de banda estrecha. Estos transmiten a una densidad de energía espectral mucho más baja, medida en Vatios por Hertz, que los transmisores de banda estrecha. En la figura 2.3 se muestra los elementos fundamentales de un sistema de Espectro Ensanchado. El codificador del canal produce una señal analógica a partir de los datos de entrada con un ancho de banda relativamente estrecho en torno a su frecuencia central. Esta señal se modula posteriormente usando una secuencia de dígitos aparentemente aleatoria llamada secuencia pseudo aleatoria. Con esta modulación lo que se pretende es aumentar drásticamente el ancho de banda de la señal a transmitir. En el receptor se usa la misma secuencia de dígitos para demodular la señal, así la señal demodulada se decodifica para recuperar los datos originales.

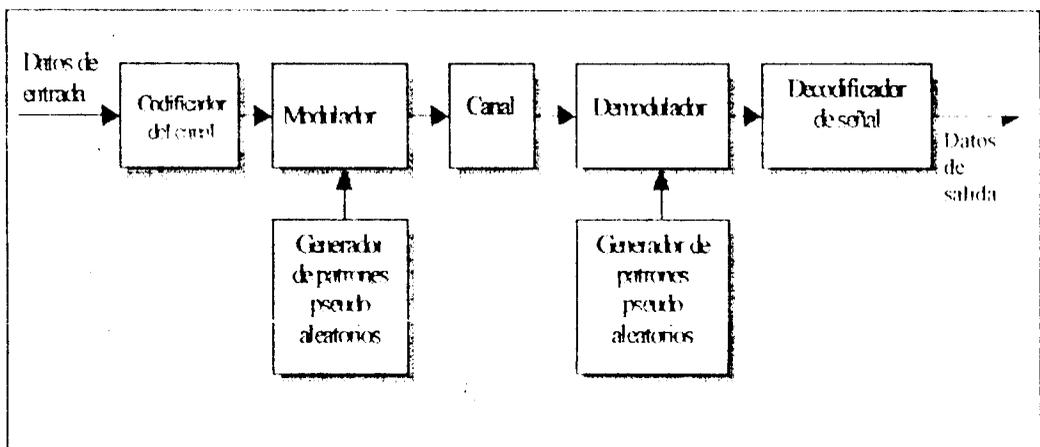


Figura 2.3 Modelo general de un sistema de comunicación digital de espectro ensanchado.

Acerca de la denominada secuencia pseudo aleatoria, ésta se genera mediante un algoritmo a partir de un valor inicial denominado semilla. El algoritmo es determinista por lo que la secuencia que genera no es estadísticamente aleatoria,

sin embargo, si el algoritmo es suficientemente bueno puede considerarse aleatorio, por eso se denominan usualmente número pseudo aleatorios. La clave aquí es que a menos que se conozca tanto el algoritmo como la semilla, es casi imposible predecir la secuencia. Por lo tanto solo los receptores que conozcan esta información serán capaces de decodificar adecuadamente la señal.

Hay varias propiedades únicas que surgen como resultado de la secuencia de código pseudo aleatoria y la amplia señal de ancho de banda que resulta de extender la propagación. Dos de ellas son direccionamiento selectivo y la multiplexión por división de código. Mediante la asignación de un código dado a un único receptor o a un grupo de receptores, pueden ser direccionados individualmente o por grupo por otros receptores asignados con un código diferente. Los códigos pueden ser elegidos también para minimizar la interferencia entre grupos de receptores. De esta forma, se puede transmitir más de una señal al mismo tiempo en la misma frecuencia. El direccionamiento selectivo y el Acceso Múltiple de División de código (CDMA - Code Division Multiple Acces) se implementan mediante estas codificaciones. Un segundo conjunto de propiedades es su baja probabilidad de interceptación (LPI - low probability of intercept) y anti-interferencias. Cuando la inteligencia de la señal es extendida a varios megahercios del espectro, el espectro de energía resultante es también extendido. Esto produce que la energía transmitida se extienda sobre una amplia frecuencia de ancho de banda y hace que su detección en sentido normal (sin el código), muy difícil. Ya que LPI no es una aplicación típica para radioaficionados, sería mejor renombrar esta propiedad como "reducción de interferencia". Así, espectro ensanchado puede sobrevivir en

un entorno adverso y coexistir con otros servicios en la banda. La propiedad de resistir interferencia es resultado del amplio ancho de banda usado para transmitir la señal. Se recuerda el teorema de la proporción de información de Shannon.

$$C = W \log (1 + S/N)$$

C = capacidad en bits / segundos

W = ancho de banda

S = energía de la señal

N = energía del ruido

Donde la capacidad de un canal es proporcional a su ancho de banda y la proporción de ruido en la señal sobre el canal. Expandiendo el ancho de banda varios megahercios e incluso varios cientos de megahercios, hay más que suficiente ancho de banda para transportar la proporción de datos requeridos y tener incluso más de sobra para contrarrestar los efectos del ruido. Esta cualidad de anti-interferencia se expresa normalmente como procesamiento de ganancia.

La expectativa general es que comercialmente se vaya a ir haciendo cada vez más uso de espectro ensanchado para la transmisión de datos. A causa de que la potencia de emisión se difunde sobre una banda ancha, puede ser usada por encima de bandas de frecuencia existentes, sin interferir la recepción de banda angosta. Por eso es posible admitir más usuarios en una banda de frecuencia. Otra ventaja es la seguridad de la comunicación. Al fin y al cabo, la información se envía cifrada. En un sistema RLAN con 100 usuarios que utilizan espectro ensanchado es suficiente con 1 frecuencia emisora y 100 señales-codificadoras

diferentes. La información se codifica, entonces, directamente. Todos los elementos de cada red local inalámbrica basadas en espectro expandido utilizan el mismo código de expansión, lo cual permite la diferenciación y que esa red coexista con otras redes o con otros sistemas en la misma banda de frecuencias. En conclusión, se esparce la señal a lo largo de un amplio ancho de banda evitando concentrar la potencia sobre una única y estrecha banda de frecuencias como ocurre con las técnicas convencionales; de este modo se puede usar un rango de frecuencias que ya esté siendo ocupado por otras señales.

2.3 TIPOS DE TÉCNICAS DE ESPECTRO ENSANCHADO

2.3.1 SISTEMAS DE SECUENCIA DIRECTA

La secuencia directa es, quizás, uno de los sistemas de espectro ensanchado más ampliamente conocidos y relativamente sencillo de implementar. En este sistema, cada bit de la señal original se representa mediante varios bits de la señal transmitida; a este procedimiento se lo denomina código de compartición.

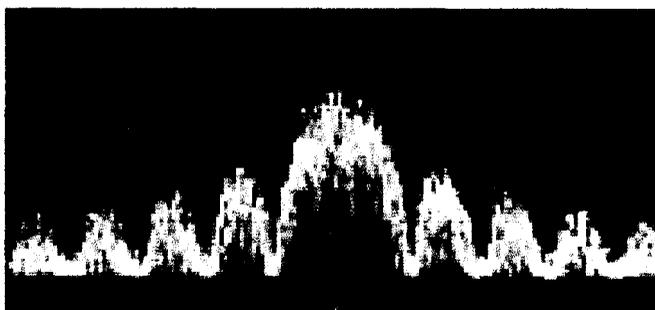


Figura 2.4 Espectro ensanchado por secuencia directa.



Este código expande la señal a una banda de frecuencias mayor, directamente proporcional al número de bits que se usen. Por tanto un código de compartición de 10 bits expande la señal a una banda de frecuencias 10 veces mayor que un código de compartición de un bit. La técnica por secuencia directa consiste en combinar la cadena de dígitos con la cadena de bits pseudo aleatorios utilizando la función OR exclusiva. En la figura 2.5 observe un uno de información invierte los bits pseudo aleatorios mientras que un BIT de información igual a cero hace que los bits pseudo aleatorios se transmitan sin ser invertidos. La cadena resultante de bits tiene la misma razón de bits que la secuencia original pseudo aleatoria, por tanto tiene un ancho de banda mayor que la cadena de información. En el ejemplo la cadena de bits pseudo aleatoria tiene una frecuencia de reloj 4 veces la frecuencia de los bits de información.

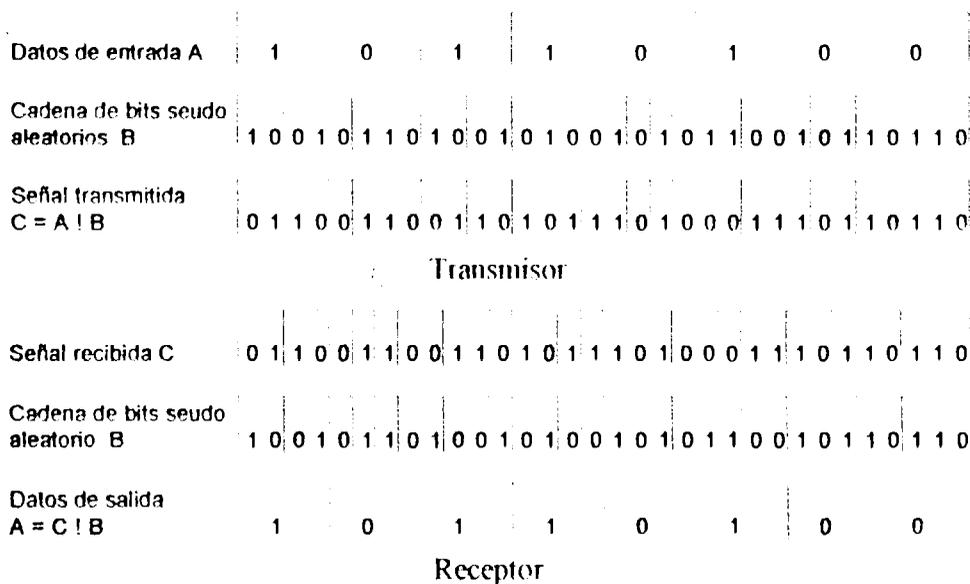


Figura 2.5 Ejemplo de Secuencia directa

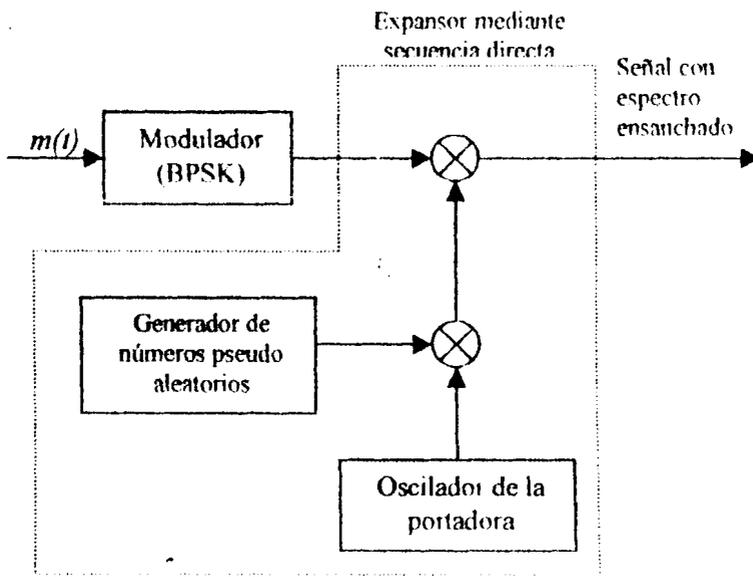
En la figura 2.6 se muestra un ejemplo de realización de un sistema típico de secuencia directa. En este caso, en lugar de realizar la función OR exclusiva entre los bits de información y los pseudo aleatorios, y posteriormente modularlos, dichos bits se convierten primero a señales analógicas y posteriormente se combinan. La expansión del espectro llevada a cabo mediante la técnica de secuencia directa se determina fácilmente.

Supóngase que los bits de la señal de transmisión tienen una anchura T_b , o que equivale a una razón de datos $1/T_b$.

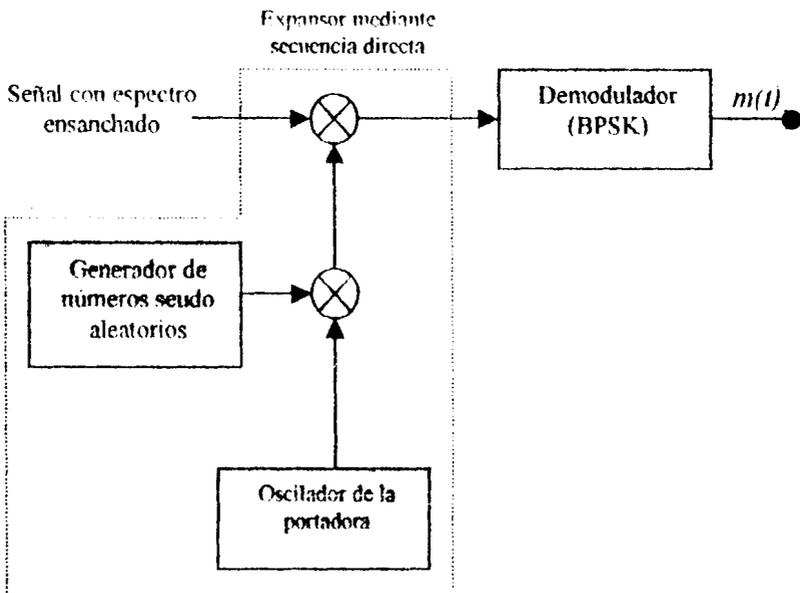
En este caso el ancho de banda de la señal, dependiendo de la técnica de codificación, es aproximadamente $2/T_b$, igualmente el ancho de banda de la señal pseudo aleatoria es $2/T_c$, donde T_c es la anchura de los bits en la entrada pseudo aleatoria.

El ancho de banda de la señal combinada es aproximadamente igual a la suma de los anchos de banda es decir $2/(T_b + T_c)$

La amplitud de la expansión conseguida está directamente relacionada con la razón de datos de la cadena pseudo aleatoria; cuanto mayor sea la razón de datos de la entrada pseudo aleatoria mayor será la expansión.



(a) Transmisor



(b) Receptor

Figura 2.6 Sistema típico de secuencia directa.

2.3.2 SISTEMAS DE SALTO DE FRECUENCIA.

El sistema por salto de frecuencia (FHSS) fue la primera implementación de espectro ensanchado y funciona de la siguiente manera: al igual que Ethernet los datos son divididos en paquetes de información, solo que estos paquetes son enviados a través de varias frecuencias aparentemente aleatorias, saltando de frecuencia en frecuencia por cada fracción de segundo transcurrido. El receptor captará el mensaje saltando de frecuencia en frecuencia sincrónicamente con el transmisor. Los receptores no autorizados escucharán una señal ininteligible. Si se intentara interceptar la señal, solo se conseguiría para unos pocos bits. La intención de enviar la información por varias frecuencias es cuestión de seguridad, ya que si la información fuera enviada por una sola frecuencia sería muy fácil interceptarla.

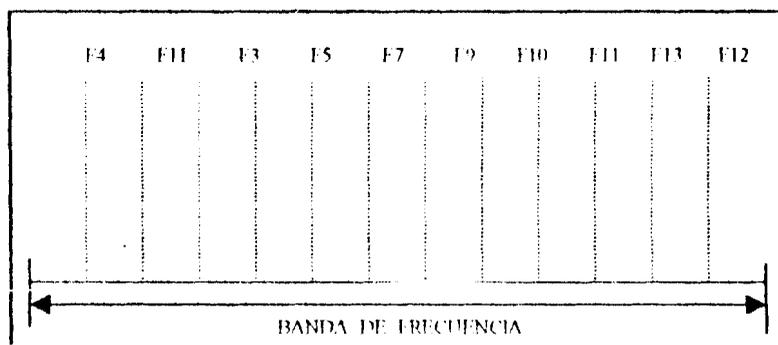


Figura 2.7 Salto de frecuencia

El diagrama típico de un sistema de salto de frecuencias se muestra en la figura 2.8. En la transmisión los datos digitales constituyen la entrada del modulador usando algún tipo de esquema de codificación digital a analógica, como por ejemplo desplazamiento en frecuencias (FSK, Frequency Shift Keying) o desplazamiento en fase binario (BPSK, Binary Phase Shift Keying). La modulación por desplazamiento de fase, PSK, es uno de los tipos de modulación digital más utilizados por sus buenas características frente al ruido y la pequeña probabilidad de error que proporciona para una relación señal / ruido determinada. La modulación PSK se utiliza tanto en radio enlaces terrenales de microondas (telefonía móvil por ejemplo) como en sistemas de comunicaciones vía satélite. La señal modulada en fase utiliza una portadora de amplitud fija, cuya fase se modifica en saltos discretos respecto a la fase de un oscilador estable según sea el símbolo modulador a transmitir. El número de saltos discretos en fase determina el número de niveles de modulación, por ejemplo, se tiene PSK binario (BPSK o 2PSK) cuando existen dos fases. La señal resultante estará centrada en torno a una frecuencia base cualquiera. Se utiliza un generador de números pseudo aleatorios que sirve como puntero a una tabla de frecuencias. A partir de dicha tabla se selecciona una frecuencia en cada uno de los intervalos considerados.

Esta frecuencia se modula por la señal producida en el modulador inicial para dar lugar a una señal nueva con la misma forma pero centrada en torno a la frecuencia elegida según la tabla anterior.

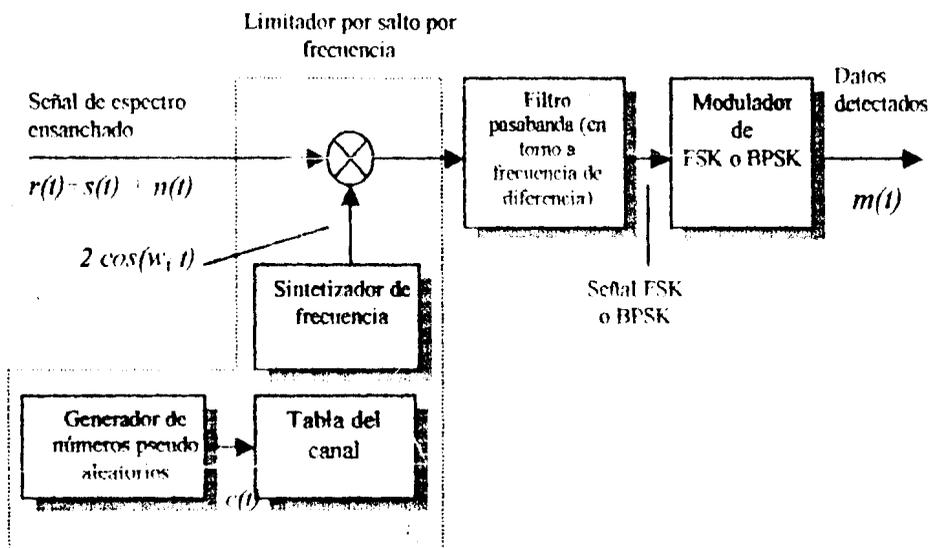
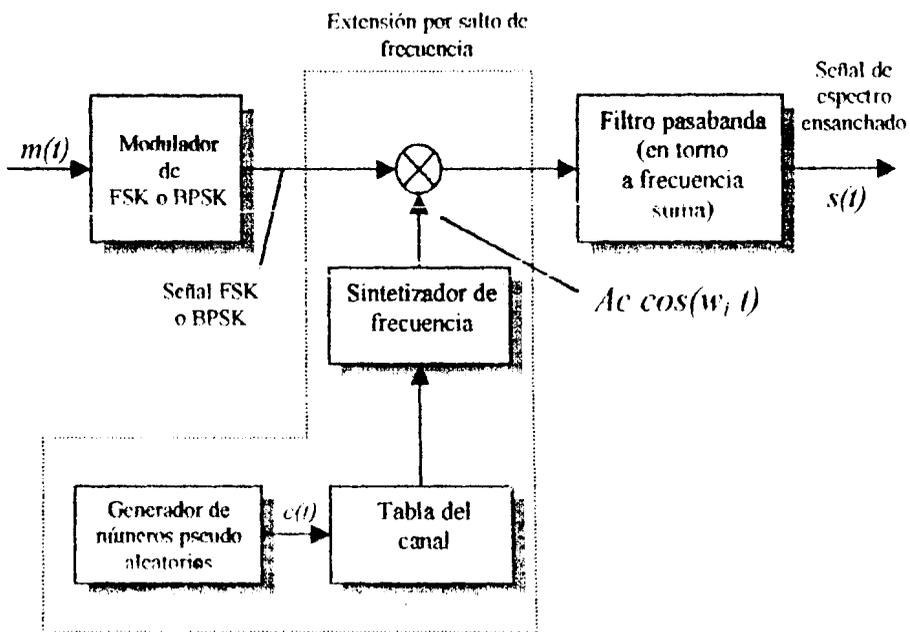


Figura 2.8 Sistema típico de salto de frecuencia.

En el receptor la señal se demodula usando la misma secuencia de frecuencias obtenidas a través de la tabla y posteriormente se demodula la señal resultante para producir los datos de salida. Por ejemplo, si se emplea FSK, el modulador selecciona una de entre dos frecuencias, digamos f_0 o f_1 , de acuerdo con el símbolo binario a transmitir (0 o 1). La señal binaria FSK resultante traslada en frecuencias una cantidad que se determina a partir de la secuencia de salida del generador del número pseudo aleatorio. Así, si en el instante i se selecciona la frecuencia f_i , la señal en ese instante será $f_i + f_0$ o $f_i + f_1$.

Es posible tener radios de espectro ensanchado dentro de la misma banda de frecuencia y no interferir, asumiendo que cada uno tendrá un diverso modelo de saltos. Mientras que una radio está transmitiendo en una frecuencia determinada, la otra radio está utilizando una diversa frecuencia. Un conjunto de los códigos de saltos que nunca utilizan las mismas frecuencias en el mismo tiempo se considera ortogonal.

2.3.3 SISTEMAS DE PULSO FM (chirrido)

Este es un sistema en el cual el portador RF es modulado con una secuencia de periodo y ciclo fijos. Al principio de cada pulso transmitido, la frecuencia del portador es modulada en frecuencia provocando una propagación adicional del portador. El modelo de la frecuencia de modulación dependerá de la función de propagación escogida. En algunos

sistemas, la función de propagación es una extensión del chirrido FM lineal, extendiéndose tanto por arriba como por abajo en frecuencia.

2.3.4 SISTEMAS DE SALTO DE TIEMPO

Este es un sistema en el cual el periodo y el ciclo de un portador de pulso RF son variados de una forma pseudo aleatoria bajo el control de una secuencia codificada. El tiempo de salto es usado a menudo con efectividad junto a la frecuencia de salto para formar un sistema espectro ensanchado de múltiple acceso (TDMA) y un tiempo por división híbrido.

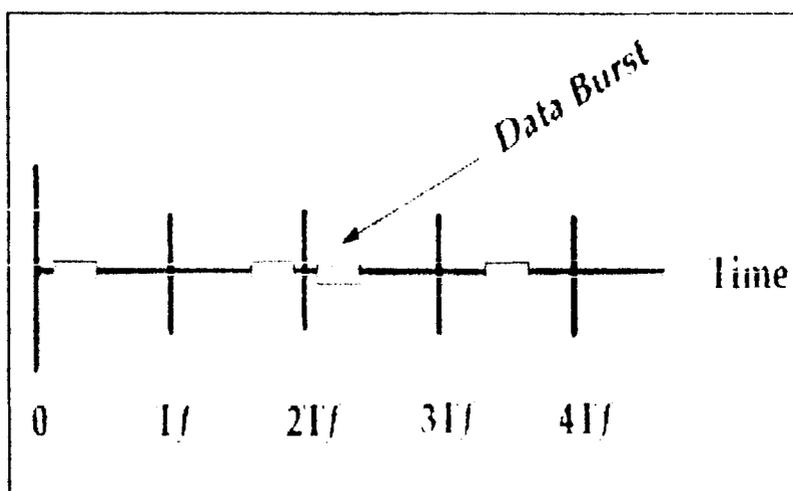


Figura 2.9 Salto en el tiempo

Cada ráfaga consiste en k bits de datos y el tiempo exacto en que cada ráfaga se transmite es determinada por una secuencia PN.

2.3.5 SISTEMAS HÍBRIDOS

Los sistemas híbridos usan una combinación de métodos espectro ensanchado con el fin de usar las propiedades beneficiosas de los sistemas utilizados.

Una combinación entre secuencia directa y salto de frecuencia. Un bit de datos se divide sobre los canales del salto de frecuencia (frecuencias portadoras).

En cada canal uno de los saltos, el código PN completo se multiplica con la señal de los datos. La ventaja de combinar los dos métodos es que se saca partido de características que no están disponibles usando un único método.

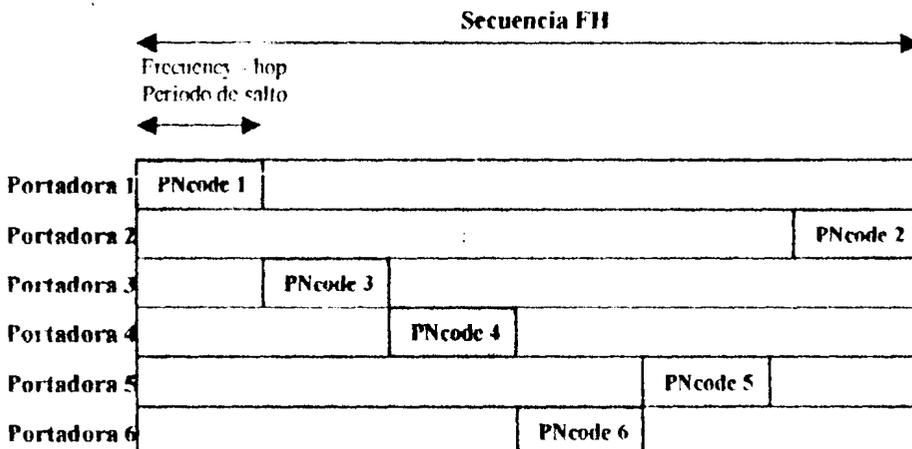


Figura 2.10 Sistema Híbrido

2.3.6 COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE MODULACIÓN DE ESPECTRO ENSANCHADO

En la actualidad son dos las técnicas comerciales más usadas, estas son secuencia directa y salto de frecuencia. Sobre la base de esto hemos comparado estas técnicas, mostrando sus ventajas y desventajas, las cuales hay que tomarlas en cuenta en un diseño. Para la elección de tecnología de modulación FHSS o DSSS tendremos en cuenta estos puntos básicos:

1. El aprovechamiento o rendimiento (relación entre bits informativos y número total de bits enviados) del canal es mejor con DSSS que con FHSS. Esto se debe a que FHSS utiliza un protocolo más complejo que DSSS, esto implica un mayor número de bits informativos. Este protocolo permite mayores capacidades en cuanto a movilidad y robustez que el que usa DSSS que es más sencillo y proporciona velocidades de transferencia de datos más elevadas en conexiones punto a punto (entre salto y salto FHSS necesita un tiempo para chequear la banda, identificar la secuencia de salto y asentarse en la misma).
2. Capacidad total de la red. En la capacidad de proceso o throughput efectivo total de la red puede definirse como la capacidad de proceso agregada máxima. En este aspecto la superioridad de FHSS aparece debida a que puede ofrecer un mayor número de canales sin solapamiento en base otra vez a la propia filosofía de FHSS, concretamente DSSS puede llegar hasta un máximo de 3 canales de 2

Mbps en la banda de 2,4 GHz, con lo que puede alcanzar hasta un máximo de 10 Mbps de capacidad frente a los 24 Mbps que se obtienen con FHSS a base de 15 canales de 1,6 Mbps.

3. Los solapamientos en la acción de los puntos de acceso pueden darse por varias razones. En grandes redes WLAN donde las distancias son muy grandes para los radios de acción existentes, se solapan varios puntos de acceso para asegurar una cobertura continua, y la cercanía entre distintas WLAN que comparten un área.

En ambos casos el solapamiento implica que las estaciones afectadas recibirán señales de distintos puntos de acceso, DSSS soporta un máximo de tres canales solapados sin interferencias -en el mejor de los casos- a partir de los cuales las interferencias producirán rendimiento significativamente menor. Sin embargo, FHSS debido a su modelo de sincronización puede proporcionar mas canales sin solapamiento o sea con solapamiento pero usando distintos canales en distintas frecuencias y con distintas frecuencias de sincronización. De hecho se podría incluso doblar el ancho de banda en un área añadiendo un segundo punto de acceso y configurándolo para un nuevo canal.

4. Fiabilidad. La norma IEEE 802.11 describe el FHSS LAN siguiendo un esquema de modulación en frecuencia (FSK, Frequency Shift Keying) y a una velocidad estándar de 1 Mbps, pudiendo llegar a 2 Mbps en condiciones óptimas. DSSS queda descrito en un esquema de

modulación en fase (DPSK, Binary Phase-Shift Keying) a velocidades de 1 Mbps en condiciones de ruido y QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying) a velocidades de 2 Mbps en condiciones de calidad.

5. Un aspecto en el que existen grandes diferencias de enfoque es el de la interferencia multipath. La interferencia multipath, asociada estrechamente a las comunicaciones por radio, consiste en una distorsión de la señal originada por la reflexión múltiple de las ondas de radio en estructuras como paredes, puertas y otros. Esto hace que la señal que se disperse en el tiempo, con lo cual llega a la antena receptora como una serie de múltiples señales en instantes ligeramente diferentes, lo que genera una atenuación de la señal conocida como fading. En este contexto, FHSS es inmune debido a su propia filosofía estructural, ya que al estar basado en el salto a diferentes frecuencias, el multipath queda automáticamente contrarrestado. Sin embargo, DSSS puede solucionar este problema aumentando la capacidad de la antena, lo que genera costes y complejidad añadidos.
6. Seguridad y encriptación. Otro tema candente es el de la seguridad, la excelencia en el nivel de encriptación: los detractores de DSSS aducen que utiliza un código de ensanchamiento extremadamente simple y que, consecuentemente, es fácil relativamente interceptar la información mediante un algoritmo bien definido que permita convertir la señal a su estado inicial, una vez captada a lo largo del camino de transmisión. Sin embargo, FHSS utiliza un número muy elevado de combinaciones de

dwelling times y secuencias de saltos para encriptar la señal, lo cual dificulta considerablemente la interceptación de la información. En este sentido, para superar esa superioridad DSSS tiene que utilizar técnicas adicionales de criptografía que añaden costes y complejidad.

7. Cobertura y costes. Cuanto mayor es la cobertura menor es la cantidad de elementos necesarios. Sin embargo, esto varía según las antenas utilizadas.
8. Una de las razones que aducen los que se inclinan por DSSS es que existe una importante base instalada de productos, aproximadamente el 75 por ciento de los productos espectro ensanchado en el mercado. Sin embargo, la mayor parte de esa base se refiere a productos en la banda de 902 MHz utilizada inicialmente por un gran número de fabricantes, con lo cual no se puede hablar de una base instalada realmente importante si nos referimos a productos en la banda de 2,4 GHz, que es realmente la banda en torno a la cual se prevén los próximos desarrollos.

Realmente, puede considerarse probada la superioridad de la tecnología FHSS desde un punto de vista que podríamos llamar científico. Sin embargo, el grupo de trabajo 802.11 de IEEE, dividido actualmente en dos grupos, trabaja en su grupo B para definir un estándar para redes inalámbricas en la frecuencia 2.4 Ghz que soporten al menos 3 Mbps con FHSS y al menos 8 Mbps con DSSS. Además han limitado posteriormente sus tareas a DSSS únicamente para lograr mayores ratios de velocidad,

considerando que las ventajas de FHSS no son tan significativas como para justificar los mayores costes que supone. Esto nos hace pensar que los desarrollos futuros se decantaran por la tecnología DSSS.

Debido a que en este proyecto pensamos en una extensión de la red mediana consistente en un par de puntos de acceso con no más de 10 estaciones clientes cada uno, y que no va a ser utilizada por equipos portátiles que requieran un especial control del solapamiento como se indica en 3 y 4. Las posibles interferencias por solapamiento entre los dos puntos de acceso pueden ser soportadas por DSSS, además se pondrá especial cuidado en la ubicación de los puntos de acceso para minimizar este solapamiento.

La seguridad puede ser mejorada y la interferencia multipath reducida mediante el aumento de la capacidad de la antena. Tenemos en cuenta especialmente la interoperatividad presente y futura que DSSS nos ofrece mediante IEEE 802.11

Al tomar una decisión en la cual la capa física a utilizar, considera las características siguientes de la técnica por salto de frecuencia (FHSS):

- Más bajo costo.
 - Consumo de energía baja.
 - La mayoría tolerante a interferencia de la señal.
-

- La velocidad de datos más baja en capas físicas individuales.
- Más capacidad agregada usando capas físicas múltiples.
- Menos rango que secuencia directa, pero mayor rango que infrarrojo.

Al decidir qué capa física a utilizar, considere las características siguientes de DSSS:

- El coste más alto.
- Consumo de la energía más alta.
- Las velocidades de datos potenciales más altas de capas físicas individuales con respecto al salto de frecuencia. La versión actual de 802,11 especifica las mismas tarifas de datos para el salto de frecuencia y la secuencia directa; sin embargo, las versiones futuras del estándar son probables utilizar tarifas de datos más altas para la secuencia directa.
- La capacidad agregada más baja usando capas físicas múltiples que la salto de frecuencia.
- El número más pequeño de las células de radio geográficamente separadas debido a un número limitado de canales.
- Más rango que la salto de frecuencia y las capas físicas infrarrojas.

2.4 INTERFERENCIA EN SISTEMAS DE ESPECTRO ENSANCHADO

El análisis de los efectos de interferencia en sistemas de espectro ensanchado (SS) es similar al análisis de los efectos en el ruido blanco. La interferencia es causada por otro transmisor que interfiere con la señal deseada. Para esta discusión se asume que la señal que interfiere tiene una potencia fija. Típicamente el ancho de banda de la señal que interfiere es menor o como mucho igual a la señal a transmitir. Así, distinta al entorno de ruido blanco, la potencia de interferencia es independiente del ancho de banda de la señal deseada. La interferencia puede ser causada por otros sistemas que funcionan en la misma frecuencia, podría ser generada intencionalmente para interrumpir comunicaciones del enemigo (entorno militar), o se podría ser parte del diseño de sistemas CDMA.

Dos tipos de interferencia pueden ser considerados:

1. **Banda estrecha:** normalmente ocurre en situaciones de recubrimiento, donde el sistema SS tiene que coexistir con otros sistemas de banda estrecha
2. **Banda amplia:** en aplicaciones comerciales, este tipo de interferencia es causado normalmente por otro sistema de espectro ensanchado compartiendo la misma banda de operación.

El análisis presentado se asume que la fuente de interferencia es firme, como opuesto a una interferencia impulsiva o intencional. Una interferencia impulsiva o intencional es usada en aplicaciones militares, y significativamente deteriora la

actuación de SS como sistema, este estudio es sólo interesado con aplicaciones civiles de tecnología SS.

2.4.1 INTERFERENCIA EN SISTEMA DE ESPECTRO DE PROPAGACIÓN DE SECUENCIA DIRECTA

Asumiendo que la señal de Secuencia Directa transmitida puede ser representada por la señal de banda base:

$$x(t) = \sum_n \hat{a}_n f(t - nT_b)$$

donde a_n es la cifra de información y T_b es un período de la señal extendida; la señal recibida afectada solo por interferencia es dada por :

$$r(t) = \sum_n a_n f(t - nT_b) + i(t)$$

donde $i(t)$ es la señal de interferencia. Esta señal después de la correlación en el receptor da como resultado:

$$R_{rn}(t) = \sum_n a_n R_{ff}(t - nT_b) + z(t)$$

donde $R_{ff}(t)$ es la función de autocorrelación de $f(t)$. La relación señal / ruido por bit en la salida del correlador es descrita por :

$$Y_b = \frac{E_b}{I_o}$$

donde I_o es dada por:

$$I_o = \frac{1}{E_c} \int_{-\infty}^{\infty} |P(f)|^2 \Phi_{zz}(f) df$$

en que $P(f)$ es la respuesta de impulso, $\phi_{zz}(f)$ es la densidad de poder espectral de la señal de interferencia $z(t)$ a la salida del correlador, y $E_c = E_b / P_G$.

Interferencia de Banda amplia

Otra vez nosotros asumimos que la interferencia de banda amplia tiene un espectro plano. Si la densidad espectral de potencia de la señal que interfiere es I , $\phi_{zz}(f) = Y_0$, donde $Y_0 = I_0$, la relación señal / ruido para interferencias de banda amplia es:

$$\gamma_{b, WI} = \frac{E_b}{I_0} = \frac{W}{R_b} \times \frac{P_{av}}{I_{av}}$$

que es idéntico a la relación en los sistemas FHSS con interferencia de banda amplia. Como en el caso de FHSS la ganancia de procesamiento incrementa el SNR P_G veces. Así, la proporción de error puede ser controlada ajustando el ancho de banda de la señal transmitida.

Interferencia de Banda estrecha

Para el análisis de los efectos de interferencia de banda estrecha en DSSS se asume que la portadora de la señal interferencia es solo la frecuencia central del sistema DSSS.

En este caso, la densidad espectral de potencia de la señal banda base equivalente es representada por:

$$\Phi_{xx}(f) = I_{av} \delta(f)$$

donde I_{av} es la potencia promedio de la señal que interfiere.

I_0 en interferencia de banda estrecha es dada por :

$$I_0 = \frac{1}{E_c} \int_{-\infty}^{\infty} |P(f)|^2 I_{av} \delta(f) df = \frac{I_{av}}{E_c} |P(0)|^2$$

donde,

$$P(0) = \int_{-\infty}^{\infty} p(t) dt$$

La relación señal / interferencia es dada por :

$$Y_{b-NI} = \frac{E_c / |P(0)|^2}{R_b} \times \frac{P_{av}}{I_{av}}$$

Para el pulso rectangular, $|P(0)|^2 = T_c E_c = E_c / W$ por lo que resulta:

$$Y_{b-NI} = \frac{W}{R_b} \times \frac{P_{av}}{I_{av}}$$

que es idéntico a la relación señal / ruido para interferencia de banda amplia.

En contraste a un sistema FHSS la proporción de error es reducido exponencialmente como la ganancia de procesamiento es aumentada.

En sistemas FHSS con interferencia de banda estrecha, la proporción de error mejora como una función recíproca de la ganancia de procesamiento.

Solo una introducción a los efectos de interferencia en sistemas de espectro ensanchado es proporcionada en lo anterior.

2.4.2 INTERFERENCIA EN SISTEMAS DE SALTOS DE FRECUENCIA

La relación señal / ruido en sistemas de salto de frecuencia (FHSS) es representada por la siguiente ecuación:

$$\gamma_b = \frac{E_b}{N_o}$$

donde N_o es la densidad de los dos lados de la densidad espectral de potencia del ruido, y E_b es la energía por bit.

El espectro de ruido blanco es plano y tapa uniformemente todas las frecuencias de salto. Por lo tanto, el SNR (receive signal) recibido en sistemas por salto de frecuencia (FHSS) es el mismo en cada brinco.

Espectro ensanchado es mucho más resistente a la interferencia que otros sistemas. La interferencia de banda estrecha en sistemas de saltos de frecuencia afecta brincos simples mientras en interferencia de banda amplia afecta todos los brincos. Quizás el mejor camino para visualizar los efectos de estos dos tipos de interferencia en el FHSS sistema es a través de un ejemplo.

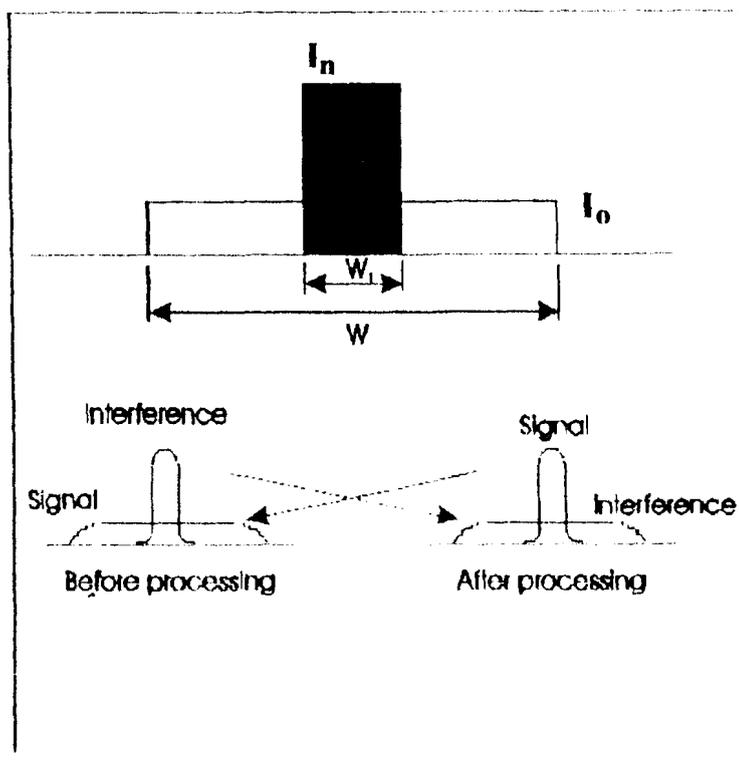


Figura 2.11 Ilustración de los efectos de interferencia de banda amplia y estrecha.

Claramente, la señal no se parece ser afectada perceptiblemente por la interferencia. En el receptor se separa la interferencia de banda estrecha y se maximiza la señal. En este estudio simplificado se hacen pocas asunciones:

- Se asumen que las señales de interferencia de banda estrecha y amplia de tener potencia espectral rectangular.
- El ancho de banda de la señal de interferencia de banda amplia se asume igual al ancho de banda W de la transmisión (su altura es I_o).
- El ancho de banda W_1 de la señal de interferencia de banda estrecha se asume más estrecha, entonces el ancho de banda en cada salto

($W \leq W/p_g$) y el alto espectral I_n . Así, la potencia recibida de interferencia se expresa como sigue.

$$I_{av} = I_n W_1 = I_o W$$

La misma potencia se asume para interferencia de banda estrecha y de banda amplia (wideband).

Interferencia de Banda amplia

En caso de interferencia de banda amplia la relación señal / ruido es expresada como:

$$\gamma_{b-WI} = \frac{E_b}{I_o} = \frac{W}{R_b} \times \frac{P_{av}}{I_{av}}$$

donde R_b es la proporción de bit, P_{av} es la potencia media de la señal transmitida y I_{av} es la potencia media de la señal que interfiere. Como se puede observar en la ecuación anterior, la relación señal /ruido es $P_G = W/R_b$ veces más grandes que si la técnica SS no fuese utilizada. La relación señal ruido usado para el cálculo de BER es P_G veces más grandes, así decremента significativamente la proporción de error.

Este resultado también demuestra la posibilidad de FHSS exista sobre otros sistemas, la cual es una característica atractiva especialmente en aplicaciones comerciales.

Interferencia de Banda estrecha

Al analizar los efectos de interferencia de banda estrecha, se asume que la señal de interferencia afecta a un solo brinco. Por ejemplo la interferencia en el ancho de banda de 1 bit por modulación de hertz sería $W_I = W/P_G = R_b$ y el alto $E_n = I_{av}/W_I$. Por lo tanto, la relación señal / ruido por bit para la interferencia de banda estrecha es:

$$\gamma_{b-NI} = \frac{E_b}{I_n} = \frac{W_I}{R_b} \times \frac{P_{av}}{I_{av}} = \frac{P_{av}}{I_{av}}$$

Es igual al SNR del sistema sin FHSS. Así, FHSS no proporciona alguna protección contra la interferencia a un brinco, pero asumimos que el resto de brinco no son afectados, entonces la señal de promedio es:

$$\overline{\gamma_{b-NI}} = \frac{NE_b}{I_n} = \frac{NW_I E_b}{I_{av}} = \frac{WE_b}{I_{av}} = \frac{E_b}{I_o} = \frac{W}{R} \times \frac{P_{av}}{I_{av}}$$

que es el mismo como SNR para interferencia de banda amplia. Así, si interferimos cada brinco exactamente, FHSS no proporciona alguna protección contra interferencia. Este escenario es muy improbable en una aplicación comercial y por lo tanto FHSS puede ser completamente eficaz en luchar contra la interferencia especialmente si usada en combinación con detección y corrección de errores.

2.5 TIPOS DE EMISIÓN AUTORIZADOS

La FCC asignó las bandas ICM (Industrial, Científica y Médica).

- ❖ 902-928 MHz,
- ❖ 2,400-2,4835 GHz,
- ❖ 5,725-5,850 GHz

a las redes inalámbricas basadas en espectro ensanchado. Entre ellas, el IEEE 802.11 incluyó en su especificación las frecuencias en torno a 2,4 GHz que se habían convertido ya en el punto de referencia en el ámbito mundial, la industria se había volcado en ella y está disponible en el ámbito mundial.

La banda ICM es sin licencia, es decir, se asigna en el sentido de que la FCC simplemente asigna la banda y establece las directrices de utilización, pero no decide sobre quién debe transmitir en esa banda usando determinadas zonas de frecuencia. De hecho algunas de estas frecuencias están siendo extensamente utilizadas por otros dispositivos como teléfonos inalámbricos, puertas de garaje automáticas, sensores remotos entre otros. Es por esto por lo que las autoridades reguladoras exigen que los productos se desarrollen dentro de algún esquema que permita controlar las interferencias.

Existe para esto una alternativa teórica que consiste en utilizar una potencia de salida muy baja, pero no resulta una alternativa práctica debido a que afecta a otros factores como, por ejemplo, la velocidad, que es crucial en este tipo de aplicaciones. Las técnicas tradicionales de modulación maximizan la potencia en

el centro de la frecuencia asignada para solventar el problema del ruido, pero resulta fácil su detección e interceptación. Además existen limitaciones establecidas.

Otras alternativas que han sido globalmente aceptadas por la industria y adoptadas por la IEEE 802.11 se refieren a los esquemas DSSS y FHSS, ambos dentro de la órbita de la tecnología conocida como espectro ensanchado. Esta tecnología se ha impuesto frente a las tecnologías tradicionales, por su excelencia y por sus mejoras en cuanto a complejidad y costes.

Espectro ensanchado, es una técnica que ha sido generada y ampliamente utilizada en el sector de la defensa por sus excelentes propiedades en cuanto a inmunidad a interferencias y a sus posibilidades de encriptación. Hace sólo unos diez años que se produjo la extensión de programas gubernamentales, orientados a una misión específica, sobre todo de defensa, al sector civil en lo que respecta a los esquemas de modulación DSSS y FHSS.

La FCC permite a los que utilizan productos sin hilos y la no obtención de las licencias pero a cambio los productos deben cumplir ciertos requisitos, tales como operación bajo transmisor de 1 vatio de potencia de salida. Esta desregulación del espectro de la frecuencia elimina la necesidad de organizaciones del utilizador de realizar las hojas de operación costosas y desperdiciadoras de tiempo de la frecuencia para coordinar las instalaciones de radio que evitarán interferencia con los sistemas de radio existentes. Esto es aún más ventajoso si usted planea mover su equipo con frecuencia porque usted puede evitar el papeleo implicado en licenciar el

producto otra vez en la nueva localización. Como usted puede ver, más anchura de banda está disponible dentro de las bandas de una frecuencia más alta, que utilizarán tarifas de datos más altas.

Muchos de los aparatos espectro ensanchado que hay en el mercado están listados como aparatos Part 15. Esto hace referencia a que el aparato opera bajo los auspicios del Título 47 Sección 15.247 del Código de Regulaciones Federales (CFR) ampliado por la FCC.

La utilización de lo anterior está limitada al salto de frecuencia y a la secuencia directa. No se permiten otras técnicas de ampliación. La Sección 15.247 define los estándares técnicos bajo los cuales deben operar estos sistemas. El equipamiento Part 15 opera en un segundo plano. Los usuarios deben aceptar interferencias de otros transmisores que operan en la misma banda y no pueden causar interferencias a los usuarios primarios de la banda. Los usuarios primarios son sistemas del gobierno y usuarios Industriales, Científicos y Médicos (ICM). El productor del dispositivo Part 15 debe diseñar un sistema que no cause interferencias y que sea capaz de tolerar el ruido de los usuarios primarios de la banda. Y aquí es donde los sistemas espectro ensanchado muestran sus excelencias a causa de sus transmisiones de poco ruido y su habilidad para operar en entornos adversos.

2.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UTILIZAR ESPECTRO ENSANCHADO

Responder ¿por qué se debería usar espectro ensanchado? puede generar fácilmente un simple listado de ventajas e inconvenientes. Sin embargo, tiene diferentes propiedades únicas que no pueden ser encontradas en cualquier otra técnica de modulación. Los radioaficionados pueden explotar estas propiedades y buscar aplicaciones útiles. La siguiente lista muestra las ventajas e inconvenientes que se pueden observar, hay que tener en cuenta que esto es así a causa de la naturaleza de espectro ensanchado, no porque sean atributos directos.

Ventajas:

- Tiene la habilidad de eliminar o aliviar el efecto de interferencias de múltiples formas.
- Puede compartir la misma banda de frecuencia con otros usuarios.
- Privacidad debido a la secuencia de código pseudo aleatoria (multiplexación por división de código)
- Baja probabilidad de ser interceptada (LPI) debido al ensanchamiento del espectro, hace dificultosa la captación de las señales transmitidas por parte de un receptor ajeno a la comunicación.
- Alta inmunidad frente a interferencia de señales multitrayecto y uso de un mismo canal por dos o más usuarios.
- Posibilidad de acceso múltiple aleatorio (CDMA), con lo cual es posible tener varios usuarios cursando comunicaciones independientes en el mismo canal.

- En sistemas celulares ideado con CDMA ofrece mayor flexibilidad operacional y posiblemente una mayor capacidad conjunta de sistema que en sistemas por multiplexación por división de frecuencias (FDMA) o en multiplexación por división de tiempo (TDMA).
- Privacidad de comunicaciones
- La mayor ventaja de la modulación de espectro ensanchado es la alta inmunidad obtenida frente a interferencias casuales (usuarios que emplean un mismo canal) o frente a interferencias intencionales por parte de alguien que desea bloquear intencionadamente una comunicación en curso

Inconvenientes:

- Ancho de banda ineficiente.
- La implementación es, de alguna forma, más compleja.

2.7 AREAS DE EXPANSION E INVESTIGACIÓN

Las típicas aplicaciones SS como ethernet por radio, usan comunicaciones punto a punto. Ellas enlazan dos subredes a distancias de varias millas con antenas externas y menos de un vatio de potencia. Los Amateurs usan más bien la tradicional técnica CSMA/CA con la cual están familiarizados en la radio por paquetes de hoy en día. Sin embargo, con el requerimiento de correlación del código amplificado se necesitaría un nodo de red que tenga múltiples receptores para escuchar en el canal y detectar cuando un nodo remoto está tratando de comunicar con él. Aquí es donde la experimentación de los radioaficionados puede

hacer avanzar mediante la creación de una red packet radio espectro ensanchado CDMA. Usando las técnicas empleadas por GPS, códigos relativamente cortos pueden ser usados para minimizar el tiempo de adquisición del receptor. Estos códigos necesitarían también tener buenas propiedades de correlación cruzada para minimizar la interferencia de acceso entre nodos.

El control de potencia es requerido para controlar la reutilización de la frecuencia más allá de la multiplexión por división de código. Nos incumbe también explorar el buen control de energía para limitar la interferencia y reducir el consumo de energía y de baterías. El itinerario de los paquetes a través de una red es típicamente una cuestión de software, pero con la habilidad de hacer la multiplexión por división de código.

Reducir el costo ha sido siempre un objetivo principal de cualquier diseñador, e incluso más desde que los aficionados están experimentando con su propio dinero. Los Amateurs tienden a ser muy frugales y encontrarán cualquier forma disponible para construir un sistema que cueste tan poco como sea posible.

CDMA no es una especialidad exclusiva de los sistemas de secuencia directa; también puede ser usado con saltos de frecuencia. TDMA no es una especialidad exclusiva de los sistemas de banda estrecha; también puede ser usado con secuencia directa o con saltos de frecuencia.



2.8 APLICACIONES DE SISTEMAS DE ESPECTRO ENSANCHADO DESDE SUS INICIOS HASTA LA ACTUALIDAD

La tecnología Espectro Ensanchado (SS) moderna se encuentra bien desarrollada. En el pasado, fue estrictamente para uso militar. Luego que ésta tecnología se volvió disponible y pública, muchas aplicaciones comerciales fueron encontradas. Las aplicaciones han llamado la atención a causa de sus propiedades tales como el uso del acceso múltiple por división de código (CDMA), la posibilidad de convivir con otras frecuencias, y la disponibilidad de bandas comerciales sin licencias.



Figura 2.12 Colectores de datos que se utilizan en redes inalámbricas SS.

Estas frecuencias están siendo utilizadas por dispositivos como, puertas de garaje automáticas, sensores remotos, colectores de datos, telemetría, sistemas scada, otras aplicaciones incluyen: comunicaciones de satélite, redes de área local inalámbricas WLANS (especialmente por la disponibilidad de la banda ICM), sistemas de alarma, sistemas de comunicación diversa que requiere conexiones seguras,

teléfonos inalámbricos, entre otros. Es por esto por lo que las autoridades reguladoras exigen que los productos se desarrollen dentro de algún esquema que permita controlar las interferencias.

En la figura 2.13 se muestran Puntos de venta, computadoras portátiles (a través de tarjetas de radio PCMCIA), PC's (a través de tarjetas de Radio ISA), capturadores portátiles. A esto se agrega cualquier dispositivo serial o paralelo (como impresoras), terminales portátiles con browsers de INTERNET O INTRANET, beepers, teléfonos celulares, etc.

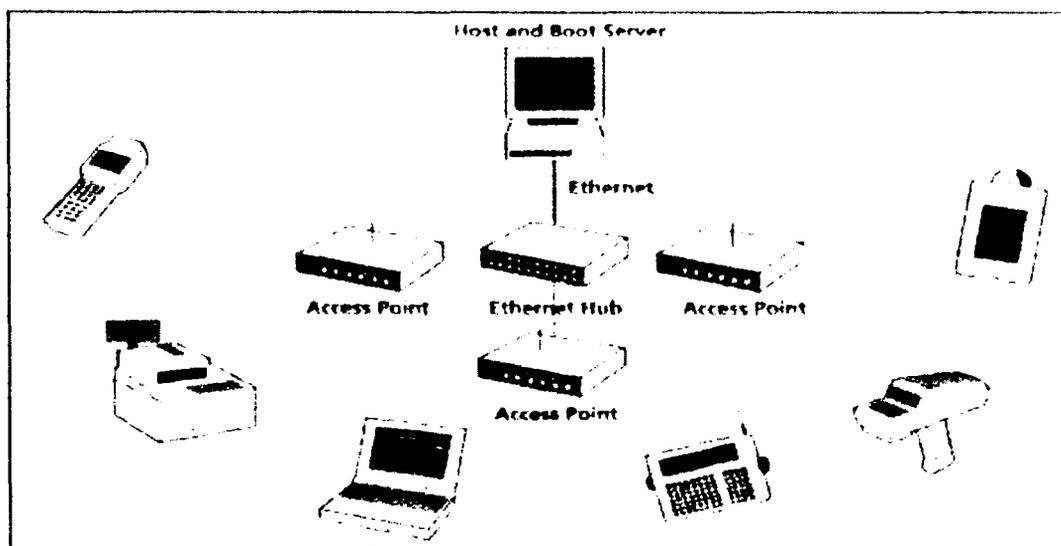


Figura 2.13 Arquitectura de un entorno inalámbrico con espectro ensanchado

El uso en redes inalámbricas crea un nuevo concepto llamado los puntos de acceso que se conectan directamente a la red Ethernet, para acceder a los servicios que se encuentran disponibles en la red. Los puntos de acceso se convierten en un elemento más, con una dirección IP propia, interactúan con los otros elementos en forma transparente. Los Puntos de Acceso hacen la función de BRIDGE entre la red

Ethernet alamburada y la red Ethernet inalámbrica. La cobertura adecuada se obtiene agregando los puntos de acceso que sean precisos. La apertura y el compromiso a los sistemas abiertos se manifiestan en la cantidad de dispositivos y periféricos que se pueden integrar en forma inalámbrica a los servicios de la red alamburada.

Los fabricantes orientados a servicios de comunicación personal y celular digital (PCS) están considerando la técnica CDMA sobre las tradicionales TDMA y FDMA. Basada en la tecnología de espectro ensanchado, aumenta la capacidad de red de la radio digital, proporcionando un servicio más fiable. CDMA ha sido usado con éxito en aplicaciones militares y cada día serán más las aplicaciones dentro de la industria por las ventajas que ofrece.

Otra de las aplicaciones actuales que utiliza FHSS bajo el estándar IEEE 802.11 para redes inalámbricas es llamada Bluetooth. La inquietud de empresas de telecomunicaciones y computación en desarrollar una interfaz abierta para facilitar la comunicación entre dispositivos sin la utilización de cables. Bluetooth es una especificación para la industria de la computación y telecomunicaciones que describe como se pueden interconectar dispositivos como, teléfonos celulares, Asistentes Personales Digitales (o sus siglas en Inglés PDA), computadoras (y muchos otros dispositivos) ya sea en el hogar, en la oficina, en el auto, etc., utilizando una conexión inalámbrica de corto alcance.

Esta especificación surgió de la colaboración de estas empresas: Ericsson, Nokia, Intel, IBM, Toshiba, Motorola y 3Com. Actualmente existen más de 600 empresas

que adoptaron esta tecnología para desarrollarla con sus propios productos. La tecnología Bluetooth es una especificación abierta para la comunicación inalámbrica de datos y voz basada en un enlace de radio. Diseñada para operar en un entorno de radio frecuencia ruidosa, utiliza un esquema de reconocimiento rápido y saltos de frecuencia para garantizar la robustez del enlace. Opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, libre para ICM. Puede soportar un canal de datos asíncrono, hasta tres canales síncronos de voz simultáneos, o un canal que simultáneamente soporta datos asíncronos y voz síncrona.

Cada canal de voz permite un enlace síncrono de 64 kb/s. El canal asíncrono permite un enlace asimétrico de 721 kb/s y 57.6 kb/s en la respuesta, o un enlace simétrico de 432.6 kb/s. Los paquetes de voz no se retransmiten, ya que el método de codificación CVSD permite que la voz sea audible incluso con altos niveles de ruido.

En cuanto a la señal de radio, se ha añadido una expansión del espectro para facilitar la operación a niveles de potencia de más de 100mW. Se producen además 79 saltos en frecuencia desplazados 1MHz, de 2.402 GHz a 2.480 GHz. Debido a regulaciones locales, el ancho de banda se ve reducido en Francia, España y Japón. Esto es gestionado por el software interno. La frecuencia máxima de saltos es de 1600 por segundo. La distancia nominal del enlace está comprendida entre 10 cm y 10 m, pero se puede aumentar a más de 100 m elevando la potencia de transmisión.

Otra aplicación más es la Conexión a Internet mediante Antenas Inalámbricas. Esta aplicación consiste en ofrecer a los usuarios el acceso permanente a Internet a través de un enlace dedicado inalámbrico que se lleva a cabo mediante equipo que opera con tecnología de frecuencia de espectro ensanchado, contando con los más altos niveles de seguridad y las facilidades de administración requeridas en este tipo de aplicaciones.

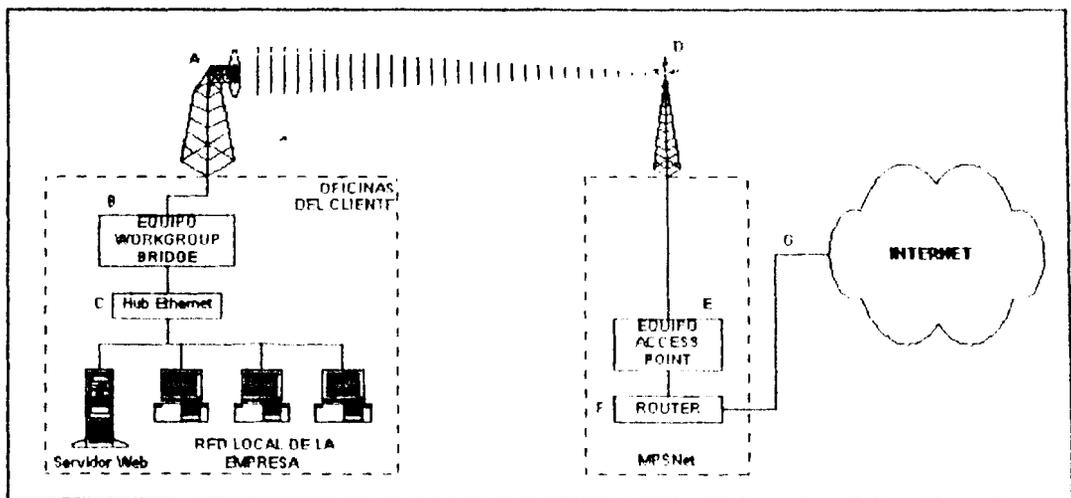


Figura 2.14 Conexión a Internet mediante un enlace dedicado.

La conexión de la red LAN por medio de este equipamiento es transparente ya que todo el sistema trabaja bajo el estándar de la norma 802.11 y su implementación es similar a la de los equipos de LAN 802.3. La conexión no requiere del empleo de un ruteador del lado del cliente. Los enlaces operan en los rangos de frecuencia de 2.4 a 2.48 Ghz. Existen muchos equipos disponibles en el mercado para esta aplicación que depende de las necesidades del usuario para ser implementados.

En la telefonía de tercera generación se usa técnicas de espectro ensanchado. Con este tipo de técnicas se consiguen anchos de banda muy superiores a los

estrictamente necesarios para la transmisión y unas densidades de potencia muy bajas. El UMTS será un sistema de comunicaciones móviles que podrá ofrecer ventajas significativas al usuario, incluyendo servicios multimedia inalámbricos de alta calidad en una red convergente con componentes fijos, celulares y por satélite. Llevará la información directamente a los usuarios y los dotará de acceso a nuevos servicios y aplicaciones. Ofrecerá comunicaciones móviles personales al mercado de masas independientemente de la ubicación, red o terminal utilizados.

Se trata de combinar movilidad con multimedia, y aunque la mayoría de la gente continúe usando principalmente la voz, la transmisión de datos será el que más recursos precisen, lo que tendrá como consecuencia una mayor necesidad de ancho de banda.

Para el usuario, el UMTS proporcionará terminales multimodo/multibanda o terminales con una interfaz de aire flexible que permitirá el roaming mundial entre diferentes localidades y también con sistemas de segunda generación. Dotará a los ciudadanos de acceso móvil a servicios de comunicación e información más avanzados, de mayor calidad y a mayor velocidades de lo que es hoy posible con los sistemas móviles actuales.

El número de servicios que nos dará la telefonía de tercera generación es muy amplio. Dividamos los servicios en tres categorías: servicios móviles, servicios interactivos y servicios de distribución. Los servicios efectivos obtenidos por un usuario dependerán de la capacidad de su terminal, del tipo de abono que haya suscrito y de la gama de servicios que ofrezca su operador de red. Los servicios que

requieran velocidades de transmisión elevadas se prestarán prioritariamente en zonas de gran actividad, por ejemplo en centros comerciales.

Los servicios que se soportarán serán tantos como la imaginación pueda crear o ya lo haya hecho para sistemas anteriores:

- Educación virtual
- Servicios de prensa y revistas
- Oficinas móviles
- Transacciones bancarias
- Tiendas de compras virtuales
- Video conferencia
- Videotelefonía
- Grupos de trabajos virtuales
- Telemedicina

CAPITULO 3

MODULACIÓN DE ESPECTRO ENSANCHADO

3.1 MODELO DE MODULACIÓN DE ESPECTRO ENSANCHADO

La mayoría de los estudios y desarrollo de sistemas de comunicación digital, se han realizado tratando de emplear el ancho de banda del canal de comunicación disponible en forma óptima y con la menor potencia posible, teniendo en consideración la exigencia de calidad para un determinado servicio. Sin embargo otras consideraciones de calidad de comunicación como la inmunidad frente a interferencias o confidencialidad de las comunicaciones han sido menos consideradas. En la actualidad estos dos últimos aspectos han cobrado mucha importancia.

La mayor ventaja de la modulación de espectro ensanchado, es la alta inmunidad obtenida frente a interferencias casuales (usuarios que emplean el mismo canal) o frente a interferencias intencionales por parte de alguien que desea bloquear intencionadamente una comunicación en curso. Las principales características de esta técnica son las siguientes:

- La modulación de espectro ensanchado ocupa un ancho de banda mucho mayor que el mínimo requerido para que los datos sean transmitidos.

- El ensanchamiento de la señal transmitida se consigue con la suma binaria de esta, con otra señal pseudo aleatoria (Código de Gold) que es independiente de la señal a transmitir.
- La recepción se realiza mediante el proceso de desensanche, la cual consiste en la suma binaria de la señal recibida con una señal local que es la réplica de la señal (código PN) empleada en la transmisión.

Existen varias técnicas de modulación de espectro ensanchado, las que se diferencian en el modo de ensanchamiento del espectro y el tipo de modulación que emplean, entre las más utilizadas tenemos:

- **Secuencia directa (DSSS).** En esta modulación la fase de una señal portadora es variada de acuerdo a una señal pseudo aleatoria resultado de la multiplicación de la señal de datos a transmitir $x(t)$ con una señal denominada código PN $g(t)$.
- **Salto de frecuencia (FHSS).** En este modo la señal resultante es una portadora que da saltos de frecuencia, cuya frecuencia instantánea varía en conformidad con una señal obtenida de la multiplicación de la señal de datos $x(t)$ y una pseudo aleatoria (código PN).
- **Salto de tiempo (THSS)-** En esta técnica a cada pulso de información $x(t)$ se le asigna un intervalo de tiempo dentro del intervalo de operación. El proceso de selección de la ubicación del pulso de información corresponde a una

Modulación de Posición de Pulso (PPM). En este tipo de modulación la frecuencia instantánea de cada pulso es una función lineal del tiempo.

Para mostrar las ventajas de la modulación de espectro ensanchado frente a interferencias, vamos a considerar, como $G(f)$ la densidad espectral de potencia de la señal a transmitir antes del proceso de ampliación y $G_{ss}(f)$ después de este.

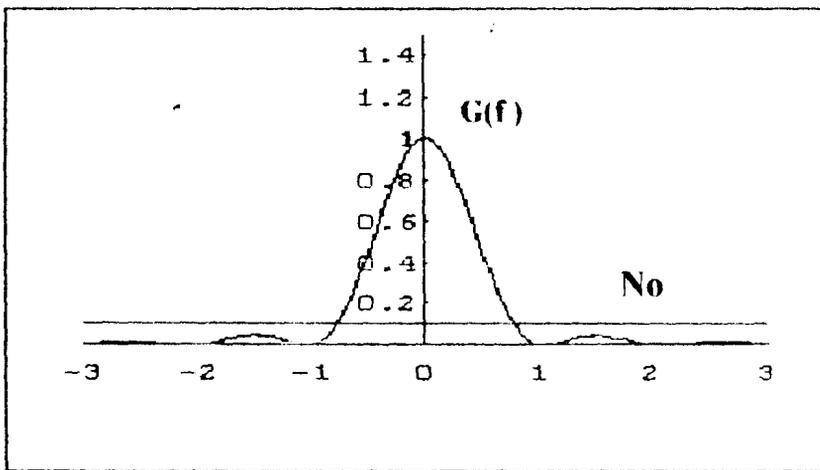


Figura 3.1 Densidad espectral de potencia de $G(f)$

En la figura 3.1 podemos ver la densidad espectral de potencia de la señal a transmitir ocupando un ancho de banda W , y la densidad espectral de potencia del ruido blanco N_0 ocupando un ancho de banda infinito. Después del proceso de ensanchado la densidad espectral de potencia de la señal a transmitir ocupa un ancho de banda W_{ss} mientras que el ruido se mantiene constante, por lo que en esta parte del proceso no tenemos una mejora del rendimiento frente al ruido. Como resultado del proceso de ensanchado se observa que la densidad espectral de la señal

original $G(f)$ se ha transformado en $G_{ss}(f)$, mientras que el ruido conserva su misma densidad espectral. Esto se muestra en la figura 3.2.

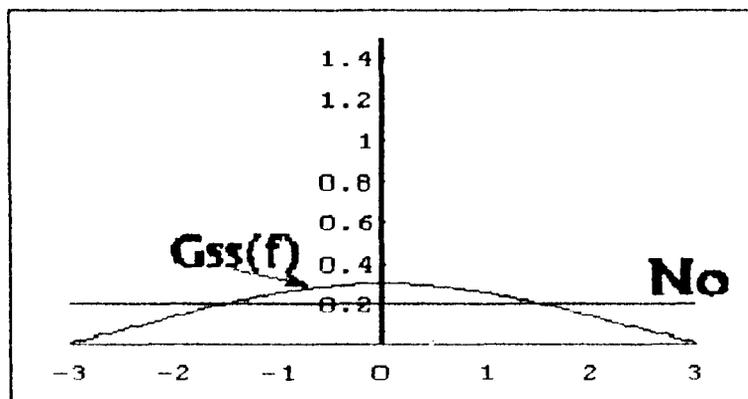


Figura 3.2 $G(f)$ después del proceso de ampliación

Vamos a suponer que la señal ensanchada es transmitida e interferida en el canal de comunicación por otra señal $I(f)$, como se muestra en la figura 3.3.

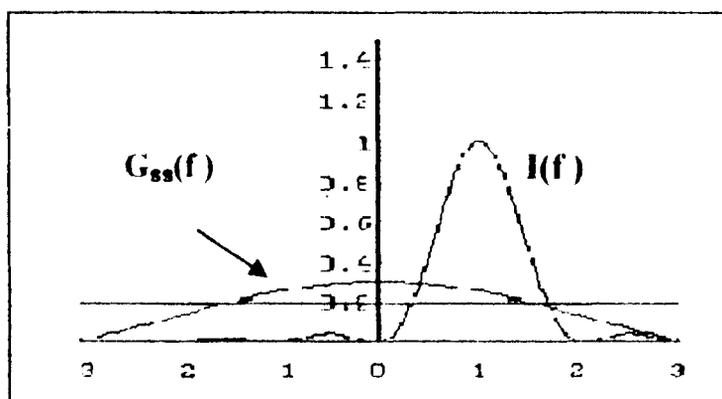


Figura 3.3 Señal de interferencia $I(f)$

Al llegar al receptor se produce en él la multiplicación de las señales de entrada por la señal de código PN del receptor y asumiendo que el código empleado para ensanchar la señal $G(f)$ es la misma que la del receptor, se producirá un

desensanchamiento para la señal $G_{SS}(f)$ y un ensanchamiento para la señal $I(f)$, lo que permitirá finalmente recuperar la información contenida en $G(f)$ tal como se muestra en la figura 3.4.

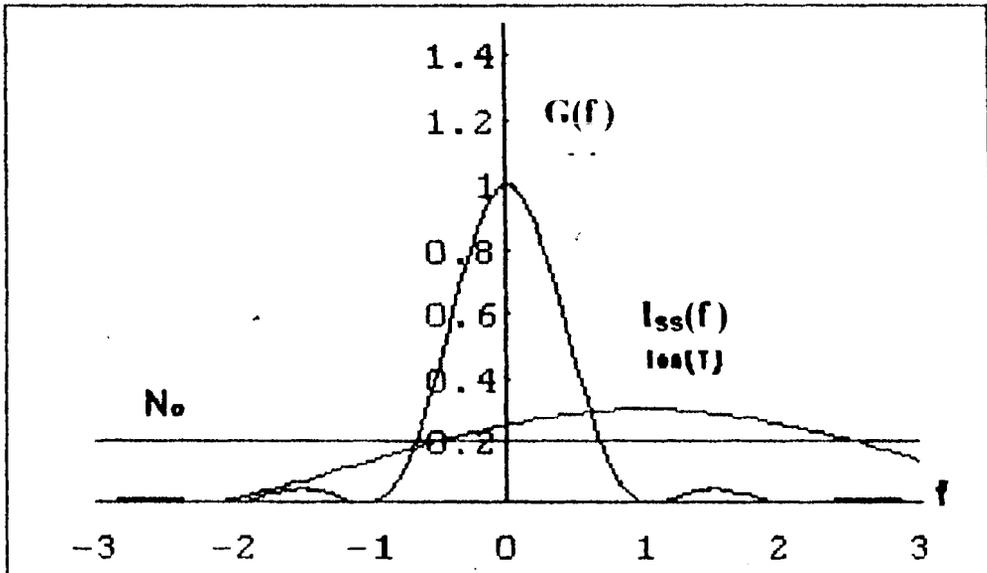


Figura 3.4 Ampliación de $I(f)$

En conclusión:

- Si una señal se multiplica una vez por la señal código PN se ensancha el ancho de banda de la señal.
- Si se multiplica dos veces seguido del filtrado correspondiente, se recupera la señal original.
- La señal deseada queda multiplicada dos veces, pero la interferente solo una vez.

Un sistema básico de modulación de espectro ensanchado puede realizarse mediante el empleo de un modulador de secuencia directa, el cual podría implementarse con un modulador BPSK, en el que la fase de la señal portadora varía en concordancia con la señal de datos a transmitir $x(t)$ y una señal pseudo aleatoria denominada código PN $g(t)$.

En el caso que la señal de información $x(t)$ se module primero con una portadora y después con una señal código $g(t)$, tendremos a la salida del primer modulador:

$$S_x(t) = \sqrt{2P} \cos[\omega_0 t + \theta_x(t)]$$

Luego esta señal BPSK se modula con una señal pseudo aleatoria, código de Gold, obteniéndose:

$$s(t) = \sqrt{2P} \cos[\omega_0 t + \theta_x(t) + \theta_g(t)]$$

Se observa que en la fase se tiene dos componentes, una de la señal de información $x(t)$ y otra de $g(t)$. Debido a que se tiene una modulación BPSK, las ecuaciones anteriores se pueden reescribir como:

$$s_x(t) = \sqrt{2P} x(t) \cos \omega_0 t$$

$$s(t) = \sqrt{2P} x(t) g(t) \cos \omega_0 t$$

En el receptor la demodulación de la señal DS/BPSK se realiza mediante la correlación de la señal recibida con una réplica exacta sincronizada de la señal código, $g(t-T_d')$, siendo T_d' la estimación del receptor del retraso de propagación T_d desde el transmisor al receptor.

La señal a la salida del correlador es:

$$s(t) = A \sqrt{2P} x(t - T_d) g(t - T_d) \cos(\omega_0(t - T_d) + \varphi)$$

Donde A es un parámetro de ganancia del sistema. T_d el retardo de la señal y φ es una fase aleatoria comprendida en el intervalo $(0, T_c)$.

Como la señal $g(t)$ toma valores 1 ó -1, el producto $g(t-T_d) H g(t-T_d)$ será la unidad si $T_d=T_d'$, esto sucede únicamente si la señal código en el receptor está perfectamente sincronizada con la señal código del transmisor. Cuando esto ocurre la salida del correlador es la señal desensanchada, la cual entrará a un demodulador BPSK que permitirá que se recupere la información $x(t)$.

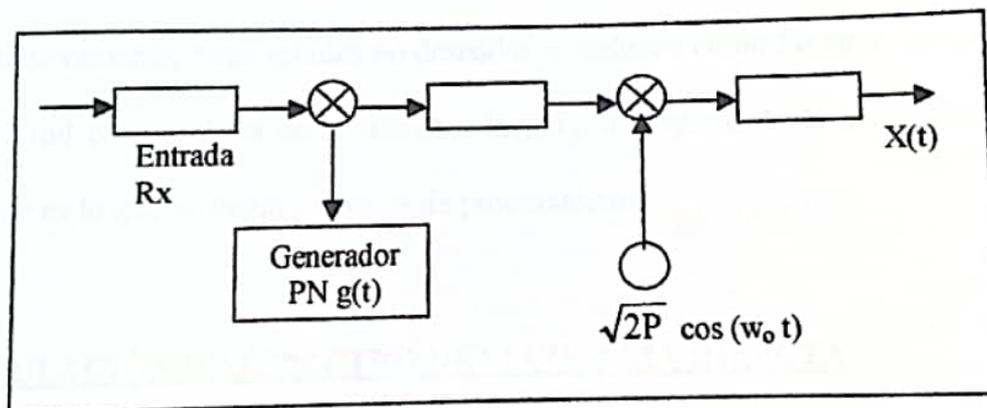


Figura 3.5 Diagrama de bloques de un receptor espectro ensanchado

Cabe resaltar que los procesos de ampliación de la señal, modulación BPSK, de desensanche y demodulación pueden ser intercambiados de orden, es decir, en el transmisor primero podemos ensanchar la señal y luego modular o viceversa, y en el receptor primero podremos demodular la señal BPSK y luego desensanchar o en sentido inverso.

En el caso de tener varios canales la señal que se recibe es la suma de la contribución de todos los canales M empleados en el sistema, el resultado de la suma de todas las señales corresponde a la siguiente expresión.

$$r(t) = \sum_{k=1}^M [x(t T_d) g(t T_d) \cos(\omega_0(t T_d) + \phi)]$$

Como se ha explicado antes, la señal deseada se recupera al ser multiplicada en el receptor con la señal chip sincronizada, sin embargo, el resto de los canales CDMA quedan ensanchados por tener un código diferente.

Del mismo modo, la señal interferente se ensancha, y por tanto, su energía se distribuye a lo largo de una región mucho más amplia del espectro.

Cuantitativamente, estas señales no deseadas se reducen en un factor T/T_p siendo T la longitud del bit de la señal transmitida y T_p la longitud de la señal chip. Este cociente es lo que se llama ganancia de procesamiento.

3.2 MODULACIÓN DE ESPECTRO DE SECUENCIA DIRECTA

Para analizar la técnica de secuencia directa, asumimos que tanto el transmisor como el receptor, conocen un conjunto de M símbolos, empleados en la comunicación, donde:

$$S_i(t), 0 \leq t \leq T ; 1 \leq i \leq M$$

Si se transmite por ejemplo $S_j(t)$ en el receptor se observa $r(t) = S_j(t) + n_w(t)$ sobre el periodo $[0, T]$, donde $n_w(t)$ es el ruido aditivo gaussiano con densidad espectral $N_0/2$ W/Hz, por otro lado $D = 2B_D T$ donde B_D es el ancho de banda de la señal y T es el tiempo en el cual se observa la señal.

Una señal puede ser especificada por una combinación lineal de: $D < M$ funciones básicas ortogonales, en cuyo caso decimos que la señal es de dimensión D y dado un sistema de comunicaciones en la cual se utiliza una determinada técnica de transmisión, la calidad de esta viene dada por la relación de energía de bit sobre la densidad espectral de ruido.

Para producir un ensanchamiento de la señal podemos incrementar D codificando con n elementos cada una de las muestras obtenidas mediante las funciones ortogonales básicas, con lo cual obtendremos $2nB_D T$ elementos de señal. Para una señal cualquiera de potencia finita, esto significaría distribuir su potencia en más componentes espectrales con lo que la amplitud del espectro de potencia se reduciría. En el receptor de un sistema de este tipo toda señal que entra es multiplicada por un código seudo aleatorio produciéndose un ensanchamiento con lo que se consigue reducir el efecto de las señales interferentes, cuya influencia quedaría disminuida en un factor que es proporcional a la longitud de la señal de código empleada para ensanchar la señal, en cambio la señal ensanchada proveniente del transmisor quedará desensanchada por efecto de doble multiplicación por el mismo código. En el caso de señales de potencia infinita tales como el ruido blanco, no se produciría ensanchamiento del espectro por lo que la

modulación de Espectro Ensanchado no proporciona ventaja adicional frente al ruido blanco, pero sí frente a interferencias.

Para saber en qué medida el proceso de ensanchado de la señal proporciona una protección frente a interferencia, es necesario realizar el siguiente análisis.

Asumimos una transmisión de D señales equiprobables y ortogonales ensanchadas mediante un código de longitud n , de tal modo que:

$$S_i(t) = \sum_{k=1}^K S_{ik} \phi_k(t) \quad 1 \leq i \leq D ; 0 \leq t \leq T$$

$$S_i(t) = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ S_{D1} & S_{D2} & \cdots & S_{Dn} \end{bmatrix}$$

Donde:

$$S_{ik} = \int_0^T S_i(t) \phi_k(t) dt, \quad \phi_k(t); 1 \leq k \leq n$$

Consideremos a continuación una interferencia

$$J(t) = \sum_{k=1}^n J_k \phi_k(t); \quad 0 \leq t \leq T$$

Con energía:

$$\int_0^T J^2(t) dt = \sum_{k=1}^n J_k^2 = E_J$$

Asumimos que la señal de interferencia $J(t)$ es independiente de la señal deseada $S_i(t)$, luego la señal recibida en el receptor será:

$$r(t) = S_i(t) + J(t)$$

Para recuperar la señal de información procedemos al proceso de correlación de la señal recibida y tenemos:

$$U_i = \int_0^T r(t) S_i(t) dt = \int_0^T (S_i(t) + J(t)) S_i(t) dt = \sum_{k=1}^n S_{ik}^2 + J_k S_{ik}$$

Además:

$$E(U_i - S_i) = \sum_{k=1}^n \overline{S_{ik}^2} = E_s$$

Considerando que las señales son equiprobables,

$$E(U_i) = \frac{E_s}{D}$$

Similarmente:

$$\text{var}(U_i - S_i) = \sum_{kl} J_k J_l \overline{S_{ik} S_{il}} = \sum_{k=1}^n J_k^2 \overline{S_{ik}^2} = \frac{E_s}{n} E_j$$

y también:

$$\text{Var} U_i = \frac{E_s}{nD} E_j$$

La medida de la calidad de un sistema de comunicaciones se puede expresar como la relación señal a ruido:

$$\text{SNR} = \frac{R^2(U)}{\text{var}(U)} = \frac{E_s}{E_j} \cdot \frac{n}{D}$$

Este resultado es independiente de como la señal de interferencia tenga distribuida la energía, sin importar el J_k escogido.

Esto proporciona un factor de mejora n/D frente a interferencias, dicho factor es denominado Ganancia de Procesado (G_p). Usando las consideraciones sobre el dimensionamiento de una señal de ancho de banda B_D observada un período T , esta queda definida por $2B_D T$ elementos, por lo tanto:

$$G_p = \frac{n}{D} \cong \frac{2 B_s T}{2 B_D T} = \frac{B_s}{B_D}$$

Para una señal de banda ensanchada B_{SS} , se emplean pulsos de tiempo T_c , y dado que la señal de entrada binaria posee pulsos de tiempo T_b , la fórmula anterior se puede redefinir del modo:

$$G_p = \frac{T_b}{T_c}$$

Dado que la modulación de espectro ensanchado no presenta ninguna mejora con respecto al ruido térmico, es evidente que el rendimiento de este, dependerá, del tipo de modulación empleada. Para una modulación BPSK la probabilidad de error P_e en función de la energía de bit y el ruido gaussiano es:

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{E_b / \eta}$$

3.3 GANANCIA DE PROCESADO

Un parámetro fundamental en la modulación de espectro ensanchado es la ganancia de procesado, la cual está definida por:

$$G_p = \frac{\text{Ancho de banda de la señal modulada}}{2 (\text{Ancho de banda de la banda base})}$$

Este parámetro usualmente expresado en dB, $10 \log G_p$, representa el factor en que son reducidas las interferencias en el receptor debido al ensanchamiento que sufren estas cuando son multiplicadas por el código PN en el proceso de recepción. Para un sistema DSSS-BPSK la ganancia de procesado está definida por $(2/T_b)/(2/T_c)=T_b/T_c=N$, donde N es la longitud de la secuencia PN.

3.4 CÓDIGOS PN

Una señal de espectro ensanchado es generada usando una señal pseudo aleatoria denominada secuencia PN. En un sistema de secuencia directa, una señal PN es una función del dominio del tiempo generada determinísticamente, cumpliendo con ciertas propiedades, las cuales permiten que al mezclarse esta con la información a transmitir, esta última quede enmascarada (ensanchamiento) dando la impresión de ser ruido, dicho proceso es realizado en el transmisor. Por otro lado la secuencia PN permite que después de un proceso de desensanche la información sea recuperada en el receptor. Existen diversos tipos de secuencia PN, pero la más importante es la secuencia binaria de máxima longitud o Secuencia-M. La Secuencia-M, es obtenida usando registros de desplazamiento

realimentados asociados a una lógica digital conformada por compuertas XOR. Una secuencia lineal de registro de desplazamiento es definida por:

$$g(x) = g_m x^m + g_{m-1} x^{m-1} + \dots + g_1 x + g_0$$

en dicha expresión se obtiene secuencias binarias de valores $\{0, 1\}$ y haciendo g_i igual a 0 o 1, y $g_m = g_0 = 1$, fijando $g(x) = 0$, tenemos la recurrencia:

$$x^m = g_{m-1} x^{m-1} + g_{m-2} x^{m-2} + \dots + g_1 x + 1$$

dado que $-1 = 1$ (modulo 2), x representa retardo de k unidades de tiempo, para un registro de desplazamiento de m etapas, la máxima secuencia obtenida es $2^m - 1$. La implementación de un generador PN puede realizarse mediante el empleo de registros de desplazamiento asociados a una lógica combinacional.

Propiedades de las secuencias PN:

- **Propiedad de desplazamiento.** El desplazamiento cíclico de una secuencia PN es también una secuencia PN.
- **Propiedad de recurrencia.** Una secuencia m , satisface la recurrencia

$$C_{i+m} = g_{m-1} C_{i+m-1} + g_{m-2} C_{i+m-2} + \dots + g_1 C_{i+1} + C_i$$

- **Propiedad ventana.** Si una ventana de ancho m es desplazada a lo largo de una secuencia de un registro de m estados, cada una de las m duplas binarias que se generan es vista una sola vez.

- **Propiedad de mayoría de unos por uno.** En cualquier secuencia m se tiene: 2^{m-1} unos y $2^{m-1} - 1$ ceros.
- **Propiedad de suma.** La suma binaria de una secuencia m es también otra secuencia m .
- **Propiedad de desplazamiento y suma.** La suma de una secuencia m con el desplazamiento cíclico de la misma es otra secuencia m .
- **Propiedad Runs.** Un run es una secuencia consecutiva de unos o ceros. En una secuencia m la mitad de los runs tiene longitud uno, un cuarto tiene longitud dos, un octavo tiene longitud tres y así sucesivamente. El total de runs de una secuencia m es $(N+1)/2$ donde $N=2^{m-1}$.

3.5 FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN DE UN CÓDIGO DE GOLD

La función de autocorrelación $R_x(\tau)$ de la señal periódica $X(t)$, con periodo T_0 , está definida por la ecuación a continuación:

$$R_x(\tau) = \frac{1}{K T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} X(t)X(t+\tau)dt, \quad -\infty < \tau < +\infty$$

donde:

$$K = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} X(t)^2 dt$$

Cuando $X(t)$ es una señal periódica que representa a un código PN, donde cada pulso básico del código PN es conocido como símbolo código chip; donde cada

chips tiene una duración unidad y periodo p . La función de autocorrelación puede ser expresada como:

$$R_x(\phi) = \frac{l}{p} \left[\begin{array}{l} \text{numero de igualdad de elementos menos} \\ \text{numero de desigualdad de elementos, en la} \\ \text{comparación de dos secuencias desplazadas} \\ \text{veces una con respecto a la otra} \end{array} \right]$$

La función de autocorrelación normalizada, para una secuencia de máxima longitud $R_x(J)$, es mostrada en la figura 3.6.

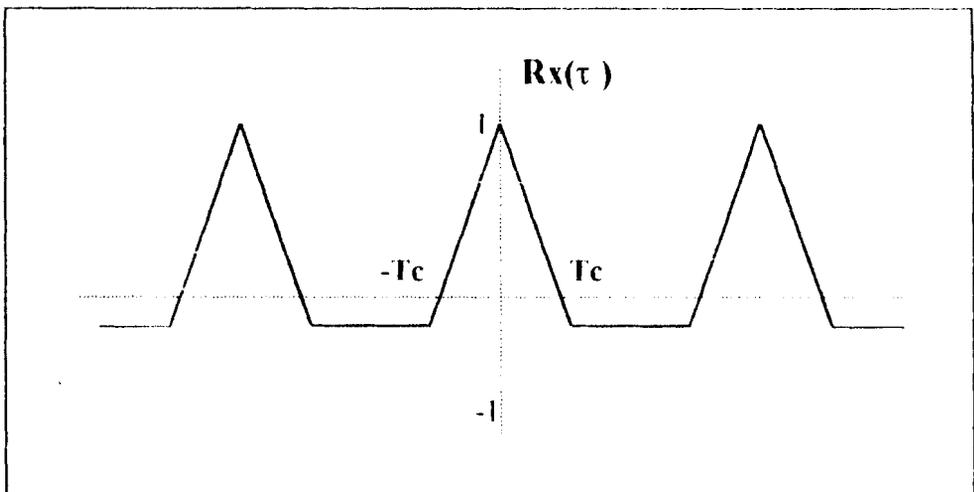


Figura 3.6 Función de autocorrelación.

Es evidente que para $\tau = 0$, es decir cuando $x(t)$ y su réplica, están perfectamente en fase (cero desplazamiento), $R(J) = 1$, sin embargo para un desplazamiento cíclico entre $x(t)$ y $x(t+J)$, con $(1 \leq J \leq p)$, la función de autocorrelación es igual a $-1/p$.

Por ejemplo si se tiene la secuencia:

$$X(t) = 000100110101111$$

$$X(t+J) = 100010011010111, \text{ para } \tau = 1$$

entonces la autocorrelación será:

$$R(J=1)=1/15(7-8) = -1/15$$

3.6 GENERADOR DE SECUENCIAS PN

Si se dispone de un registro de desplazamiento, como se muestra en la figura 3.7 tal que: A cada pulso de reloj el contenido de cada registro se desplaza un lugar a la derecha, los contenidos de los registros 3 y 4 se suman en complemento a 2 y el resultado se vuelca sobre el registro 1. La salida es la del registro 4.

Como ejemplo, si se asume que el estado inicial es 1000 se tiene:

1000 0100 0010 1001 1100 0110 1011 0101

1010 1101 1110 1111 0111 0011 0001 1000

En la salida se tendría la secuencia:

000100110101111

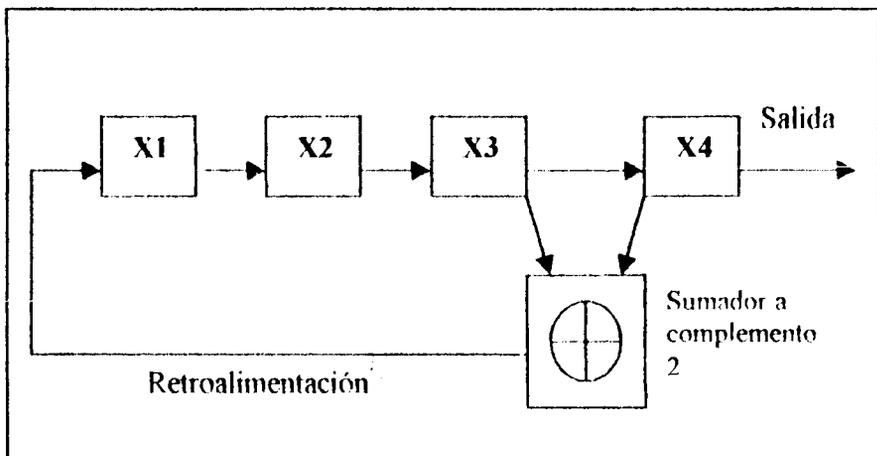


Figura 3.7 Registros de desplazamiento con retroalimentación.

La propiedad de balance se cumple, hay 7 ceros y 8 unos en la secuencia. La segunda propiedad también se cumple si consideramos el run de "0", hay cuatro. La mitad son de longitud 1, uno de cada cuatro son de longitud 2. Lo mismo ocurre para los "1". Se demuestra que se cumple la 3ª propiedad.

3.7 SECUENCIAS DE GOLD

Son secuencias PN, o combinaciones de ellas, pero con unas características un tanto peculiares. Teniendo en cuenta el código usado en la codificación CDMA, es deseable que su función de croscorrelación sea lo más pequeña posible.

Sin embargo hay un límite:

$$\max_{a \neq b} |\theta_{a,b}^2(l)| > -1 + 2^{(n+1)/2}$$

con relación a la croscorrelación periódica $\theta_{a,b}(l)$ entre M secuencias **a** y **b**, con longitud $N=2^n-1$ (n:entero) y con desplazamiento en fase **l**. La ecuación establece que la componente de interferencia en el sistema de multiplexación de transmisión no se puede hacer menor de el valor de la derecha de la ecuación **1**. El tamaño del conjunto de secuencias M que se pueden conectar cumpliendo esta restricción no es muy grande. Una secuencia de Gold se obtiene a partir de un par de secuencias M. Aunque su valor de autocorrelación, cuando no están en fase, que la de las secuencias M, las características del par tomado no cambian. Además, la secuencia de gold es apropiada para la multiplexación de códigos, por que el número de direcciones asignable es mayor. El número de secuencias de Gold que

se pueden generar con un par de secuencias PN es de $2^n + 1$. El valor de cros-correlación que puede haber entre dos secuencias PN solo puede tomar 3 valores $\{-1, -t(m), t(m)-2\}$, donde $t(m)$ es:

$$t(m) = \begin{cases} 2^{(m+1)/2} + 1 & m \text{ impar} \\ 2^{(m+2)/2} + 1 & m \text{ par} \end{cases}$$

La forma de generar una familia de secuencias de Gold a partir de 2 secuencias PN viene dada por la siguiente fórmula:

$$G(a, b) = \{a, b, a \oplus b, a \oplus Tb, a \oplus T^2b, \dots, a \oplus T^{n-1}b\}$$

Donde a y b son dos vectores PN, y $T^n b$ es el vector b desplazado " n " muestras.

3.8 RECEPCIÓN DE UNA SEÑAL DE ESPECTRO ENSANCHADO SINCRONIZACIÓN

El proceso de desampliar una señal es llamado correlación. La señal espectro ensanchado es desampliada cuando se consigue la apropiada sincronización del código ampliado entre el transmisor y el receptor. La sincronización es el aspecto más difícil del receptor. Mucho más tiempo, investigación, esfuerzo y dinero se ha empleado para desarrollar y mejorar las técnicas de sincronización que en cualquier otra área.

Correlación es un proceso fundamental en este tipo de sistema. Es una medida de que tan iguales son dos señales. El grado de parecido es expresado a menudo como un número entre cero y uno. Una perfecta igualdad es indicada típicamente por un uno. Cuando tenemos una igualdad parcial produce valores entre 1 y cero.

dependiendo del parecido. Correlación es hecho normalmente con un circuito conocido como un correlador. Un correlador es compuesto típicamente de una mezcladora seguida por un filtro pasabajo que realiza un promedio. La mezcladora es donde las dos señales, para ser comparadas, son multiplicadas juntas.

En un sistema por secuencia directa, el correlador es usado para identificar y descubrir señales con el deseado código de ensanchamiento. En un sistema por salto de frecuencia, la frecuencia de la portadora del transmisor realiza saltos según la sucesión. El destinatario usa la misma sucesión para seguir al transmisor, moviéndose de canal en canal para recuperar la señal. Si el destinatario no conoce la sucesión, él no puede recobrar la información transmitida.

El problema fundamental en el momento de recuperar una señal de espectro ensanchado reside en se debe tener una réplica completamente sincronizada de la señal de código PN que se utiliza en el transmisor, de lo contrario, el efecto es equivalente a multiplicarla por otra secuencia diferente, esto es, como la que pueda corresponder a otro transmisor y por lo tanto, el resultado será cero. A consecuencia de ello o se manda una señal de sincronismo a los receptores, o hay que buscar un método para realizar una sincronización en forma local en el receptor.

El proceso de sincronización se realiza generalmente en dos fases: adquisición y seguimiento.

Adquisición: En primer lugar se ha de realizar una búsqueda tanto en tiempo como en frecuencia para sincronizar la señal ensanchada recibida con la secuencia ensanchadora generada localmente en recepción. Para ello se deben de resolver una serie de problemas, algunos de los cuales se mencionan a continuación:

- Incertidumbre entre la distancia transmisor / receptor lo que se traduce en retardo de transmisión.
- Incertidumbre entre las velocidades relativas transmisor / receptor (va a resultar despreciable en el caso de un sistema como el que se va a tratar destinado a comunicaciones en interiores) lo que conlleva a un desconocimiento de la deriva en frecuencia por el efecto Doppler.
- Inestabilidad entre los relojes de transmisión y recepción que origina diferencias de fase entre ambas señales.
- Inestabilidad relativa entre los osciladores de transmisión y recepción lo que origina desfásamiento de frecuencia entre ambas señales.

Los métodos de adquisición se basan en medir la similitud que existe entre la señal que llega y la generada internamente en recepción para, posteriormente, mediante un comparador decidir si las señales están en sincronismo. Existen diversas formas de realizar este proceso de correlación, mediante estructuras de correladores en paralelo, en serie, o sistemas mixtos.

Estructura en paralelo. Si existe una incertidumbre de tiempo dada entre transmisión y recepción, se expresa ésta en función a su equivalencia con N_c chips. Para cubrirla, se sitúa una serie de $2N_c$ correladores en paralelo de forma

que a cada uno se le introduce el código ensanchador generado con una diferencia de retardo de medio chip, $T_c/2$. Cada uno de ellos hace la correlación de L chips y posteriormente, se compara las $2N_c$ salidas de forma que, cuando en una de las ramas se tenga un valor por encima de un cierto umbral, se considera que se ha acertado con el retraso. En caso de que en todas ellas la salida se mantenga en un nivel mínimo, se habrá de modificar los retrasos de los correladores, ampliando así el margen de incertidumbre. El valor de L , número de chips que compara cada correlador, hay que fijarlo de acuerdo con un compromiso que se marque entre la probabilidad de elegir una secuencia incorrecta, que decrecerá a medida que aumenta L , y la velocidad de sincronización, que, por el contrario, crecería según disminuya L .

Estructura en serie. La ventaja de este esquema es su menor coste y complejidad, puesto que únicamente se precisa de un solo correlador, aunque, como se habrá desprendido de la explicación de su funcionamiento, no sería útil para esquemas de alta velocidad a causa de que el tiempo máximo en el cual se adquiere el sincronismo se incrementa en un factor $2N_c$. Su funcionamiento es el siguiente: se compara el código generado con la señal que se recibe durante un período de L chips. Si la salida resultante se mantiene en un nivel inferior a un cierto umbral, se incrementa la fase de la señal utilizada en la comparación en 2 chip y se procede de nuevo a la correlación hasta que se sobrepase este límite y por tanto se considere adquirido el sincronismo. De igual forma, es posible que se den estructuras que intentan aprovechar las ventajas y atenuar los inconvenientes

de las dos anteriores, mediante esquemas que sean combinaciones serie/paralelo cuyo funcionamiento se deduce a partir de los dos precedentes.

Seguimiento: Una vez que se ha finalizado el proceso anterior, esto es, se tiene sincronizada la señal, aunque con un error, t , que, según se puede deducir de las explicaciones anteriores, está acotado a un valor inferior a $T_c / 2$, comienza el proceso de seguimiento o sincronización fina. Este se realiza mediante lazos de seguimiento que se clasifican habitualmente de dos formas: delay-locked loop (DLL) y tau-dither loop (TDL).

3.9 ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE CÓDIGO CDMA

En los sistemas CDMA (Acceso Múltiple por División de Código) todos los usuarios transmiten en el mismo ancho de banda simultáneamente. En esta técnica de transmisión, el espectro de frecuencias de una señal de datos es esparcido usando un código no relacionado con dicha señal. Como resultado el ancho de banda es mucho mayor. En vez de utilizar las ranuras de tiempo o frecuencias, como lo hacen las tecnologías tradicionales, usa códigos matemáticos para transmitir y distinguir entre conversaciones inalámbricas múltiples. Los códigos usados para el esparcimiento tienen valores pequeños de correlación y son únicos para cada usuario. Esta es la razón por la que el receptor de un determinado transmisor, es capaz de seleccionar la señal deseada. Uno de los problemas más importantes en el diseño de un sistema de comunicaciones inalámbricas consiste en proveer facilidades de comunicación a diferentes usuarios, de tal forma que el

espectro de radiofrecuencias sea aprovechado de una forma óptima y a un costo razonable. Teniendo en cuenta que el espectro de frecuencias es un recurso limitado es necesario diseñar estrategias de acceso múltiple, de tal forma que se puedan asignar, dentro de las debidas restricciones económicas de un ancho de banda previamente-asignado. Los códigos usados para el esparcimiento tienen valores pequeños de correlación y son únicos para cada usuario. Esta es la razón por la que el receptor que tiene conocimiento del código de un determinado transmisor, es capaz de seleccionar la señal deseada. CDMA de sistemas proveen operadores y suscriptores con ventajas importantes sobre TDMA analógico y convencional.

Las ventajas principales de CDMA son como se indica a continuación:

- Resiste la interferencia intencional y no intencional, una cualidad muy importante cuando se transmite en áreas congestionadas.
- Tiene la habilidad de eliminar o atenuar el efecto de la propagación multicamino, la cual es un gran obstáculo en las comunicaciones urbanas.
- Puede compartir la misma banda de frecuencia (como un traslapamiento) con otros usuarios, debido a su similitud con una señal de ruido.
- Operación limitada de interferencia, en cualquier situación todo el ancho de banda es usado.
- Privacidad debido a los códigos aleatorios desconocidos, los códigos aplicados con - en principio - desconocidos para un usuario no deseado.

- Posibilidad de acceso aleatorio, los usuarios pueden iniciar su transmisión a cualquier instante de tiempo.
- Los sistemas basados en CDMA presentan una reducción de la potencia de transmisión incrementando la vida de las baterías y reduciendo el tamaño de los transmisores y receptores.

En los sistemas de comunicación con espectro ensanchado (SS), el ancho de banda de la señal es expandido, comúnmente a varios órdenes de magnitud antes de su transmisión. Cuando hay un solo usuario en una banda SS, el uso del ancho de banda es ineficiente. En cambio, en un ambiente multiusuario, los usuarios pueden compartir la misma banda SS y el sistema llega a ser eficiente mientras se mantengan las ventajas del espectro disperso.

Una señal de espectro ensanchado CDMA es creada para modular la señal de radiofrecuencia con una sucesión esparcida (un código que consiste de una serie de impulsos binarios) conocido como un pseudo ruido (PN), esta es una secuencia de números con un periodo determinado. El PN de código se ejecuta a una tasa más alta que la señal RF y determina el ancho de banda real de transmisión. Una señal en Espectro ensanchado en Secuencia Directa, es obtenida modulando el mensaje con una señal pseudo aleatoria de banda ancha (Código de Seudo Ruido). El producto nos da una señal de banda ancha. Un código de pseudo ruido es una secuencia con valores -1 y 1 (polar) ó 0 y 1 (no polar) y posee propiedades similares a las del ruido. Esto determina valores pequeños de correlación entre los

códigos y la dificultad de bloqueo o detección de una señal de información por un usuario no deseado.

Podemos considerar un caso de CDMA de secuencia directa, en la cual se tiene N usuarios empleando modulación DSSS en sus transmisiones, cada uno de los cuales emplea su propio código $i=1,2,\dots,N$. Los códigos de los usuarios son aproximadamente ortogonales, por lo tanto la correlación cruzada de dos códigos diferentes es aproximadamente cero, esto facilita la recuperación de la señal deseada en un receptor al cual le llegan múltiples señales de diferentes transmisores, una baja correlación cruzada también permite minimizar el efecto de diafonía que se presenta en la multiplexación de señales.

En la práctica los códigos no son perfectamente ortogonales, por ello la calidad del sistema se ve degradada con un número grande de usuarios.

Para el análisis del multitrayecto en sistemas CDMA consideremos un sistema de comunicación PSK, en el cual existe más de un trayecto de señal entre el transmisor y el receptor. Estos trayectos múltiples se pueden deber a la reflexión o refracción atmosférica, a la reflexión en edificios u otros objetos, como consecuencia de ello tenemos fluctuación del nivel de la señal recibida y en el peor caso un desvanecimiento de la señal. Los diferentes multitrayectos consisten en caminos de señal con diversas atenuaciones y retardos. En un sistema de Espectro Ensanchado de secuencia directa, si consideramos dos caminos de

multitrayecto y además asumimos que el receptor está sincronizado con la señal de trayecto directo, en el receptor tendremos la siguiente expresión.

$$r(t) = Ax(t) g(t) \cos(\omega t) + \beta A x(t-J) g(t-J) \cos(\omega t + \eta) + n(t)$$

Donde $x(t)$ es la señal de datos, $g(t)$ es el código PN, $n(t)$ es el ruido gaussiano y J es la diferencia de tiempo entre las señales recibidas, β es atenuación del rayo retardado, y η es una fase aleatoria con distribución uniforme en el intervalo $(0, 2\pi)$. Dado que el receptor está sincronizado con el camino directo, a la salida del correlador se tiene $z(t=T)$:

$$z(t=T) = \int_0^T [Ax(t) g^2(t) \cos(\omega t) + \beta Ax(t-J) g(t-J) + n(t)] \cos(\omega t) dt$$

donde $g^2(t)=1$. para J mayor que T , $g(t)g(t-J)=0$ (para códigos largos), donde T es la duración de chip, por lo tanto la expresión anterior se puede escribir como:

$$z(t=T) = \int_0^T Ax(t) \cos^2(\omega t) + n(t) g(t) \cos(\omega t) dt = Ax(t) + n(T)$$

Con lo cual se demuestra que los sistemas CDMA poseen un elevado rechazo a multitrayecto.

3.10 COMPARACIÓN CON OTROS MÉTODOS DE COMPARTICIÓN DE CANAL.

El uso de CDMA es un desperdicio claro de espectro, en este caso se está aumentando por 31 el espectro utilizado. No obstante cuando hay tanto interés y estudio puesto en él es por algo. Como es sabido en la telefonía móvil necesitamos una antena repetidora para comunicarnos a través de un satélite es debido a que no tenemos suficiente potencia para transmitir al satélite, tanto por el consumo como por el peligro que supone para la salud. El hecho de que los satélites estén tan alejados no facilita esta situación. Por ello se ha propuesto utilizar satélites LEO de baja órbita para comunicaciones móviles. Esto por sí solo no es suficiente porque la potencia necesaria para llegar a ellos sigue siendo elevada, ahí es donde entra CDMA a jugar un papel importante.

La transmisión CDMA en sincronismo perfecto nos proporciona una ganancia de procesamiento proporcional a la longitud del código utilizado, esto quiere decir que cuanto mayor es la longitud del código utilizado menor es la potencia que necesitamos para transmitirlo.

Esto es muy importante por que nos ahorraríamos todas las antenas repetidoras por una parte, y además tendríamos cobertura mundial, daría igual en que punto de la Tierra estuviésemos podríamos utilizar nuestro teléfono.

Pero no solo hay ventajas para los teléfonos móviles en comunicaciones interiores y de corta distancia al tener que transmitir con tan poca potencia la señal que le llega a un equipo que no desea esa señal es muy reducida y se comportaría como un ruido más.

A continuación aparecen dos tablas comparativas entre un sistema diseñado para CDMA, TDMA y FDMA para comunicaciones por satélite en el que se puede observar los distintos requerimientos de cada sistema.

El que ocupa menor espectro y puede transmitir a más velocidad es TDMA, mientras que CDMA ocupa más espectro pero necesita unos equipos más pequeños, de menor potencia y menor antena en general.

	TDMA Y FDMA	FDMA	CDMA
PIRE VSAT	54.35 dBW	48.78 dBW	39.82 dBW
Eficiencia de la antena	0.6	0.6	0.6
Diámetro de la antena	2.4 m	2 m	0.4 m
Potencia VSAT	5W	2W	2W
Pire HUB	61.43	55.25	56.43
Eficiencia antena	0.6	0.6	0.6
Diámetro antena	5 m	4m	6 m
Potencia HUB	5W	4W	6W

Tabla 3.1 Primera comparación de los sistemas de compartición de canal

	TDMA		CDMA		FDMA	
	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound	Inbound	Outbound
Modulación	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK
Probabilidad error bit	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7}
$(C/N)_{\text{mínima}}$	10,7	10,7	10,7	10,7	-4,21	-4,21
$(C/N)_{\text{disponible}}$	21,84	22,16	19,49	23,66	16,12	7,02
Velocidad Binaria KBps	384	2048	153,3	581,36	345,6	1310,72
Velocidad/Enlace(11)	34,9	186,2	13,93	52,85	31,41	119,15
M N° de Estaciones	1000	1000	1000	1000	1000	1000
λ : paquetes/min	1,01	5,4	0,04	0,3	0,07	0,84
b: bits/paquete	1200	1200	1200	1200	1200	1200

Tabla 3.2 Segunda comparación de los sistemas de compartición de canal

CAPITULO 4

MARCO REGULATORIO

4.1 MARCO REGULATORIO INTERNACIONAL

4.1.1 ANALISIS DE LA REGULACION PARA LA IMPLEMENTACION Y OPERACION DE SISTEMAS DE ESPECTRO ENSANCHADO EN EL EXTERIOR

Cada país cuenta con un organismo regulador de las telecomunicaciones, el mismo que se encarga de emitir leyes que normalicen la operación de los sistemas de comunicaciones, a fin de controlar la buena distribución del espectro y equilibrar la explotación de este recurso.

De la misma forma, estos emiten normas que determinan hasta donde está permitido usar determinadas tecnologías, este es el caso de Espectro Ensanchado, como lo veremos en este capítulo

A continuación presentamos un análisis de la regulación de esta tecnología en distintos países.

COLOMBIA

Los sistemas de espectro ensanchado pueden ser autorizados únicamente en las siguientes topologías:

- Sistemas fijos punto a punto, en cualquier modalidad.
- Sistemas fijos punto multipunto, operando solamente en la modalidad de saltos de frecuencia o híbridos.
- Sistemas fijos punto multipunto que operen en la modalidad de secuencia directa, únicamente en áreas rurales.
- Los sistemas de espectro ensanchado para utilización exclusiva dentro de edificaciones y áreas conexas, para aplicaciones de área local.

Para utilizar los sistemas de Espectro Ensanchado en sistemas punto a punto, punto multipunto o híbridos, usted debe ser autorizado por el Ministerio de Comunicaciones, a través del siguiente procedimiento:

1. Llenar completamente los formatos para Espectro Ensanchado, proporcionados por el Área de Información, por todos y cada uno de los enlaces que se soliciten.
2. Presentar los formatos diligenciados y una fotocopia de los catálogos de los equipos y antenas que conforman los enlaces. El certificado de existencia y representación legal (cuando es persona jurídica) o fotocopia de la cédula de ciudadanía (cuando es persona natural).

3. Presentarse nuevamente a Ventanilla única cuando el Ministerio de Comunicaciones se lo indique (aproximadamente veinticinco días a partir de la radicación de la solicitud).
4. Para la prórroga de la concesión y autorizaciones para ampliaciones (adición de enlaces a los ya autorizados) o modificaciones (cambio de dirección, de potencia, de equipos, ancho de banda o P.I.R.E), usted debe llenar una nueva solicitud ante el Ministerio de Comunicaciones.

PERU

El servicio fijo público o privado que utilice la tecnología de Espectro Ensanchado podrá ser autorizado de acuerdo a las técnicas de transmisión, modalidades, normas técnicas y condiciones establecidas por el organismo regulador, el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción.

Las técnicas de transmisión de Espectro Ensanchado autorizadas para el servicio fijo son:

- Secuencia Directa
- Salto de Frecuencia y
- Sistemas Híbridos

Las bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo que son:

- Servicio privado: 902 - 928 MHz.
2.400 - 2.483,5 MHz.
- Servicio público: 5.725 - 5.850 MHz.



Se autorizará estaciones de servicio fijo que utilicen Espectro Ensanchado en las siguientes modalidades:

a) Servicio privado:

- Punto a punto
- Punto multipunto, sólo en áreas rurales o en lugares geográficamente aislados.
- Recinto limitado, para operar dentro de edificaciones en redes LAN sin cruzar vías públicas.

El Ministerio aprobará la operación de estaciones del servicio fijo en la banda 902 - 928 MHz, sólo en las modalidades punto multipunto y de recinto limitado. Están exentos de la clasificación, los sistemas instalados en un mismo inmueble que no utilizan el espectro radioeléctrico y que no tienen conexión con redes exteriores; y aquellos equipos cuyos servicios operen con una potencia menor de 10 mW

b) Servicio público:

- Punto a punto
- Punto multipunto

La potencia máxima de salida del transmisor no debe ser mayor que 1 W y debe estar instalado en un sitio de fácil acceso para facilitar la supervisión del Ministerio. Las antenas deben ser direccionales con un ancho de lóbulo máximo de 60 grados, con excepción de las aplicaciones de recinto limitado en redes LAN donde las antenas pueden ser omnidireccionales. En los servicios públicos las antenas pueden ser direccionales con un lóbulo máximo de 60 grados; o sectoriales con un lóbulo máximo de 90 grados. La potencia isotrópica radiada equivalente máxima será de 36 dBm (6 dBW).

La operación de los sistemas de Espectro Ensanchado se autorizará a título secundario, por lo tanto se pone condiciones como:

- No deben causar interferencias perjudiciales a las estaciones de un servicio primario. Las empresas autorizadas a utilizar la tecnología Espectro Ensanchado deben adoptar las medidas pertinentes para eliminar cualquier interferencia perjudicial que sus sistemas puedan causar a otros servicios de comunicaciones.
- Ante interferencias entre sistemas operando a título secundario, éstos deberán hacer acuerdos de utilización coordinada de la banda de frecuencia.
- No pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por un servicio primario.
- Deben aceptar supervisión técnica del Ministerio, a fin de verificar su operación.

- Queda prohibido el uso de amplificadores que modifiquen las características técnicas señaladas anteriormente.

La autorización, importación, comercialización y operación de equipos que utilizan ésta tecnología, deben contar con el certificado de homologación, el mismo que indicará que los equipos se utilizarán para el servicio fijo a título secundario.

Para el permiso de instalación debe presentarse la información técnica de las estaciones radioeléctricas revisadas por un ingeniero especializado, además debe informarse al Ministerio cualquier otra información técnica que se le solicite.

Para el caso de servicio fijo privado éste trámite debe hacerse en la Dirección General de Telecomunicaciones y en el caso de servicio fijo público en la Unidad Especializada en Concesiones de Telecomunicaciones.

AUSTRALIA

Todos los sistemas de Espectro Ensanchado operan en el mismo segmento del espectro, sujetos a las mismas condiciones. Las licencias de clase rigen las frecuencias que pueden ser utilizadas. Estas son descritas por los estándares de los equipos o por otros parámetros técnicos u operacionales. Las licencias no son negociables y el organismo encargado de tramitarlas es el ACA (Australia Communications Authority).

Se autoriza sistemas de Espectro Ensanchado de tres tipos:

- Secuencia Directa
- Salto de frecuencia
- Sistemas Híbridos

Los equipos pueden ser usados en aplicaciones como: lectura de código de barras, puntos de ventas de redes, redes LAN, PABXs (intercambio privado automático entre sucursales), entre los principales. En cuanto a la potencia que pueden utilizar equipos de Espectro Ensanchado se rigen de acuerdo a la banda en que estos operen:

- 915 - 928 MHz. Se autoriza una P.I.R.E máxima de 1 W.
- 2.4 - 2.463 GHz. Se autoriza una P.I.R.E máxima de 4 W.
- 2.463 - 2.4835 GHz. Se autoriza una P.I.R.E máxima de 200 mW.
- 5.725 - 5.85 GHz. Se autoriza una p.ire máxima de 1 W.

Los sistemas de Espectro Ensanchado no deberán causar interferencias a otros servicios de radiocomunicaciones, ni pedirán protección contra interferencias que provengan de otro servicio de radiocomunicación, ni de aplicaciones ICM.

Las bandas ICM son: 918 - 926 MHz.; 2.4 - 2.5 GHz. y 5.725 - 5.875 GHz.

ESTADOS UNIDOS

El organismo encargado de regular las telecomunicaciones en los EE.UU. es la FCC (Federal Communications Comisión o Comisión Federal de

Comunicaciones). El cual, aprueba el uso de tres de las técnicas de Espectro Ensanchado:

- Salto de Frecuencia
- Secuencia Directa
- Sistemas híbridos

Los sistemas punto-punto que operen en la banda de 2.4 GHz. que empleen antenas con más de 6 dBi deben reducir la potencia de salida del transmisor en 1 dB por cada 3 de los que excedan a los 6 dB permitidos.

Los sistemas que trabajen en la banda de 5.7 GHz. en configuración punto a punto pueden utilizar antenas de mayor ganancia sin tener que reducir la potencia de salida del transmisor.

Para sistemas de secuencia directa, la densidad espectral de potencia de un transmisor no debe ser mayor a 8 dBm durante una transmisión continua.

Para sistemas que utilicen secuencia directa en cualquiera de las tres bandas, deben usar antenas direccionales con ganancia de 6 dBi; si sobrepasan ésta ganancia deben reducir la potencia de salida del transmisor de 1 W, tantos dB como se excedan a los 6 permitidos.

Los sistemas de salto de frecuencia que operan en la banda 5.7 - 5.85 GHz., deben utilizar máximo 75 frecuencias de salto y un máximo ancho de banda de 20 dB del canal de salto de 1 MHz. El promedio de tiempo de ocupación en cada una de las frecuencias no debe ser mayor que 0.4 segundos dentro de un

período de 30 segundos. Para los que operan en la banda 2.4 - 2.4835 GHz que usen un mínimo 75 canales de salto se autoriza que utilicen 1 W de potencia y los demás sistemas que utilicen ésta banda, deben usar 0.125 W de potencia de salida del transmisor.

Para las demás técnicas de espectro ensanchado, se aprueba el uso de 1 W de potencia de salida del transmisor. Los sistemas de salto de frecuencia no necesitan emplear todos los canales de salto disponibles durante cada transmisión. Pero, el transmisor y receptor deben cumplir con todas las regulaciones.

Los sistemas que empleen pequeñas ráfagas de transmisión deben cumplir con las definiciones de salto de frecuencia y distribuir sus transmisiones sobre el mínimo número de canales de salto.

Se propone una mejora para sistemas de salto de frecuencia en la banda de 2.4 GHz., de aumentar el ancho de banda de 1 a 5 MHz. con equipos de potencia reducida a 0.125 W existiendo una gran polémica al momento porque en esa banda están disponibles sólo 83.5 MHz. de espectro.

Está permitida la incorporación de inteligencia dentro de un sistema de salto de frecuencia que les permita reconocer a otros usuarios dentro de la banda hasta tal punto que éstos, independientemente, elijan su rango de salto a fin de evitar saltar sobre canales ocupados.

Para los sistemas híbridos que son una combinación de las dos técnicas, la frecuencia de salto de operación del sistema con modulación digital de secuencia directa, debe tener un promedio de ocupación de canal que no exceda los 0.4 segundos dentro de un periodo de tiempo en segundos igual al número de saltos de frecuencia empleados multiplicados por 0.4; y su densidad espectral de potencia no debe ser mayor a 8 dBm.

Los sistemas deben operar de tal manera de no exponer al público a altos niveles de energía de radiofrecuencia.

4.2 MARCO REGULATORIO NACIONAL

4.2.1 ANALISIS DE LAS DISPOSICIONES GENERALES PARA LA IMPLEMENTACION Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE ESPECTRO ENSANCHADO EN NUESTRO PAIS.

Actualmente, la regulación para la implementación y operación de sistemas de espectro ensanchado es el objetivo de la norma promulgada en la Ley Reformativa a la Ley Especial de Telecomunicaciones. En la cual, se destaca la importancia de una buena administración del espectro radioeléctrico; además promulga que la tecnología de espectro ensanchado utiliza baja densidad de potencia, lo que minimiza el riesgo de interferencias desde o hacia sistemas convencionales o de la misma tecnología; de ésta manera se consigue compartir la misma banda de frecuencias con sistemas de banda angosta, aumentando la eficiencia en la utilización del espectro.

En nuestro país existen tres entes encargados de la regulación, administración y control de las Telecomunicaciones, cada uno de los cuales tiene funciones asignadas, que en conjunto les permiten regular, hacer cumplir las disposiciones y controlar los sistemas de comunicaciones, respectivamente.

El Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), es el organismo regulador encargado de las políticas de estado, tales como: pliegos tarifarios, normas de homologación, regulación y control de equipos y servicios, etc. La Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SNT), es la encargada de la ejecución de las normas que dicta el CONATEL; es quien administra el espectro radioeléctrico, la asignación de bandas de frecuencias, permisos de operación, concesiones, etc. La Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPTEL), vigila que los sistemas cumplan con las disposiciones y resoluciones del CONATEL.

Todos los sistemas que utilizan Espectro Ensanchado que se encuentran operando o en futura operación, deben regirse por: la Ley Especial de Telecomunicaciones, Ley Reformatoria a la Ley Especial de Telecomunicaciones, Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, Reglamento General de Radiocomunicaciones y la Norma para la implementación y operación de sistemas de Espectro Ensanchado. Según la norma, la definición de Espectro Ensanchado tomada textualmente dice: “ Sistema que utiliza la técnica de codificación en la cual, la señal transmitida es expandida y enviada sobre un rango de frecuencias mayor que el mínimo requerido por la señal de

información". La energía media de la señal que se transmite utiliza un código pseudo aleatorio independiente al de los datos, esto permite conseguir alta privacidad en la señal transmitida y un ancho de banda mayor que el mínimo requerido para transmitir que el de otros sistemas convencionales. Gracias a esto, la señal a transmitirse utiliza una menor densidad de potencia y así se consigue asemejarla al ruido, haciéndola inmune a las interferencias que puedan producir los sistemas que operan en la misma banda. Estas características permiten compartir el espectro logrando coexistir con sistemas de banda angosta que operen en la misma banda. Además los usuarios que utilicen códigos diferentes pueden transmitir simultáneamente en la misma banda. Así se logra mayor eficiencia en la utilización del espectro y confiabilidad en la información.

Las bandas de frecuencias asignadas para la operación de sistemas de Espectro Ensanchado son:

- 902 - 928 MHz.
- 2.400 - 2.4835 GHz.
- 5.725 - 5.850 GHz.

Estas constituyen las bandas asignadas para aplicaciones Industriales, Científicas y Medicas (ICM), para equipos que usen energía radioeléctrica con estos fines. Estos sistemas utilizan una pequeñísima parte de las bandas asignadas. Estas bandas de frecuencias son operadas libremente y los usuarios de ellas no pagan el uso del espectro.

En la norma se especifica que los sistemas de Espectro ensanchado que se aprueben para operar en la banda ICM se consignan a título secundario con respecto a los sistemas ICM, por lo tanto deben aceptar cualquier interferencia proveniente de algún otro tipo de sistema ICM que opere en la misma banda, porque estos tienen preferencia; es más, si algún sistema de Espectro Ensanchado causa interferencia a otro, debe remediarlo de alguna forma.

En uno de los artículos de esta norma se hace referencia a equipos de Espectro Ensanchado que operan en las distintas bandas ICM, en la cual, el CONATEL aprobará la operación en dichas bandas a los equipos cuya producción sea estándar y las características técnicas de dichos equipos.

La SNT aprobará las siguientes configuraciones para sistemas de Espectro Ensanchado en cualquiera de sus modalidades:

- Sistemas fijos punto a punto, en la misma categoría de atribución que un sistema punto a punto convencional, para enlazar dos estaciones fijas distantes por medio de antenas direccionales o bidireccionales.
- Sistemas fijos punto-multipunto, para enlazar una estación fija central con varias estaciones fijas distantes, en forma direccional o bidireccional
- Sistemas móviles

- Sistemas de explotación, para prestación de servicios de telecomunicaciones, para lo cual deberá tramitarse también el título de habilitante, el mismo que lo expide el CONATEL.
- Las demás configuraciones que el CONATEL defina.

Clases de Sistemas de Espectro Ensanchado

Espectro Ensanchado por Secuencia Directa

La señal de datos ya digitalizados es mezclada con una secuencia pseudo aleatoria de alta velocidad haciendo que la señal se expanda en el ancho de banda, luego es modulada en BPSK o QPSK para obtener una baja densidad de potencia; y así la señal resultante es muy parecida al ruido.

Estos sistemas tendrán un ancho de banda a 6 dB de 500 KHz. como mínimo y durante una transmisión continua la densidad espectral de potencia pico de salida a la antena no debe ser mayor a 8 dBm en un ancho de banda de 3KHz.

Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia

La frecuencia portadora a través de la cual viajará la información no es fija sino que se desplaza en el ancho de banda asignado de acuerdo a una lista de canales pseudo aleatorios permaneciendo un corto período de tiempo en cada canal de frecuencia de aproximadamente 10 ms, además no se repite el uso del canal hasta después de un largo período de tiempo.

Los canales estarán separados a 25 KHz o el ancho de banda a 20 dB del canal de salto, el que sea mayor.

El máximo ancho de banda permitido a 20 dB en un canal de salto es 500 KHz. Hay restricciones en cuanto al número de canales de salto de frecuencias para cada banda ICM, dependiendo del ancho de banda requerido como exponemos a continuación:

- **902 - 928 MHz.** Para los sistemas de salto de frecuencia que operen en ésta banda, si el ancho de banda a 20 dB del canal de salto de frecuencia es menor a 250 KHz, el sistema deberá usar por lo menos 50 saltos de frecuencia y el promedio de tiempo de ocupación en cualquier frecuencia no debe ser mayor a 0.4 s dentro de un período de 20 s. Si el ancho de banda es mayor o igual a 250 KHz., el sistema usará 25 saltos y el promedio de tiempo en cada frecuencia no mayor a 0.4 s, durante 10 s.

- **2.4 - 2.4835 GHz. y 5.725 - 5.850 GHz.** Deben utilizar por lo menos 75 saltos de frecuencia, en un ancho de banda máximo de 1 MHz con un promedio de ocupación de canal no mayor a 0.4 s durante 30 s.

FRECUENCIAS	BW A 20db DEL CANAL	MINIMO NUMERO DE SALTOS	PROMEDIO DE TIEMPO DE UTILIZACION DEL CANAL	PERIODO DE TIEMPO
902-928 MHz.	Menor a 250 KHz.	50	Menor o igual a 0,4 seg.	20 seg.
902-928 MHz.	Mayor o igual a 250KHz.	25	Menor o igual a 0,4 seg.	10 seg.
2,4-2,4835 GHz.	Menor o igual a 1 MHz.	75	Menor o igual a 0,4 seg.	30 seg.
5,725-5,85 GHz.	Menor o igual a 1 MHz.	75	Menor o igual a 0,4 seg.	30 seg.

Tabla 4.1 Canales de saltos permitidos

Espectro Ensanchado Híbrido

Es la combinación de las técnicas de estructuración de la señal por secuencia directa y por salto de frecuencia.

Potencia máxima de salida

Es la potencia máxima en vatios que entrega el transmisor en el conector de la antena en cualquier condición de modulación.

Para los sistemas de secuencia directa y salto de frecuencia que operan en las bandas 2.4 - 2.4835 y 5.725 - 5.850 GHz. se autoriza que la potencia máxima sea de 1 W.

Los sistemas fijos punto a punto y punto multipunto que operan en la banda 2.4 - 2.4835 GHz. y que utilizan antenas direccionales con una ganancia mayor a 6 dBi deben reducir la potencia máxima del transmisor de 1 W. en 1 dB por cada 3 dB de ganancia de la antena que excedan a los 6 dBi.

Los sistemas punto a punto y punto multipunto que operen en la banda 5.725- 5.850 GHz. pueden utilizar antenas con mas de 6 dBi.

Los sistemas que no sean punto a punto o punto multipunto y que utilicen antenas direccionales con mas de 6 dBi. deben reducir la potencia máxima de transmisor de 1 W en 1 dB. por cada 3 dB. que excedan a los 6 dBi. de ganancia de la antena.

Los sistemas que utilizan salto de frecuencias en la banda 902 -928 MHz deben tener una potencia máxima de salida de:

- 1 W si utilizan 50 saltos o más
- 0.25 W si utilizan entre 25 y 50 saltos

Intensidad de campo eléctrico

En esta norma se imponen límites también para la intensidad de campo eléctrico para cualquiera de las tres bandas y en cualquiera de las técnicas de Espectro Ensanchado. Para la frecuencia fundamental, la intensidad de campo será como máximo 50 mV/m y para las armónicas 500 uV/m. Los cuales serán medidos a tres metros de distancia de las antenas promediando los valores de una muestra.

La emisión de radiación debe atenuarse en 50 dB mínimo bajo el nivel de la frecuencia asignada.

Ganancia de procesamiento

La norma define como ganancia de procesamiento a la relación entre el ancho de banda de RF ensanchado por el ancho de banda de la información.

$$G_p = 10 \log (W_{RF}/R_b)$$

Los sistemas que utilicen secuencia directa deben tener una ganancia de procesamiento mínima de 10 dB. Los sistemas con salto de frecuencia deben tener una ganancia de procesamiento mínima de 75 dB y los sistemas híbridos deben tener una ganancia de procesamiento mínima de 17 dB.

Homologación

La SNT es la entidad responsable de la homologación de los equipos de Espectro Ensanchado que se utilicen o se comercialicen en el país, los cuales se clasifican en:

- Equipos de reducido alcance, los cuales están exentos de homologación. Aquellos equipos que utilicen tecnología de Espectro Ensanchado para transmisión de datos en redes LAN, telemetría, lectura remota, PBX y teléfonos inalámbricos cuya potencia de salida del transmisor sea menor a 100 mW, además la antena debe encontrarse adherida al equipo y su ganancia máxima será de 1 dB.
- Equipos de gran alcance: Deben ser homologados, están considerados dentro de este grupo los equipos que utilicen una potencia de salida de 100 mW. en adelante y que no tengan su antena adherida al equipo o que la ganancia de la misma sea mayor a 1 dBi.

La homologación del equipo se hace sobre la base del certificado que reciben los fabricantes de la FCC o de las organizaciones de los países de la comunidad europea, Canadá, Japón y otras que se consideren en el futuro

Solicitud para la instalación y operación

La SNT es el ente encargado de recibir la solicitud de aprobación de sistemas de Espectro Ensanchado en cualquier parte del país, el CONATEL designa al Secretario Nacional de Telecomunicaciones aprobar dicha solicitud en un lapso de tres meses a partir de la entrega de la misma, su aprobación le otorga un permiso de cinco años que pueden renovarse si el interesado lo solicita 30 días antes del vencimiento. La solicitud de operación de un sistema de Espectro Ensanchado contiene:

- Datos generales del solicitante (representante legal, domicilio).
- Configuración del sistema a operar y diagrama.
- Banda de frecuencia a utilizar y clase de sistema de Espectro Ensanchado.
- Certificados de homologación de los equipo.
- Características del sistema: P.I.R.E, potencia máxima de salida del transmisor, ganancia de la antena y su altura a nivel del suelo, etc.
- Diagramas de radiación de las antenas.
- Ubicación de las estaciones fijas o móviles, coordenadas geográficas de ubicación y altura a nivel del mar, superficie del área a servir, localidades a cubrir, etc.

Además se describen independientemente cada una de las estaciones para sistemas punto a punto, punto multipunto, radiolocalización de vehículos con estaciones fijas y móviles.

Antes del registro en la SNT, una vez aprobada la solicitud de aprobación del sistemas, deben cancelar anualmente por anticipado el uso del espectro radioeléctrico, durante 5 años por el valor que se obtenga de la siguiente fórmula:

$$IA(\text{Imposición Anual}) = 4 \times K \times B \times NTE$$

k = índice de inflación anual.

NTE = número de estaciones fijas.

$B = 12$ Sistemas punto a punto y punto multipunto.

$B = 39$ Sistemas de radiocomunicación de vehículos con un NTE mínimo de 3 estaciones de recepción de triangulación.

$B = 0.7 NA$ Sistemas móviles con un NTE mínimo de 50 estaciones entre bases y móviles. Donde NA es el número de áreas de operación.

CAPITULO 5

CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE REDES

INALAMBRICAS DE ESPECTRO ENSANCHADO

5.1 DISEÑO DE REDES INALÁMBRICAS PUNTO - MULTIPUNTO

5.1.1 CARACTERISTICAS

Un enlace punto a multipunto es una comunicación bidireccional establecida entre un transreceptor ubicado en un punto fijo y múltiples transreceptores ubicados en múltiples puntos fijos, mediante la emisión de radio frecuencias de microondas. En este tipo de enlace todas las remotas deben tener línea de vista con la estación base.

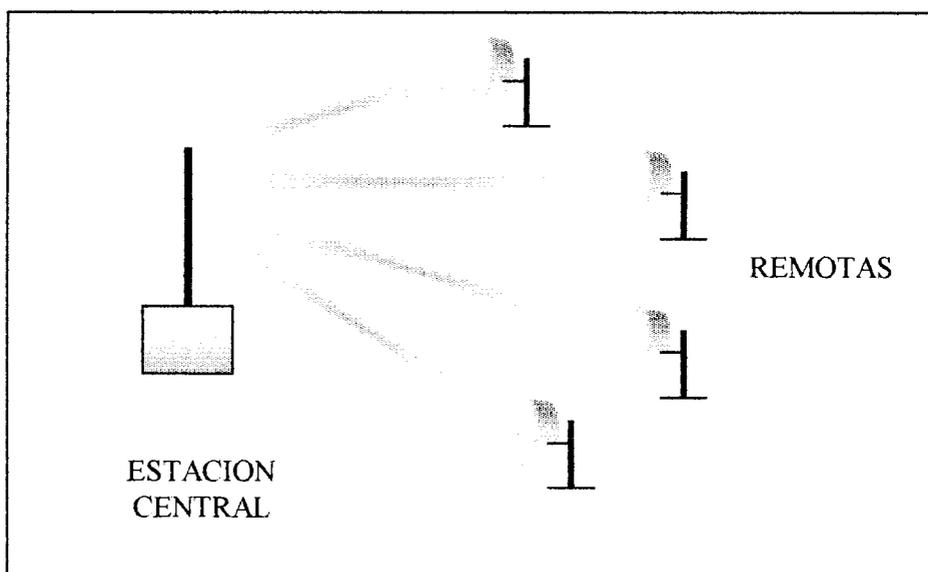


Figura 5.1 Configuración de un enlace punto – multipunto

Independientemente del ancho de banda requerido por cada usuario, una forma evidente de minimizar costos es compartiendo equipos o infraestructuras entre varios usuarios, lo que introduce el concepto de redes de acceso punto a multipunto. Estas redes además del aspecto topológico, implican que el tráfico generado por varios usuarios se concentra en un único punto de acceso lógico hacia la red de conmutación y transporte. Cuanto más cerca de las redes internas de usuario se realice la concentración de tráfico, una mayor porción de la red es compartida entre los usuarios, y mayor es la reducción de costo por línea, siempre y cuando se acote la complejidad del sistema.

Una característica inherente a las redes punto a multipunto es que el medio de transmisión es compartido por varios elementos de terminación de red, lo cual implica que, en la dirección usuario a red, se ha de arbitrar un protocolo de acceso a dicho medio compartido.

5.1.2 EQUIPOS DISPONIBLES EN EL MERCADO

En el mercado existen diferentes marcas de equipos para esta configuración, lo que varía son sus costos, aplicación, velocidades, entre otros. A continuación se presenta algunas opciones con sus características principales.

Utilizando los componentes necesarios podemos crear nuestra red informática entre portátiles, PC, servidores de impresión y dispositivos Ethernet de la forma más fácil sin necesidad de cablear. Instalando una tarjeta de ranura PCI

en nuestro ordenador o una PCMCIA en nuestro portátil dispondremos de un puesto de trabajo autónomo. El punto de acceso es utilizado como base para el acceso de las distintas tarjetas mencionadas. El punto de acceso concentra los usuarios inalámbricos en un único punto para poder ser interconectado con una red cableada si así fuera necesario.

Pueden utilizarse tantas tarjetas como se deseen y que el equipo lo permita en una instalación para cubrir determinadas zonas. No se requieren conocimientos especiales para instalar este tipo de red. De la misma forma que añadimos una tarjeta de red a nuestro ordenador así lo haremos con las diferentes que existen.

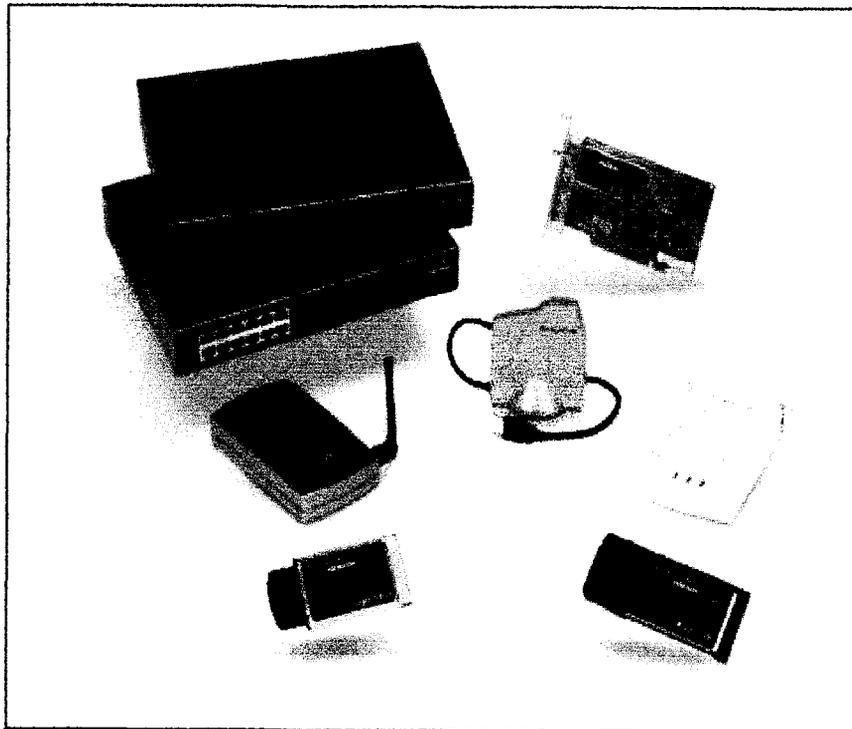


Figura 5.2 Componentes de una red inalámbrica

Entre sus principales características están

- Consta de un punto de acceso, tarjetas o modem inalámbricos.
- Las tarjetas son tipo PCMCIA (computadoras portátiles) y PCI (computadoras fijas).
- Topología LAN Punto a Punto / Multipunto.
- Acceso simultáneo a Internet.

En el mercado existe un gran número de productos, analizaremos tres de ellos con diferentes aplicaciones y datos técnicos, que nos ayudarán a elegir el que se acomode a nuestras necesidades. Estos son:

- Cisco con Aironet
- KB/SS de Kb/Tel
- WaveNet IP de Multipoint Network

CISCO ofrece AIRONET, que opera en la banda de 2.4 GHz con Secuencia Directa (DSSS). Soporta aplicaciones donde se necesita un gran ancho de banda, brindando un alto grado de confiabilidad e inmunidad a la interferencia. Envía datos redundantes en un ancho de banda de 22MHz, garantizando la seguridad. El transmisor, puede configurarse con diferentes frecuencias para evitar interferencia. Incluso, si se pierde información, puede reconstruir todo por medio de las otras frecuencias.

Puede lograr una velocidad de hasta 11Mbps mientras tenga línea de vista entre los edificios. Todo lo que necesita son dos puentes de trabajo.

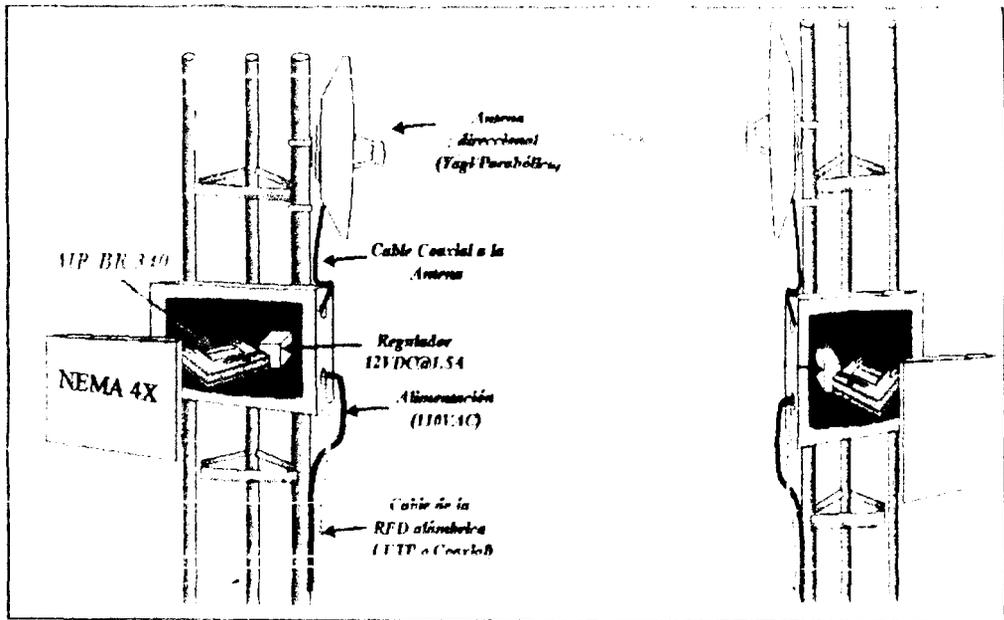


Figura 5.4 Componentes para un enlace punto a punto.

En la figura 5.5 se muestra la segunda opción, lo que cambia es que la base central tiene una antena omnidireccional que se comunica con varias remotas. En el lado del usuario existe una antena direccional con los mismos elementos que muestra la figura anterior.

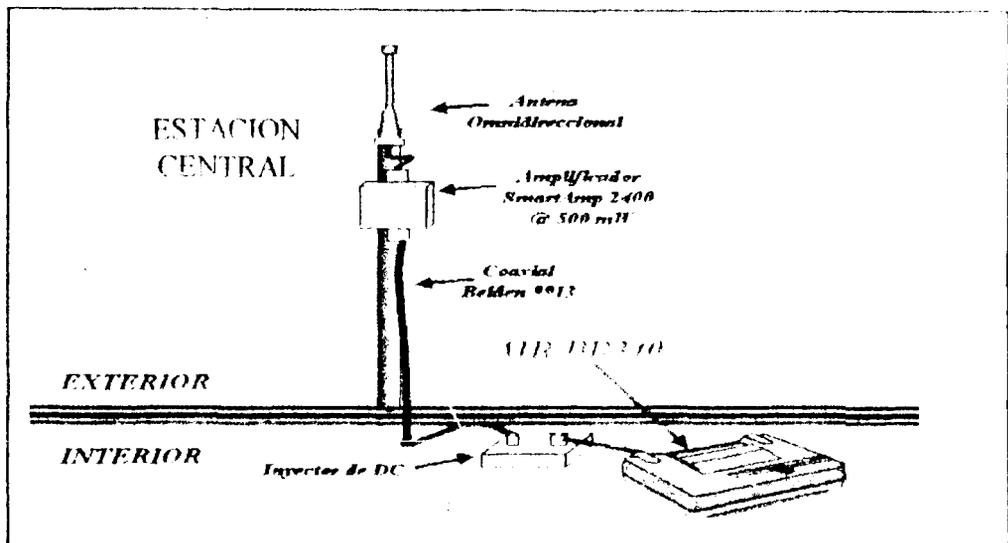


Figura 5.5 Componentes para un enlace punto multipunto.

Otro producto es WaveNet IP de la compañía Multipoint Network. Es un sistema que utiliza ruteadores para enlaces punto a punto / multipunto. Consiste de una base central y de los ruteadores remotos.

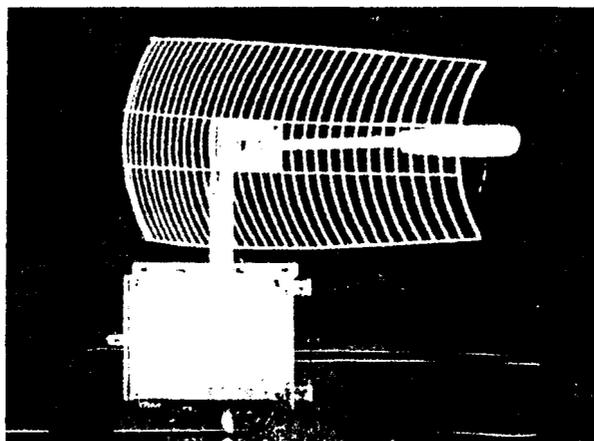


Figura 5.6 Producto WaveNET IP.

Opera en la banda de los 2.4 Ghz (Banda ICM) que esta libre de licencia. Para aplicaciones punto multipunto, se debe configurar a una estación como base (maestro) y a los demás puntos remotos como esclavo. La topología más común es la de estrella, las cuales todas las remotas apuntan o tienen línea de vista hacia la base. La base es el centro que controla a las remotas por medio de un enlace punto a punto virtual con cada una. Este producto sólo opera con el protocolo IP. Permite manejar diferentes configuraciones como extensión de una red, punto de acceso, como repetidora para cubrir mayores distancia y para enlaces dedicados (punto a punto).

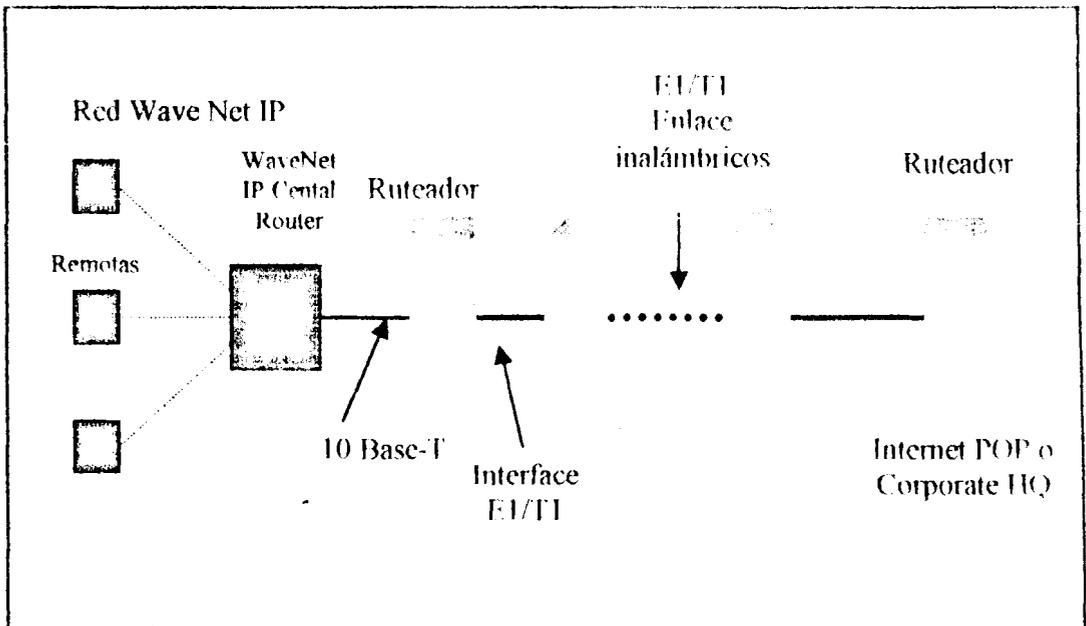


Figura 5.7 Wave Net IP usado como extensión de una red.

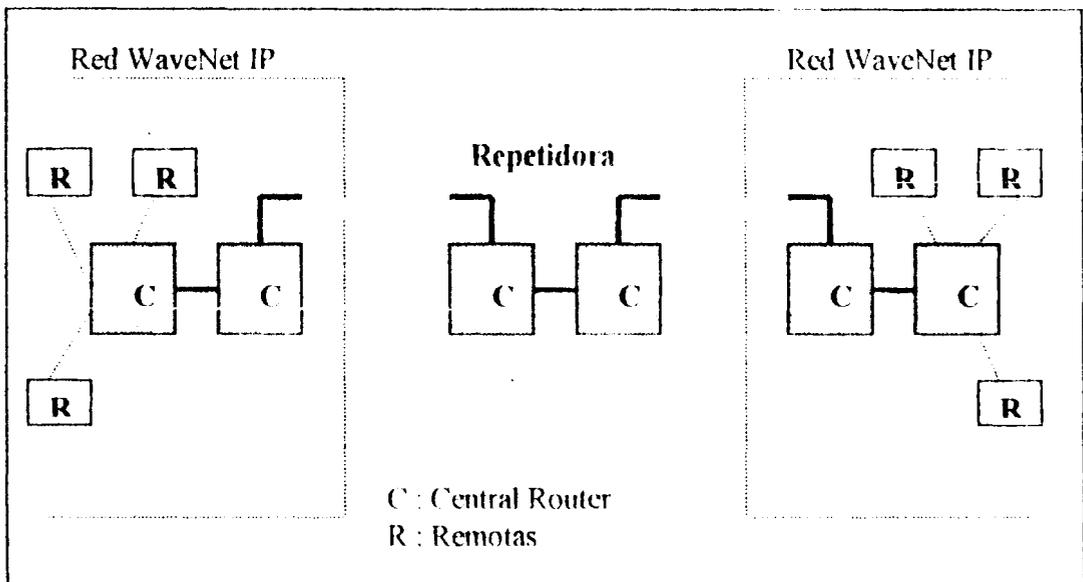


Figura 5.8 Repetidora en configuración Back-to-Back.

Kb/TEL introduce una solución para aplicaciones de última milla: Kb/SS. Este sistema de radio, muy confiable, proporciona el acceso a diversos tipos de redes con tecnología avanzada de espectro ensanchado. También proporciona control total sobre la red de radio a través de un sistema compatible llamado Kb/NMS.

Kb/SS es una red de radio punto-multipunto que permite comunicaciones de modo bidireccional de datos por medio de la tecnología de espectro disperso por salto de frecuencia (FHSS). El sistema trabaja con un algoritmo de multiacceso, con el cual es posible transmitir varios protocolos simultáneos o independientemente, así los recursos de radio se optimizan. También ofrece puertos de acceso programables en diversas tasas, al igual que amplia gama de protocolos, también ofrece conexiones directas a Lan (no requiere ruteador).

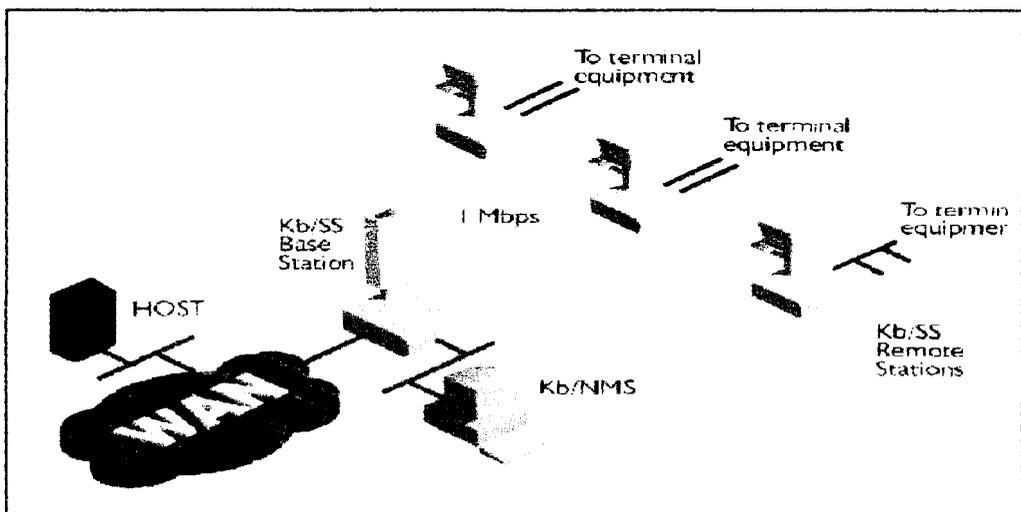


Figura 5.9 Configuración del Kb/SS como extensión de una red WAN

El salto de frecuencia es una variedad de tecnología en la cual todas los radios de una célula cambian periódicamente su canal de operación. Estos canales se solicitan aleatoriamente y cada radio dentro del mismo grupo detecta a qué canal cambiará así como el tiempo de permanencia en ese canal. El sistema es el responsable de controlar la secuencia de cada salto y de asegurarse de que todos los radios se encuentren sincronizados. Kb/SS controla el protocolo de radio de manera automática.

El sistema Kb/SS tiene la habilidad de conectar estaciones base con otras células o con el ordenador central a través de la red WAN. Esto se puede realizar por medio del encapsulamiento de protocolos de usuario dentro de otros de transporte, como el X25, TCP/IP o el Frame Relay. No se requiere un ruteador. El equipo de Kb/SS puede interconectarse con otros sistemas de Kb/TEL para generar redes de servicio de múltiple capacidad.

El sistema puede trabajar como proveedor de Internet, consiste básicamente de una Estación Base, ubicada en las instalaciones del ISP, la cual se comunica con Estaciones Remotas, denominados ruteadores inalámbricos, que se ubican en los sitios de los subscriptores. Cada Estación Base tiene un ancho de banda modular, con una capacidad máxima de hasta 10Mbps, repartida en 10 Módulos de 1 Mbps cada uno. Cada uno de los Remotos está asignado a uno de estos Módulos. El sistema se puede configurar de forma que cada ISP pueda contar con una o más Estaciones Base, en una o más de sus instalaciones. A su vez, cada una de éstas, se conecta al nodo entrada a Internet del ISP.

Las Estaciones Base radian por medio de antenas omnidireccionales o sectorizadas de 30, 60, 90 y 120 grados. En la figura se muestran los componentes básicos de una Célula del sistema Kb/SS, operando en un ambiente ISP.

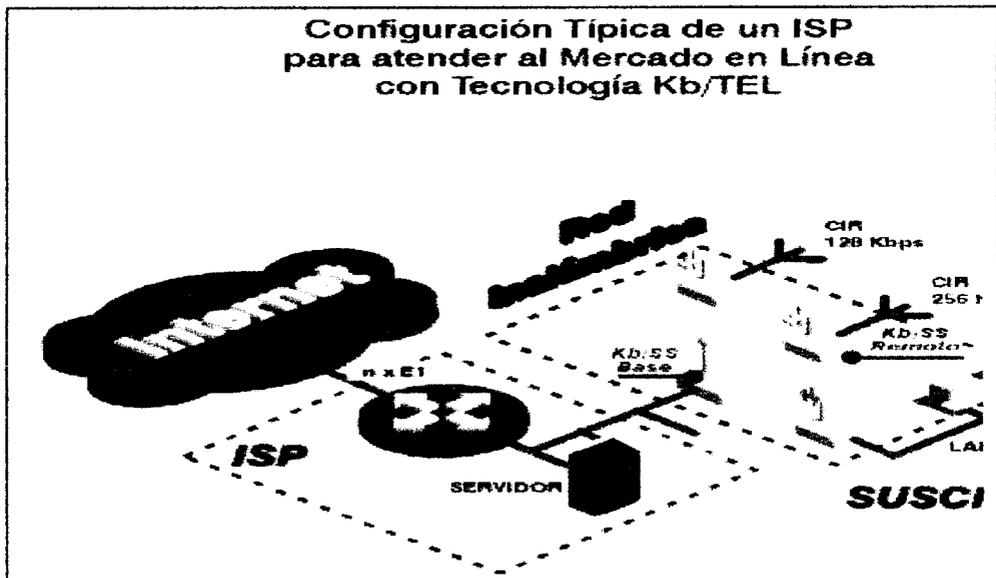


Figura 5.10 Configuración para ISP del Kb/SS.

El ancho de banda de cada Módulo se comparte en forma dinámica entre los usuarios Remotos asignados a dicho Módulo. Esto es, en todo momento, el total del ancho de banda del Módulo es asignado a los usuarios que en ese instante están demandando canal. Esta distribución se logra siguiendo prioridades preestablecidas, bajo el control del ISP.

Después de una breve descripción general de los tres productos, en la tabla 5.1 realizamos un resumen de las principales características técnicas.

	AIRONET	KB/SS	WAVENET IP
Banda de frecuencia	2400.0 - 2483.4 MHz	2400.0 - 2500.0 Mhz	2402.0 - 2480.0 Mhz
Velocidad que soporta	1, 2, 5.5 y 11Mbps	1 Mbps half duplex	1 Mbps half duplex
Modulación	DBPSK a 1 Mbps DQPSK a 2 Mbps CCK a 5.5 y 11 Mbps	FSK	QPSK
Medio inalámbrico	DSSS	FHSS	FHSS
Potencia de salida	30 mW (15 dBm)	100 mW (+20dBm)	+15 a +24 dBm (ajustable)
Protocolos	TCP/IP	Frame Relay X.25, IP Routing SLIP, PPP HDLC, SDLC Poll Select	TCP/IP FTP, Telnet, Http, SNMP
Configuración	Punto - Punto Punto - Multipunto	Punto - Multipunto	Punto - Punto Punto - Multipunto
Interfaces	10BASET	V.35 RS-232 10BASET, 10Base2	10BASET
Canales	11 canales (U.S., Canada, y Japón); 13 canales (ETSI)		
Sensibilidad de Rx	-90 dBm a 1 Mbps -88dBm a 2 Mbps -87dBm a 5.5 Mbps -84 dBm a 11 Mbps	-85 dBm	-90 dBm a 10- 6 BER
Certificaciones	Cumple FCC parte 15 subparte B, clase B; FCC parte 15.247; UL, RSS-139-1, CSA, AS/NZS3548, VCCI;	FCC y ETSI Banda ICM	FCC y ETSI Banda ICM

Tabla 5.1 Resumen de las características técnicas.

5.1.3 ANÁLISIS PARA EL DISEÑO DE LA RED

A diferencia de las redes de área local tradicionales, el uso de ondas radioeléctricas obliga a un estudio de planificación bastante más detallado para asegurar la cobertura de la red en toda el área geográfica a cubrir. Los problemas derivados de la propagación de las ondas en la banda de los 2.4GHz hacen que sea inevitable la realización de medidas de campo para asegurar una correcta planificación en toda la zona. Además, el uso de estos sistemas en entornos de interiores de edificios complica de forma la caracterización del canal radio para poder usar modelos de simulación o analíticos. Un simple cambio en el mobiliario del entorno puede originar zonas de sombra nuevas en las que no es imposible dar servicio. Los diferentes obstáculos que encuentran las ondas a su paso crea atenuaciones y/o reflexiones dificultando la planificación de la red en este tipo de entornos. La realización de medidas en entorno exterior es un proceso más sencillo que el de las medidas en interiores dada la homogeneidad del entorno y la ausencia de obstáculos. La gran novedad que supone la comercialización de redes de datos con tecnología radioeléctrica, bien sea como extensión de las redes ya existente o como sistemas intrínsecos, implica la necesidad de realizar estudios de planificación para asegurar una calidad de servicio aceptable en toda el área de servicio.

En la siguiente tabla se presenta pérdidas utilizando la banda de 2.4 Ghz en campo abierto, puede ser muy útil para el diseño de nuestra red.

Distancia	dB perdidos
100	80.23
200	86.25
500	94.21
1.000	100.23
2.000	106.25
5.000	114.21
10.000	120.23

Tabla 5.2 Pérdidas según distancia en frecuencias de 2.4 Ghz. en campo abierto.

Para nuestro diseño de un enlace punto - multipunto con equipos espectro ensanchado se debe considerar ciertos parámetros a utilizar que depende de la aplicación que le vamos a dar. Entre las principales están:

- Técnica de transmisión.
- Medio de transmisión.
- Protocolo de acceso al medio.
- Topología.
- Rendimiento de transmisión.
- Condiciones de carga.
- Número, tipo y distribución de dispositivos conectables.
- Naturaleza de las aplicaciones.
- Tipo de información a transmitir.
- Requisitos de conectividad externa.
- Frecuencia de operación.
- Velocidad de datos.
- Tipo de modulación.

- Código de esparcimiento: DHSS o FHSS.
- Alcance promedio.
- Aplicación : datos, voz y video.
- Interface. Conectores.
- Potencia de salida.
- Medio ambiente de operación.
- Antena.
- Sistema de alimentación. DC o AC.

Las antenas son otro de los aspectos que se deben contemplar en la capa física ya que estas son el medio por el cual la señal se radia o se capta desde el medio (aire). Dentro de las antenas para enlaces punto multipunto encontramos sectorizadas y omnidireccionales.

Antenas omnidireccionales. El término omnidireccional significa que se puede enviar y recibir señales de cualquier dirección y esto puede ser considerado como una ventaja o como una desventaja y depende desde el punto de vista que se mire, si pensamos en un equipo portátil que se desplaza y no contará con antenas omndireccionales sería imposible la comunicación sin antes redirigir las antenas, también es una desventaja ya que el uso de estas implica que se están captando todas las señales entre ellas las no deseadas como las interferencias y el ruido.

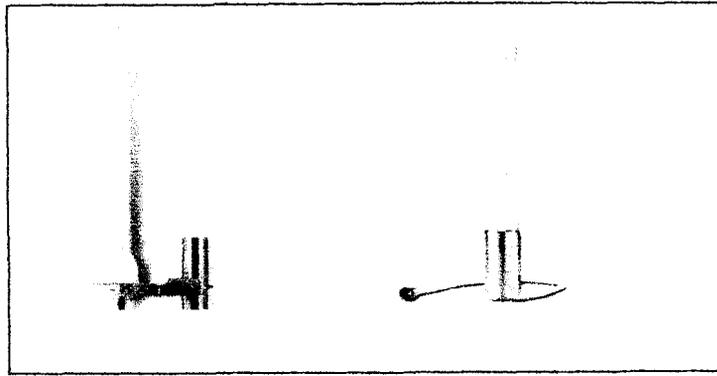


Figura 5.11 Antenas omnidireccionales

Antenas sectorizadas. Las antenas sectorizadas buscan tomar las ventajas de los dos tipos de antenas anteriores y de desechar sus desventajas, la forma en que estas antenas funcionan consiste en una antena vertical en donde hay varios segmentos y cada uno de ellos apunta hacia determinado ángulo, en este orden de ideas podemos pensar en una antena sectorizada que posee tres segmentos y que cada uno ellos cubren 120 grados, lo cual nos permite una cobertura global. Este tipo de antenas es ampliamente utilizado en telefonía.

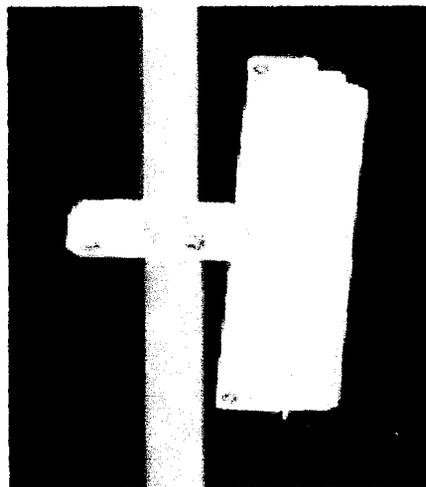


Figura 5.12 Antena sectorizada

Dependiendo de la aplicación que se vaya a tomar se debe considerar los siguientes parámetros.

- Ganancia, que depende de la distancia.
- Cobertura, sectorizada u omnidireccionales.
- Frecuencia de operación.
- Polaridad, ya sea vertical u horizontal.
- Tipo de conector.
- Impedancia.
- Forma y grados de la cobertura de los lóbulos.
- Montaje físico y sus dimensiones.

Dentro del mercado encontramos un sin número de marcas que ofrecen antenas para la banda de operación de espectro ensanchado. Cada una ofrece diferentes características y modelos.

- Til Tek.
- Maxrad.
- YDI.
- Andrew.
- Gabriel Electronics.

5.2 DISEÑO DE REDES INALÁMBRICAS PUNTO A PUNTO

5.2.1 CARACTERÍSTICAS

Un enlace punto a punto es una comunicación bidireccional establecida entre dos transreceptores ubicados en dos puntos fijos mediante la emisión de radiofrecuencias de microondas.

5.2.2 EQUIPOS DISPONIBLES EN EL MERCADO

Para enlaces dedicados existen diferentes soluciones para datos, voz y video, dependiendo del equipo tiene alcances hasta 50 Km. Este enlace puede ser usado para redes privadas o públicas, como Wireless Local Loop (WLL), Wide área Networking (WAN), Red de área metropolitana (MAN), Redes de área local. Su alta confiabilidad permite ser usado en aplicaciones como Frame Relay y en última milla de redes de fibra óptica o satelitales. De los equipos mencionados anteriormente de punto multipunto también puede ser configurado para punto - punto a excepción del Kb/SS.

Una diferencia principal es que, un enlace punto multipunto la velocidad total del sistema es compartido con las remotas, en cambio un enlace punto punto toda la capacidad se aprovecha en un solo canal. En la Tabla 5.3 tenemos una lista de productos para este tipo de enlaces.

Producto	Marca	Velocidad	P _{Tx}	Distancia	Medio inalámbrico	Interfaces
SkyWave Wireless Modem	ACT Networks	64 Kbps - 2.048 Mbps	50 mW	32 Km	FHSS 2.4 Ghz.	RS422/530/V.35
Tracer	Adtran	2xT1 1xE1	100 mW	48 km	DSSS 2.4 Ghz	DS1/DSX-1 (T1), G.703 (E1)
BreezeLINK-121 Wireless E1/T1	Breezecom	56 Kbps - 2.048 Mbps	50 mW	1-32 km	FHSS 2.4 Ghz.	T1/E1, V.35, RS-530, X.21)
GINA 8000NVK	GRE	64 Kbps	725 mW	19 km	DSSS 2.4 Ghz.	RS232/449, V.35
AIRLAN/Bridge 200E	Solectek	2 Mbps	4 W ERP	40 km	DSSS 2.4 Ghz	Ethernet
AIRLAN/Bridge 1000E	Solectek	10 Mbps	4 W ERP	40 km	DSSS 2.4 Ghz	Ethernet
AirPro T1	Cylink	1.544 Mbps	-	35 km	DSSS 5.8 Ghz	DSX-1
AirPort II	Direct Network Services	5.7 Mbps	1 W ERP	2.9 km	DSSS 5.8 Ghz	Ethernet
Model 100-5	P-Com	56 Kbps to 2.048 Mbps	100 mW	50 km	DSSS 5.8 Ghz	V.35,DSX-1, G.703
BR1000-E	Aironet	Hasta 860 Kbps	450 mW	10 km	DSSS 915 Mhz	Ethernet
NLR-900T	Aerotron	19.2 Kbps	725 mW	2.4 km	DSSS 915 Mhz	RS232
AirLink 64MP	Cylink	1.2 - 64 Kbps	800 mW	48 km	DSSS 915 Mhz	RS232/422, V.35
DGR-115	FreeWave	2.4 - 115.2 Kbps	1 W	32 km	FHSS 915 Mhz	RS232
Infilink T1	Inficom	1.544 Mbps	100 mW	16 km	915 Mhz	V.35
Wireless KarlBridge	KarlNet	2 Mbps	250 mW	16 km	DSSS 915 Mhz	Ethernet
Hopper DS Wireless Modem	Wi-LAN	19.2 Kbps	0.5 W	10 km	DSSS 915 Mhz	RS232
Hopper Plus Wireless Ethernet Bridge	Wi-LAN	1.45 Mbps	0.5 W	9.5 km	DSSS 915 Mhz	Ethernet
Hummingbird 902	Xetron	19.2 Kbps	1 W	32 km	FHSS 915 Mhz	RS232/485

Tabla 5. 3 Productos para enlaces punto a punto.

Vamos a coger dos productos del mercado para analizar sus características. Por ejemplo, Lynx ofrece una gama de radios para este tipo de enlaces, dependiendo de la frecuencia y capacidad.

Frecuencia	Capacidad	Modelo
5.8 GHz	DS-3 (45 Mbps)	LYNX.sc6 DS-3
2.4 GHz	T1 (1.544 Mbps)	LYNX.sc2 T1
5.8 GHz	T1 (1.544 Mbps)	LYNX.sc6 T1
2.4 GHz	2 x T1 (2 x 1.544 Mbps)	LYNX.sc6 2 x T1
5.8 GHz	4 x T1 (4 x 1.544 Mbps)	LYNX.sc6 4 x T1
5.8 GHz	8 x T1 (8 x 1.544 Mbps)	LYNX.sc6 8 x T1
2.4 GHz	E1 (2.048 Mbps)	LYNX.sc2 E1
5.8 GHz	E1 (2.048 Mbps)	LYNX.sc6 E1
2.4 GHz	2 x E1 (2 x 2.048 Mbps)	LYNX.sc2 2 x E1
5.8 GHz	2 x E1 (2 x 2.048 Mbps)	LYNX.sc6 2 x E1
5.8 GHz	4 x E1 (4 x 2.048 Mbps)	LYNX.sc6 4 x E1
2.4 GHz	56 - 512 kbps	LYNX.sc2 Fractional
5.8 GHz	56 - 512 kbps	LYNX.sc6 Fractional
2.4 GHz	64 - 512 kbps	LYNX.mini2 Fractional
2.4 & 5.8 GHz	1 to 4x DSX-1/E1	LYNX.sc Protection Switch

Tabla 5.4 Productos Lynx para la banda de los 2.4 y 5.8 Ghz.

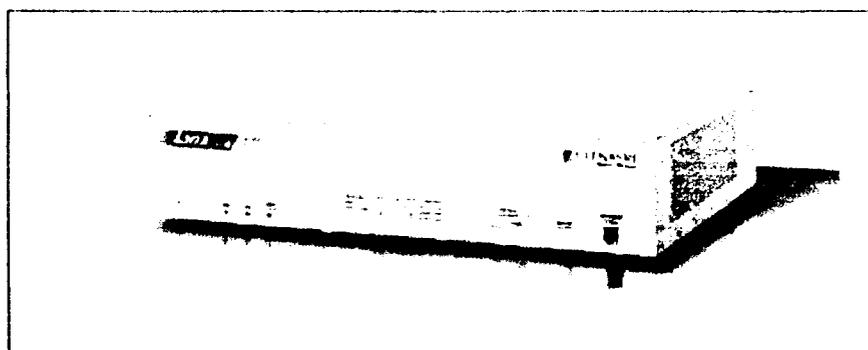


Figura 5.13 Lynx Wireless E1/T1 Transceiver.

El Aurora de Harris pertenece a una familia de radios microondas digitales punto-a-punto que emplea la técnica de espectro disperso. Estos radios permiten la implementación de servicios de comunicaciones inalámbricas de 1xE1/T1 a 2xE1/T1, así como de Puentes Remotos para redes LAN (10Base-T); a distancias típicas en línea visual de hasta 50 Km (30 mi). El Aurora TM opera en las bandas ICM de 2.4 GHz.

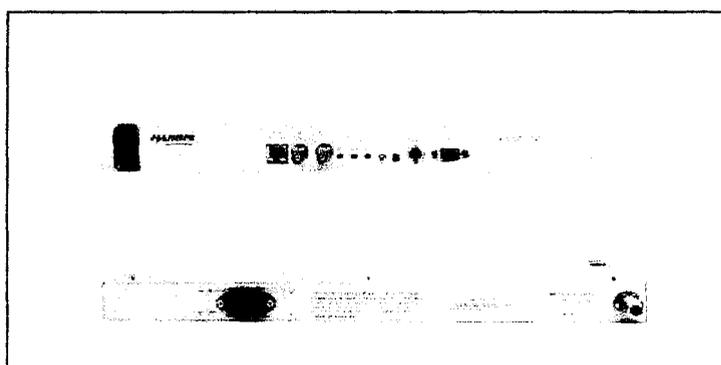


Figura 5.14 Harris Aurora 2.4 Ghz.

El Aurora TM proporciona la interconexión inalámbrica ideal para los sistemas de acceso privado, servicios de acceso a Internet, Puentes Remotos para redes LAN/WAN, sistemas celulares y PCS/PCN. Una conexión opcional 10Base-T, la cual reemplaza la interfaz de telefonía, sirve como puente de nivel 2 para redes Lan de hasta 10,000 direcciones MAC. Sin necesidad de las instrucciones de ningún operador, el Aurora TM aprende a transportar solamente aquellos paquetes que han sido direccionados entre las redes LAN que están conectadas, retransmitiendo automáticamente los paquetes corruptos utilizando el protocolo HDLC, con objeto de maximizar la integridad de los datos.

Esta radio reduce los costos de instalación y mantenimiento debido a que está constituido por una sola unidad liviana y compacta que puede ser instalada bajo techo en un solo espacio de bastidor, en superficie plana, o como parte integrante de una estación base. El CIF (Herramienta de Interfaz Craft) incorporado permite al software del Aurora TM ajustar la potencia de salida del transmisor, la secuencia de códigos de dispersión, o la frecuencia central del radio, a fin de optimizar su operación en una trayectoria dada. La familia Aurora TM de radios digitales de espectro disperso permitirá a su empresa mantener una posición de liderazgo; mediante el despliegue rápido de dichos radios, de forma fiable y a un coste mínimo.

Por otra parte, el Aurora TM hace que la recuperación de la inversión sea muy superior a la obtenida con el arrendamiento de líneas u otros radios similares.

5.2.3 ANÁLISIS PARA EL DISEÑO DE LA RED

Para el análisis de la red consideramos las mismas condiciones mencionadas en 5.1.3, pero tomando en cuenta que la antena es diferente.

Para un enlace punto-punto utilizamos antenas unidireccionales. Este tipo de antenas tiene las mismas características que las omnidireccionales, es decir puede presentar una ventaja o una desventaja, ya que para que pueda existir comunicación entre dos dispositivos debe existir línea de vista y solo abarca

un ángulo reducido, este tipo de antenas es común entre dispositivos fijo como los puentes que me interconectan dos redes inalámbricas. Una verdadera desventaja es que el tamaño tiende a ser demasiado grande.

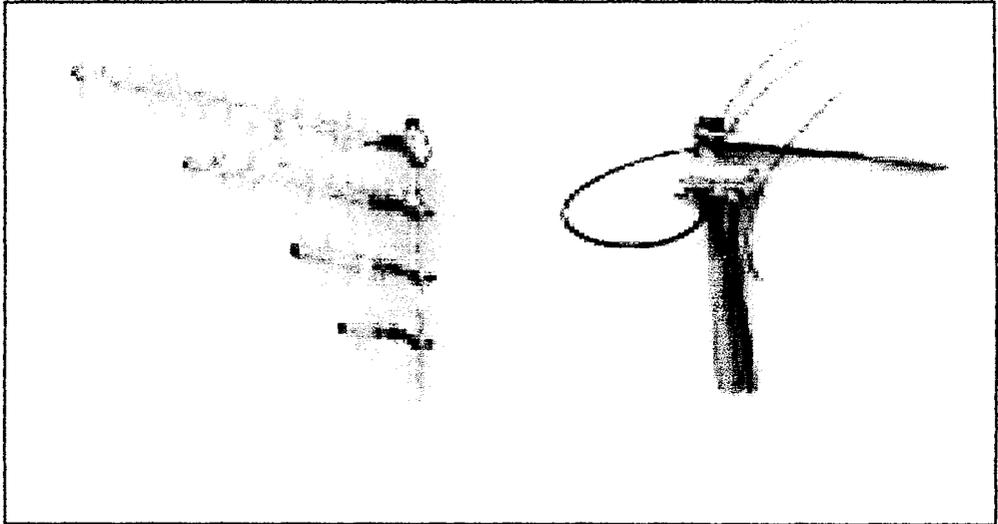


Figura 5.15 Antenas unidireccionales



CAPITULO 6

ANALISIS Y DISEÑO DE UNA RED INALAMBRICA DE ESPECTRO ENSANCHADO PARA LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

6.1 CARACTERISTICAS Y NECESIDADES DE LOS USUARIOS

Las razones para la adquisición de un servicio pueden estar determinadas por diferentes factores. La realización de un análisis dentro de cada organización debe permitir determinar las necesidades actuales y futuras de los usuarios y las limitaciones que ha de plantearse respecto al dimensionamiento de la red. Es necesario tener en cuenta y analizar con detenimiento los costos y beneficios asociados para obtener argumentos en la toma de decisiones.

En la fase de análisis de necesidades, fase inicial del proceso de adquisición, hay que tener en cuenta todos aquellos requisitos, limitaciones y restricciones que afecten, entre otros, a los siguientes puntos:

- **Aplicaciones que requerirán la utilización de la red y consecuentemente servicios de red necesarios.** Las redes locales facilitan el acceso de los usuarios a diferentes servicios de red compartidos. Los servicios más habituales que puede prestar una red es la compartición de recursos físicos por varios usuarios (discos, impresoras, etc.), de recursos lógicos (programas de aplicación, herramientas de desarrollo, etc.), de

información (acceso concurrente a ficheros, bases de datos, etc.), y por último el acceso a otras redes.

- **Tipo de información a transmitir por la red.** El tipo de datos a transmitir por la red (cadenas de caracteres, imágenes, voz, etc.) condiciona características claves de la red a implantar (técnica de transmisión requerida, rendimiento mínimo, etc.).
- **Carga o volumen de tráfico estimado.** No es tarea fácil evaluar esta variable porque depende de factores de difícil estimación como son: concurrencia simultánea, tipos de servicios demandados desde cada uno de los nodos, frecuencia de uso y distribución de dicha frecuencia en el tiempo. Conviene realizar estas estimaciones sobre valores medios ya que pueden condicionar el rendimiento de transmisión mínimo exigible a la red. Siempre que sea posible se realizarán proyecciones a corto y medio plazo.
- **Número de nodos que van a ser conectados y tipología de los equipos.** El conocimiento del número de nodos con los que contará la red y las características específicas de cada uno de los equipos que habrán de ser conectados a la misma, permitirá dimensionar correctamente tanto la estructura de la red como los elementos necesarios para realizar la conexión en cada uno de los equipos o nodos. Cuando sea posible se realizarán proyecciones a corto y medio plazo.
- **Conectividad con otras redes o sistemas informáticos externos al entorno de operación.** Es necesario delimitar claramente el área de aplicación de los servicios demandados por el usuario. Estos pueden ser locales, donde los servicios son limitados al área espacialmente cubierta por la red, y remotos cuando los servicios son cubiertos por otras redes o sistemas externos. Para ello la red deberá de disponer de los

dispositivos necesarios que permitan el acceso a estos servicios a cualquier usuario desde cualquier punto de la red.

- **Características físicas del entorno de operación.** Son las características de los dispositivos que se van a conectar a la red. Se pueden distinguir dos tipos de dispositivos que son los nodos pasivos y los activos. Los nodos pasivos, que son los puestos de trabajo desde los que se demandan los servicios de red. Estos puestos de trabajo pueden ser ordenadores personales, estaciones de trabajo, mini ordenadores o simples terminales. Los nodos activos, en cambio, son los sistemas servidores encargados de proporcionar servicios de red a los demás puestos de trabajo que forman parte de la red. Como el almacenamiento de ficheros, el acceso compartido a los recursos del sistema, comunicaciones con otras redes o sistemas, sistemas de copias de seguridad, correo electrónico, y gestión de seguridad.

Se deberá disponer de una estrategia de redes perfectamente elaborada para poder satisfacer las necesidades que se puedan plantear en un futuro.

Cuando una red está instalada, ésta crece de forma continua, aumentando en equipos anteriormente no considerados y llegando a lugares no contemplados, soportando nuevas aplicaciones.

6.2 TIPOS DE SERVICIOS A OFRECERSE

A los usuarios se les ofrece:

- La transmisión de datos dentro de la cobertura de nuestro servicio.
- La unión de dos o más puntos remotos a través de un circuito lógico diseñado en nuestra red. La velocidad de datos debe ser múltiplos de 64, siendo la mínima velocidad 64Kbps y la máxima 512kbps.
- Extensión de redes en forma inalámbricas que soporten protocolos:
 - IP Routing
 - SLIP
 - PPP
 - Frame Relay
 - X.25
 - HDLC
 - SDLC Poll Select
- La unión de dos puntos distintos por medio de un enlace dedicado usando equipos espectro ensanchado. Las velocidades a ofrecerse es por múltiplos de 64 Kbps hasta un E1. También enlaces dedicados Ethernet 10BaseT.
- Soluciones de LAN inalámbricas para entornos de oficinas. Cualquier dispositivo Ethernet, incluyendo impresoras, copiadoras, PC, dispositivos punto de venta, o equipos de monitorización.
- Servicio de Internet hasta 64 kbps.

6.3 DEMANDA DEL SERVICIO SEGUN LOS CLIENTES

Nos enfocamos a clientes de mediano tráfico cuyas necesidades básicas son interconectar sus sucursales situadas en puntos estratégicos comerciales e industriales. Este tipo de clientes demanda un servicio cuyo costo sea asequible y proporcional a sus necesidades, ya que lo que ellos necesitan es una comunicación entre sus redes distantes que les ayude a compartir recursos e información. A este tipo de clientes podemos ofrecerles enlaces independientes mediante una transmisión fija con direccionamiento de datos muy confiable.

Las alternativas tecnológicas de acceso para estos sectores del mercado, son diferentes. Por lo regular, el mercado masivo es satisfecho por medio de enlaces conmutados, esto es, una simple línea telefónica, la que con un software y un modem, permite el acceso. Esta alternativa es la más económica, pero está limitada en su capacidad, lo que la hace cada vez menos adecuada para las necesidades de las empresas, aunque estas sean pequeñas, ya que en general, las empresas cuentan con varias terminales, conectadas en una red de área local o LAN. Por ello, las alternativas de acceso para el mercado empresarial, requieren de enlaces dedicados para los servicios, lo que permite a los usuarios disponer de más altas capacidades y de una mayor disponibilidad.

Los clientes demandan además del intercambio de información, servicios adicionales, con valor agregado que les facilite compartir recursos en todos los extremos de la red. Para ellos la transmisión de datos es transparente, para muchos irrelevante, lo que les interesa es recibir y enviar información, rápida respuesta.

menores costos, compartir dispositivos y acceder a los dispositivos de almacenamiento del otro lado de la red.

6.4 CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES

Nuestro sistema cuenta con dos nodos o estaciones. Para la ubicación de nuestras estaciones escogimos dos lugares que tienen amplia cobertura a cualquier parte de la ciudad, como lo es Cerro del Carmen y Cerro Azul. Cubriremos el sector norte, centro y sur de Guayaquil.

Con estos lugares podemos dar servicio a un amplio sector comercial, financiero e industrial. Cada nodo podrá manejar treinta puntos, que en total serán sesenta distribuidos en toda la cobertura que se brinda.

Con el nodo Cerro del Carmen se podrá dar servicio al centro, norte y sur hasta parte de Durán. El nodo Cerro Azul cubrirá gran parte del sector noroeste y parte del noreste.

En el sector noroeste encontramos la zona industrial. En la figura 6.1 podemos observar la ubicación de los nodos y los sectores en que está dividido Guayaquil

Cada nodo tendrá la opción de expansión de bases para cubrir un mayor número de clientes. Dicha expansión se considera en el diseño.

6.5 ENLACES ENTRE LAS ESTACIONES

Las estaciones o nodos estarán unidos por medio de un enlace dedicado a 10 Mbps. Por este se podrán conectar los nodos, esto implica que cualquier punto del nodo principal se podrá conectar con otro punto del nodo secundario. Al referirnos con punto decimos que es una remota que más adelante explicaremos.

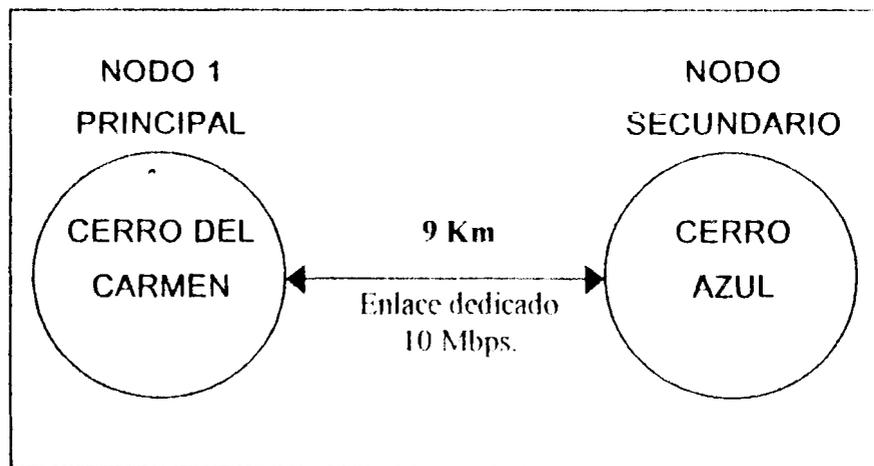


Figura 6.2 Enlace general entre estaciones.

La conexión de los equipos para este enlace podemos observarla en la figura 6.3.

6.6 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

El sistema consiste de Estaciones bases, ubicada en las instalaciones de los nodos, la cual se comunica con las estaciones remotas, denominados ruteadores inalámbricos, que se ubican en los sitios de los usuarios. Cada estación base tiene un ancho de banda, con capacidad máxima de hasta 10Mbps. Cada uno de los Remotos está asignado a uno de estos módulos. El sistema se puede configurar de forma que

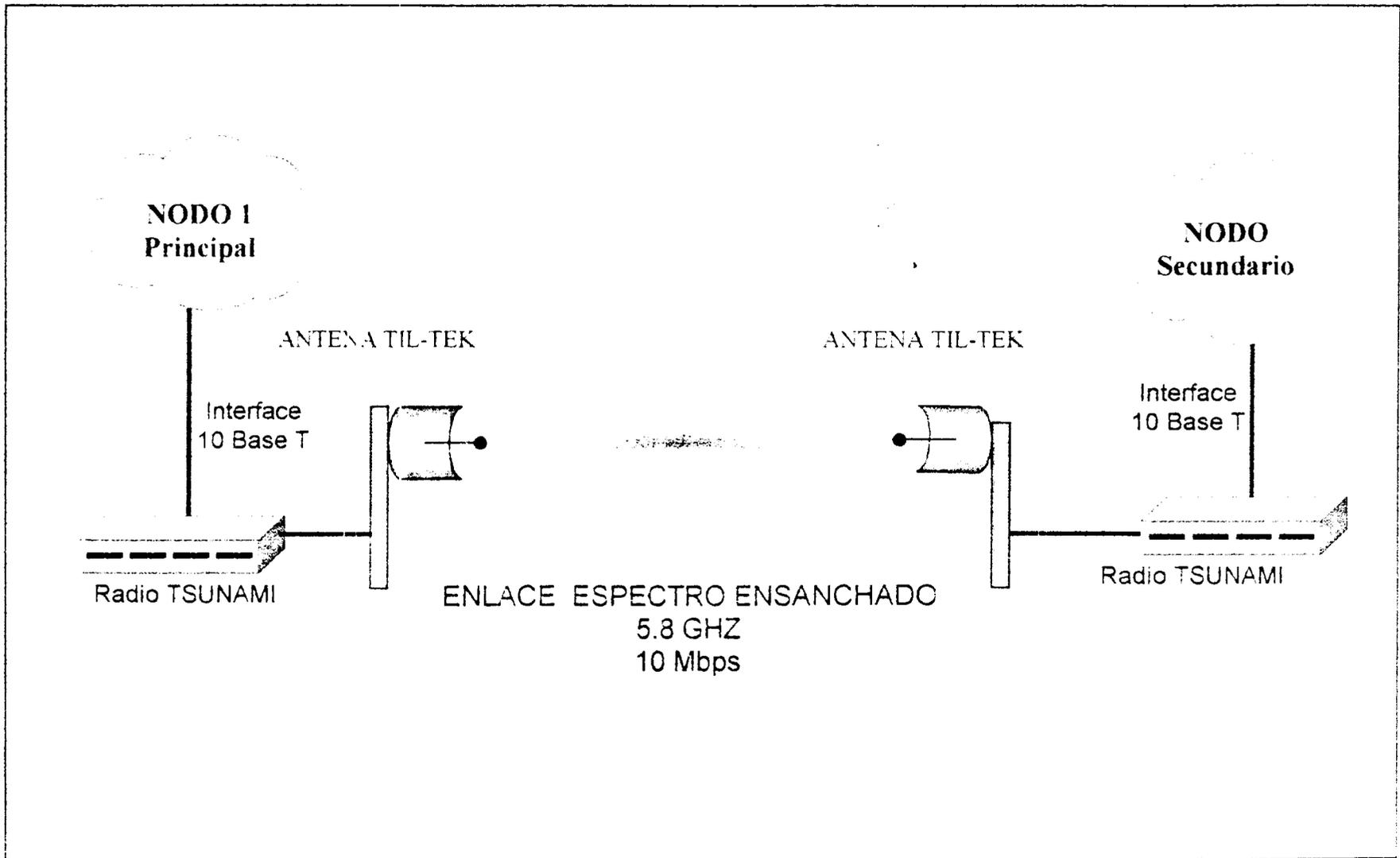


Figura 6.3 Enlace dedicado de los nodos

cada nodo pueda contar con una o más estaciones bases. A su vez, cada una de éstas, se conecta al nodo entrada de Internet del nodo principal. El sistema diseñado permite transmitir datos de cualquier punto o nodo a otro y entre sus especificaciones están:

- En ambos nodos contaremos con dos bases y cada una manejará 15 remotas. La capacidad máxima de un canal desde la base hacia la remota será de 512 Kbps y la mínima de 64 Kbps.
- La base podrá manejar hasta 15 puntos o remotas (usuarios).
- La capacidad total de cada base será de 10 Mbps repartidos en múltiplos de 64 Kbps a cada remota.
- La administración y monitoreo se hará desde el nodo principal.

Entre la base y la remota la comunicación será por medio de Frame Relay (Retransmisión de tramas). Cada remota tendrá asignado un DLCI (identificador de conexión de enlace de datos), además de una dirección IP. Estos parámetros son configurados en los equipos, ya que permite manejar esta opción.

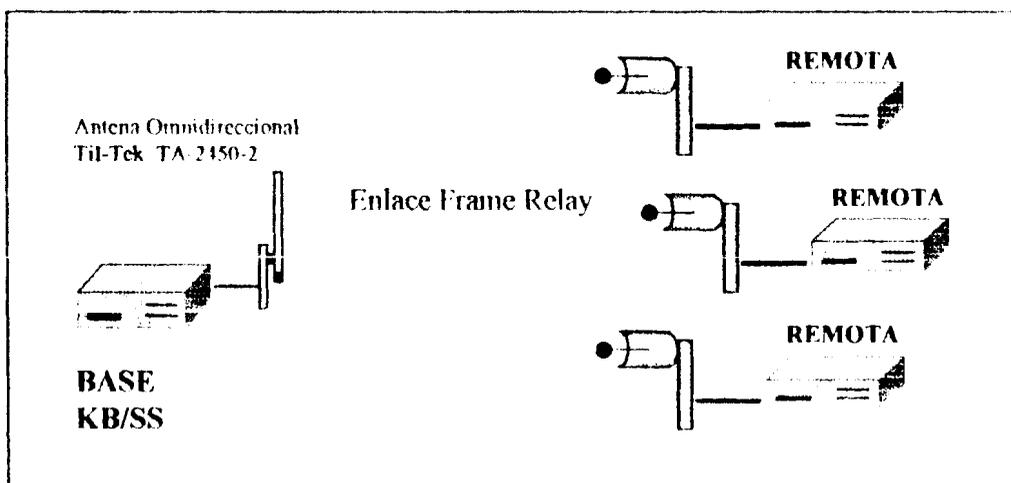


Figura 6.4 Enlace entre la base y las remotas.

El ancho de banda de la base se comparte en forma dinámica entre los usuarios asignados. Esto es, en todo momento, el total del ancho de banda es asignado a los usuarios que en ese instante están demandando el canal. Esta distribución se logra siguiendo prioridades preestablecidas, bajo el control en los nodos.

El número de usuarios remotos conectados, puede ser determinado con base en dos esquemas. El primero es función de la tasa de transmisión mínima comprometida o CIR (de sus siglas en inglés, Committed Information Rate) asignada a cada uno de los puntos remotos, mientras que el segundo es función de la capacidad promedio comprometida en la hora pico de la operación.

La velocidad total de una base hacia todas las remotas es de 10 Mbps. El máximo que le ofrecemos a un usuario es de 512 Kbps, si consideramos que tenemos 15 remotas el ancho máximo de canal sería de 7680 Kbps. Nosotros con esto garantizamos la no congestión del tráfico en nuestra red. Cabe mencionar que la máxima velocidad entre la base y la remota es de 1 Mbps.

Para el diseño del enlace entre uno de nuestros nodos y el cliente debemos considerar lo siguiente:

- Distancia.
- Velocidad.
- Tipo, longitud y pérdidas en el cable.
- Ganancia, potencia radiada y P.I.R.E de las antenas.

- Pérdidas en el medio.
- Potencia de transmisión de los equipos.

Para el diseño calculamos el margen de Fading o desvanecimiento, el cual nos muestra la disponibilidad del enlace entre ambos puntos en función de la distancia. El mínimo valor debe ser de 10 dB y de 20 dB para un enlace óptimo. Pasado los 20 dB el enlace puede estar saturado lo que puede perjudicar a los equipos y menor a 10 dB el enlace es malo. Estas consideraciones son sólo para la banda de los 2.4 Ghz.

En la tabla 6.1 se muestra el cálculo del Margen de Fading en función de la distancia y la ganancia de la antena. Para estos cálculos se consideraron los siguientes parámetros constantes:

Ganancia de la antena en la estación base = 8 dBi

Longitud del cable en la estación base y remota = 15 m

Potencia de transmisión en la estación base y remota = 20 dBm

Frecuencia de operación = 2.4 Ghz.

Sensibilidad de recepción = -85 dBm

Pérdidas en el cable = 22 dB/100m

DATOS		RESULTADOS			
Distancia (Km)	Ganancia de antena Remota (dBi)	Pérdidas por espacio Libre (dB)	Potencia radiada Antena base (dBm)	Potencia radiada Ant. remota (dBm)	Margen de Fading (dB)
1	11,50	104,40	28,10	27,60	16,30
1	19,00	104,40	28,10	35,10	23,80
2	11,50	110,40	28,10	27,60	10,30
2	19,00	110,40	28,10	35,10	17,80
2	21,00	110,40	28,10	37,10	19,80
2	24,50	110,40	28,10	40,60	23,30
3	19,00	113,90	28,10	35,10	14,30
3	21,00	113,90	28,10	37,10	16,30
3	24,50	113,90	28,10	40,60	19,80
3	27,00	113,90	28,10	43,10	22,30
4	19,00	116,40	28,10	35,10	11,80
4	21,00	116,40	28,10	37,10	13,80
4	24,50	116,40	28,10	40,60	17,30
4	27,00	116,40	28,10	43,10	19,80
5	24,50	116,40	28,10	37,10	11,80
5	27,00	118,40	28,10	40,60	15,30
6	24,50	120,00	28,10	40,60	13,70
6	27,00	120,00	28,10	43,10	16,20
7	24,50	121,30	28,10	40,60	12,40
7	27,00	121,30	28,10	43,10	14,90
8	24,50	122,50	28,10	40,60	11,20
8	27,00	122,50	28,10	43,10	13,70
9	24,50	123,50	28,10	40,60	10,20
9	27,00	123,50	28,10	43,10	12,70
10	27,00	124,40	28,10	43,10	11,80
11	27,00	125,20	28,10	43,10	11,00
12	27,00	131,60	28,10	43,10	10,20

Tabla 6.1 Cálculo del Margen de Fading.

Podemos observar en la tabla anterior que para operar en las mínimas condiciones la máxima distancia debe ser 12km, donde el Margen de Fading es de 10,2 dB. La máxima distancia operando con las mejores condiciones y una confiabilidad del 99.99% es a cuatro kilómetros. La máxima ganancia de antena que podemos obtener dentro de la serie TA-2400 de TIL-TEK es de 27dBi. Con esta marca trabajaremos en nuestro diseño.

Con estos resultados podemos realizar un mapa de cobertura de nuestro servicio en la ciudad de Guayaquil. En la figura 6.5 observamos para el Cerro del Carmen y la figura 6.6 para Cerro Azul. Esta cobertura puede estar limitada por obstáculos naturales o edificaciones.

Tomando en cuenta nuestro marco regulatorio, haremos los cálculos para comprobar si cumplimos con las disposiciones en cuanto a la potencia del transmisor y la ganancia de las antenas. Si tenemos que:

$P(\text{dB}) = 10 \log (\hat{\text{Potencia directa en W}})$; decibeles por cada W de potencia.

$P(\text{dBm}) = 10 \log (\text{Potencia directa en mW} / 1 \text{ mW})$; decibeles por cada mW de potencia

Entonces:

El equipo tiene una potencia directa de 100 mW, lo que en dBm son + 20 dBm.

Realizando los cálculos:

$$P(\text{dBm}) = 10 \log (100 \text{ mW} / 1 \text{ mW}) = 10 \log (100) = 10 (2) = + 20 \text{ dBm}$$

$$P(\text{dB}) = 10 \log (100 \text{ mW}) = 10 \log (0.1 \text{ W}) = 10 (-1) = - 10 \text{ dB}$$

En cuanto a la regulación:

Si el transmisor fuera de 1 W, entonces en decibeles tuviese:

$$P(\text{dB}) = 10 \log (1 \text{ W}) = + 10 \text{ dB}$$

La máxima ganancia de antena que nosotros utilizamos es de 27db, entonces sobrepasan a los 6 dB permitidos para un enlace punto multipunto. Si restamos $27-6=21$ tenemos el exceso de ganancia. Sabemos que se debe reducir la potencia máxima del transmisor de 1W, en 1 dB por cada 3 dB de ganancia de la antena

que excedan a los 6dBi, entonces dividimos 21 para tres; habría que reducir en 7db la potencia del transmisor de 1 W, entonces quedaría una potencia en decibeles de $+ 10 \text{ dB} - 7 \text{ dB} = + 3 \text{ dB}$. Pero nuestro transmisor entrega -10 dB de potencia, entonces estamos dentro del rango permitido y no hay que bajar la potencia del transmisor.

6.7 ESPECIFICACIONES DEL SERVICIO

El servicio principalmente es la transmisión de datos por nuestra red. Este, está limitado a nuestro sistema que fue detallado anteriormente. El proceso para obtener nuestro servicio es:

- Se deberá realizar un levantamiento o inspección de las instalaciones del cliente para ver si es posible brindar el servicio. Esto no tendrá ningún costo para el cliente.
- La inspección consiste en observar lo siguiente:
 - ▶ Línea de vista a uno de nuestros nodos.
 - ▶ Tierra en las instalaciones.
 - ▶ Voltajes en la red eléctrica, que debe ser estables principalmente el de neutro tierra que deberá ser menor a 1 voltio, caso contrario el cliente deberá tomar las medidas que corrijan el problema.
 - ▶ Facilidades de acceso.
 - ▶ Facilidad para la instalación de la antena.

- ▶ UPS o regulador de voltajes.
 - ▶ Longitud del cable.
- Techo falso.
 - Ductos o canaletas.
 - Disponibilidad de aire acondicionado. Temperatura ambiental.
 - Después de la inspección y cumplir con los requisitos se procederá a la instalación que tendrá un periodo de 48 horas. Después de este tiempo el cliente quedará operativo.

En lo respecta a los costos:

- El costo por la instalación inicial será de 150 dólares americanos el cual cubre mano de obra y materiales. Los materiales son los conectores, cable, mástil entre otras cosas.
- El costo del servicio depende de la velocidad contratada.
- En el precio está incluido el servicio y el arriendo de los equipos.

6.8 ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS

Después de analizar los productos existentes en el mercado que dan servicio de punto-multipunto el que más ventajas presentó, fue el Kb/SS de Kb/TEL, por su capacidad de soportar multi-protocolos y su facilidad de configuración e instalación. Kb/SS es un sistema de ruteadores inalámbricos punto multipunto que opera en la banda ICM de 2.4 GHz, usando tecnología de Espectro Ensanchado en la modalidad

de Salto de frecuencia. En el capítulo anterior presentamos ciertas características generales sobre este equipo, ahora presentaremos más detalles pero orientados a nuestro diseño y servicio.

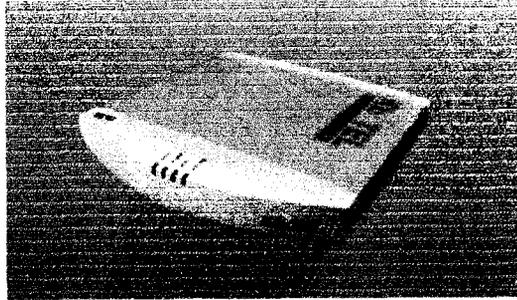


Figura 6. 7 Equipo KB/SS

Entre sus ventajas están:

- Uso eficiente del ancho de banda del espectro.
- Excelente relación costo-eficiencia.
- Instalación rápida y fácil.
- Control total de la red.
- Sistema de comunicaciones celular de punto-multipunto.
- Conmutación de paquetes.
- Actualización de software.
- Acceso a Internet.
- Correo electrónico.
- Extensión de una red Frame Relay.
- Voz sobre Frame Relay.
- Interconexión entre sucursales bancarias.



- Aplicaciones financieras.
- Interconexión de redes de área local.
- Acceso a la última milla.

Una de las características más importantes que ofrece Kb/TEL, es el uso eficiente de los recursos de radio garantizando el control total sobre la red. El Kb/SS Remoto es un Ruteador Inalámbrico el cual, instalado en el sitio del usuario, se conecta directamente a la LAN de éste, por medio de la interface 10Base-T a 10 Mbps, o a un puerto serial V.35 conectado directamente al ruteador del usuario. Al momento de la compra uno solicita las interfaces que desea. El equipo Remoto sustituye a la línea de acceso, al modem y al ruteador que se requieren en las alternativas tradicionales.

Esta característica del sistema Kb/SS se refleja en una disminución en los costos de equipamiento e instalación y en una reducción en los gastos de operación de hasta un 50% durante el primer año, en comparación con accesos tradicionales. El Kb/SS cuenta con un sistema de administración y supervisión (NMS, Network Management System), denominado Kb/NMS, que permite configurar los parámetros del sistema y efectuar mediciones críticas desde un punto central.

Este sistema es capaz de administrar 64 Módulos y trabaja bajo la plataforma SMNP (Simple Network Management Protocol), lo cual permite integrarlo a plataformas genéricas de administración de redes.

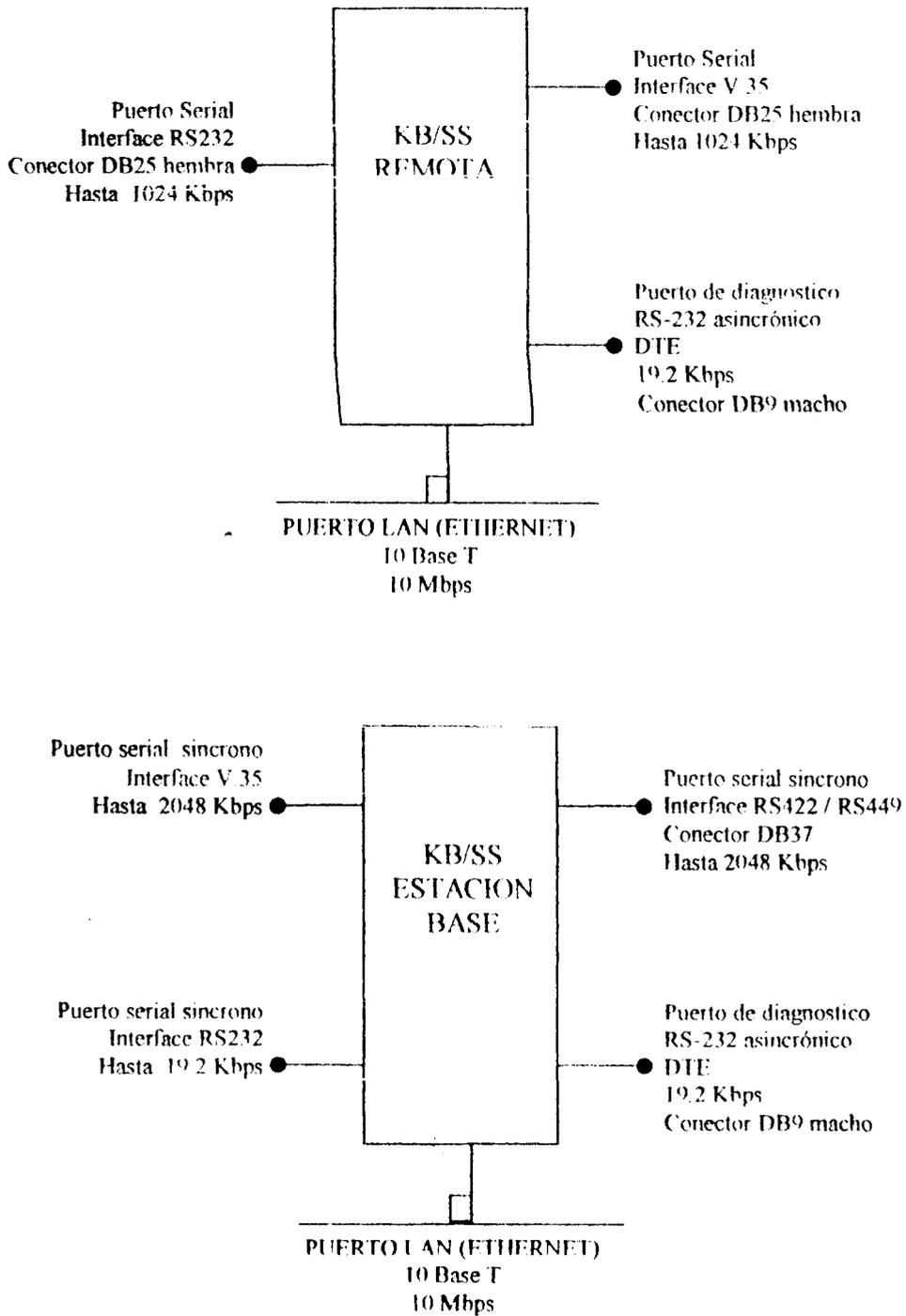


Figura 6.8 Diagrama de puertos de la base y la remota.

Se puede dar prioridad en las transacciones de tráfico entre los puertos de una estación remota. Esta es útil cuando en la remota existen aplicaciones que requieren prioridades sobre otras.

El sistema puede ser monitoreado y configurado desde una central a través del Sistema Administrador de Red (NMS), llamado Kb/SS NMS. Para esto cuenta con un puerto de diagnóstico.

La técnica utilizada es TDM / TDMA, en el cual un canal dinámico se adapta a las condiciones de tráfico. Normalmente este opera en una combinación de Slotted Aloha y Asignación por demanda; sobre condiciones extremas empieza un esquema de polco (polling).

El algoritmo utilizado para los saltos en los diferentes canales es llamado Salto de Frecuencia Adaptativo y fue implementado por KB/TEL para proveer una robusta comunicación en la banda de los 2.4 GHz. Cuando la base es inicializada, ésta analiza todos los canales definidos mediante el NMS y escoge al que tiene mejor BER operando en este. Este proceso se repite periódicamente y adapta a las mejores condiciones de trabajo y de menor interferencia.

El equipo permite crear puertos virtuales permanentes (PVC) entre la base y una de las remotas. Con esto podemos enviar varios canales de datos en forma independiente por un canal central. Esto lo aplicamos para enviar los datos del cliente e Internet en forma separada y con diferentes velocidades, estableciendo prioridad entre ambos. En la tabla 6.2 se presentan las características técnicas del Kb/SS.

	Base	Remota
RADIO		
Tasa de transmisión	1 Mbps (Half-Duplex)	
Banda de frecuencia	2.4 – 2.5 GHz (Banda libre) o cualquier segmento dentro de esta banda, configurado por software	
Protocolo de enlace de radio	AFH Algoritmo propietario Kb/TEL	
Tecnología de espectro disperso	FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)	
Modulación	FSK	
Potencia de salida	100 mW (+20dBm)	
Puertos de datos		
Puerto de baja velocidad	Uno (Datos o respaldo)	-
<i>Velocidad</i>	hasta 19.2 kbps	-
<i>Interfaz</i>	V.24, RS-232 DCE DB-25 Hembra	-
Puerto de alta velocidad	Uno	Uno (opcional)
<i>Velocidad</i>	hasta 2048 Kbps	hasta 2048 Kbps
<i>Interfaz</i>	V.35 (Estándar), (DB-26 Hembra-DCE), RS-449 (Opcional), RS-232 (Opcional)	V.35 (Estándar), (DB-25 Hembra-DCE), RS-449 (Opcional), RS-232 (Opcional)
Puerto local de diagnóstico	Uno	
Administración	Kb/NMS	
Interface	RS-232 DTE	
Puerto LAN	Uno	Uno
Interfaces	10BaseT, 10Base2	10Base-T
Características Físicas		
Temperatura de operación	0 a 40° C	
Humedad relativa sin condensación	95% (a 35° C)	
Dimensiones	412 x 134 x 382 mm	218 x 42 x 233 mm
Peso	11Kg	3Kg
Voltaje de alimentación	110/220 VAC 60/50 Hz o 48 VDC	
Consumo de potencia	55 Watts	30 Watts

Tabla 6.2 Características técnicas del Kb/SS.

Para los enlaces dedicados entre los nodos necesitamos un equipo que maneje interface 10BaseT de forma inalámbrica. Para esto contamos con la radio Tsunami que presenta esta característica. Trabaja en la banda de los 5.8 GHz y cumple con la norma FCC Part 15.247. Escogimos esta banda de frecuencia de espectro ensanchado para que no exista interferencia con la banda de los 2.4 Ghz., donde opera los otros equipos.

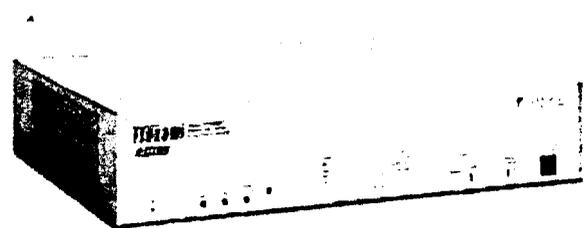


Figura 6.9 Equipo de radio Tsunami.

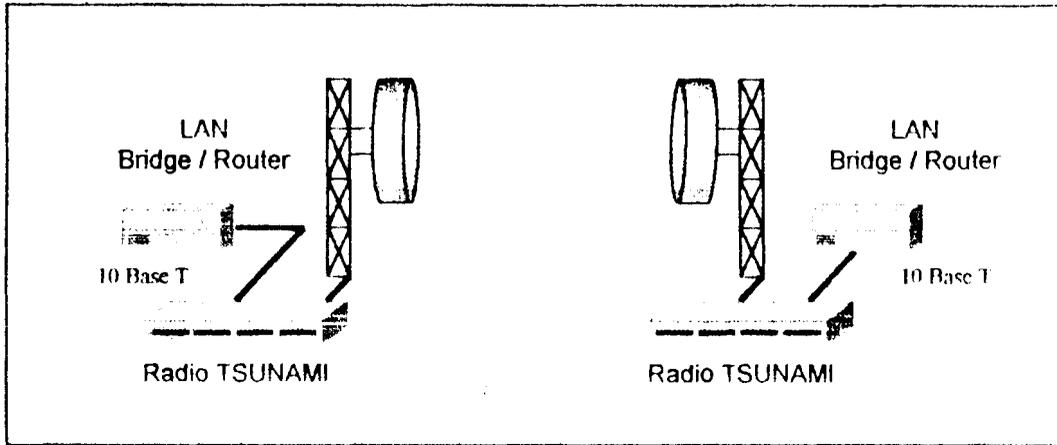


Figura 6.10 Configuración básica de las radios Tsunami.

El conmutador (switch) escogido para nuestra red es el Super Stack II de la marca 3Com. Es un conmutador Ethernet a 10 Mbps y que tiene doce puertos RJ45. Es configurable por consola, la cual permite asignar o cambiar parámetros como ancho de banda y velocidad. Posee dos puertos de 10/100 que sensan automáticamente velocidades más altas para servidores, terminales de trabajo, o interruptores principales. Un conmutador es un dispositivo de propósito especial diseñado para resolver problemas de rendimiento en la red, debido a anchos de banda pequeños y embotellamientos. El conmutador puede agregar mayor ancho de banda, acelerar la salida de paquetes, reducir tiempo de espera y bajar el costo por puerto. Opera en la capa 2 del modelo OSI y reenvía los paquetes sobre la base de la dirección MAC.

El conmutador segmenta económicamente la red dentro de pequeños dominios de colisiones, obteniendo un alto porcentaje de ancho de banda para cada estación final. No están diseñados con el propósito principal de un control íntimo sobre la red o como la fuente última de seguridad, redundancia o manejo. Al segmentar la red en *pequeños dominios de colisión, reduce o casi elimina que cada estación compita por el medio, dando a cada una de ellas un ancho de banda comparativamente mayor.*

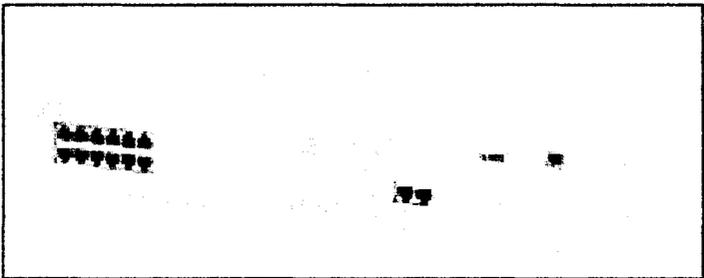


Figura 6. 11 Conmutador Súper Stack II 3Com

Las antenas que se utilizaran son de marca TIL-TEK. Esta se seleccionara según el diseño del enlace y necesidad de cada usuario, que depende de la distancia y la velocidad. En la tabla presentamos un resumen de las antenas de la serie TA-2400 de rango de frecuencia 2400-2483 MHz.

<u>No.</u>	<u>Modelo</u>	<u>Ganancia [dBi]</u>	<u>Ancho del Haz Horizontal</u>	<u>Ancho del Haz Vertical</u>	<u>Cobertura</u>
1	TA-2411	11,5	47	42	Direccional
2	TA-2418	19	18	20	Direccional
3	TA-2424	21	13,5	15	Direccional
4	TA-2436	24,5	9	10	Direccional
5	TA-2448	27	8,6	7,5	Direccional
6	HG2424G	24	8	8	Direccional
7	TA-2450	10	360	8	Omnidireccional
8	TA-2450-2	12	360	4	Omnidireccional
9	TA-2304-2-45	18,5	45	7,2	Sectorizada
10	TA-2304-2-ISM	17,5	60	15	Sectorizada
11	TA-2304-2	15,5	90	7,2	sectorizada
12	TA-2304-2-180	12,5	180	7,2	sectorizada

Tabla 6. 3 Modelos de antenas Til Tek para la banda de los 2.4 GHz.

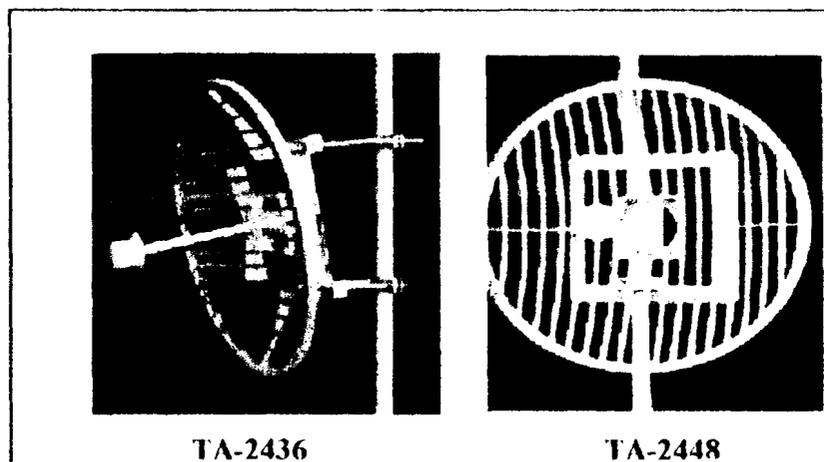


Figura 6. 12 Antenas utilizadas en las remotas.

De los modelos mostrados en la tabla anterior, para las bases que se encuentran en los nodos utilizaremos la TA-2450-2.

Para las remotas se utilizarán las TA-2411, TA2418, TA2424, TA2436, TA2448. Esta selección depende del punto donde está ubicada la antena, ya que para mayores se necesita antenas de mayor ganancia.

Para los enlaces dedicados entre los nodos los modelos corresponden a la serie TA-5200 que opera en la banda de los 5.8 Ghz (5250 –5850 Ghz). En la tabla se presenta un resumen:

Modelo	Tipo	Ganancia [dBi]	Diámetro (mm)	Cobertura
TA-5224M	Parabólica	28.5	737	Direccional
TA-5248M	Parabólica	34	1346	Direccional
TA-5272M	Parabólica	37	1970	Direccional

Tabla 6.4 Modelos de antenas Til Tek para la banda de los 5.8 GHz.

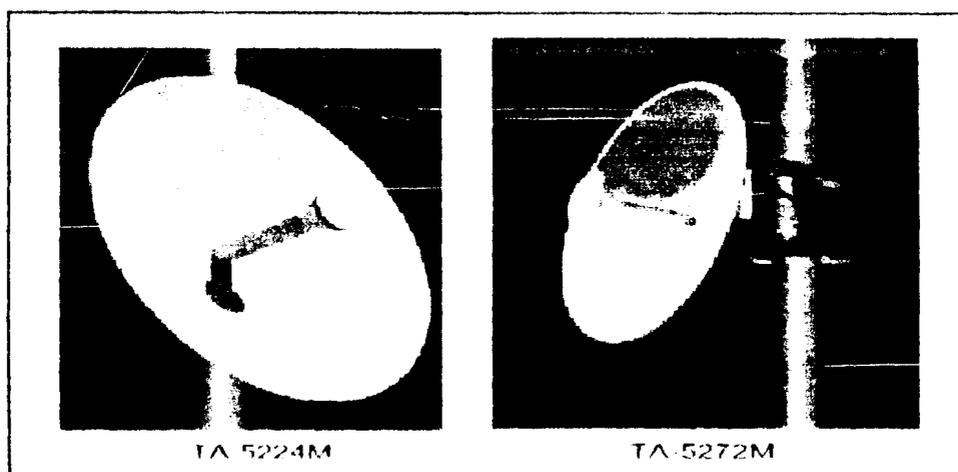


Figura 6.13 Antenas Tiltek de la Serie TA-5200.

Y por último la selección del cable. Nos guiamos a partir de la siguiente tabla:

<u>Tipo de Cable No.</u>	<u>Tipo de Cable</u>	<u>Descripción, O.D.</u>	<u>Pérdidas [dB/100m]</u>
1	LMR-400	Flex. 0.4"	22
2	LMR-600	Flex. 0.6"	14,3
3	LMR-900	Flex. 0.9"	9,7
4	LMR-1200	Flex. 1.2"	7,3
5	LMR-1700	Flex. 1.7"	5,6
6	LDF4-50A	Heliac 0.63"	12,8
7	LDF5-50A	Heliac 1.1"	7,2
8	LDF6-50	Heliac, 1.55"	5,2

Tabla 6.5 Tipos de cables.

Para nuestros equipos el cable a utilizar es el número uno, el LMR-400 que tiene 22dB de pérdida por cada 100 metros. Escogimos este cable por que sus especificaciones se adaptan a las del equipo.

Después de analizar los equipos y las necesidades de la red, el diagrama de conexión para el Nodo Principal se muestra en la figura 6.14 y para el Nodo Secundario en la figura 6.15.

6.9 ANALISIS COSTO BENEFICIO

En todo proyecto es importante evaluar el monto de la inversión, plantear los costos de adquisición de los equipos, los gastos de instalación, de operación, mano de obra, mantenimiento, etc. Planificar el tiempo de recuperación del capital invertido y si se justifica o no la inversión para llevar a acabo el proyecto. Para calcular la relación costo beneficio necesitamos establecer todos los valores involucrados en la

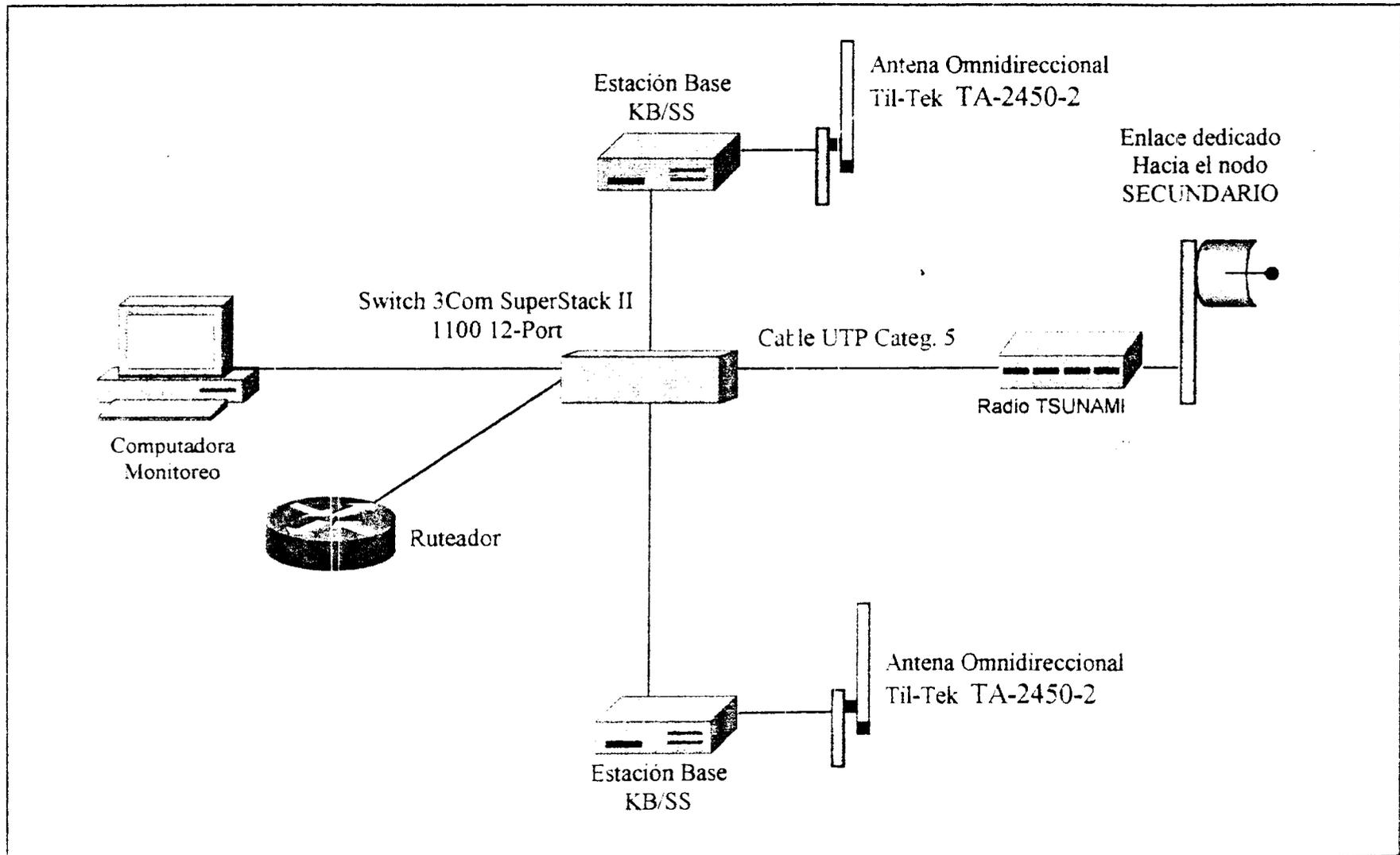


Figura 6.14 Nodo Principal.

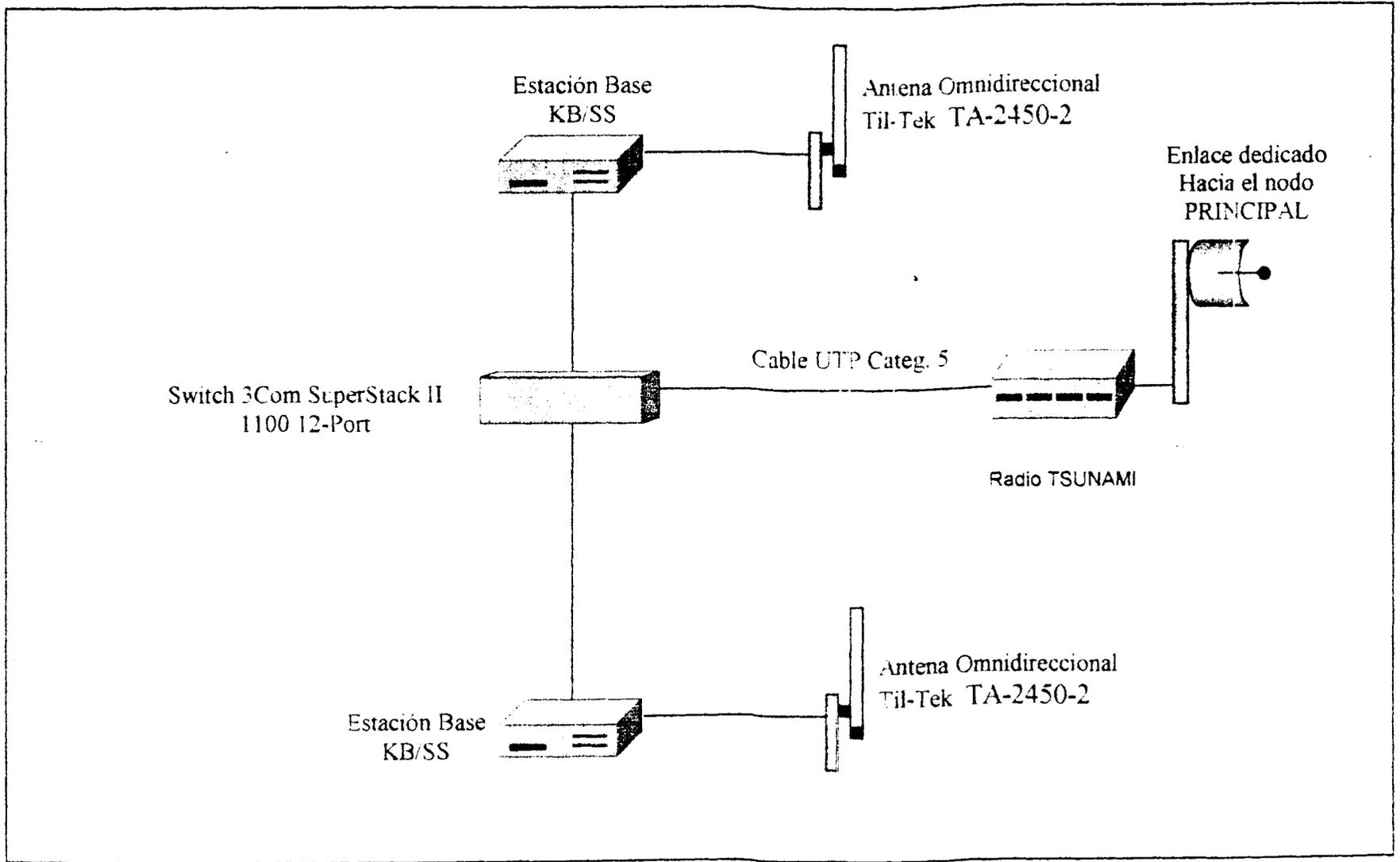


Figura 6.15 Nodo Secundario.

prestación del servicio: inversión inicial, costos e ingresos. Este cálculo debe ser expresado en términos de valores presentes o actuales, ya que los valores en el transcurso del tiempo no son los mismos debido a diferentes factores, en especial el de la inflación.

Para este análisis comenzaremos por calcular la inversión inicial, la cual representa el valor actual o presente del costo de los equipos, cableado y la infraestructura de las instalaciones, además se considerará el cálculo de la imposición anual de la SENATEL para un sistema de este tipo, donde:

$$IA(\text{Imposición anual}) = 4 * K * B * NTE$$

K = índice de inflación anual.

B = 12 para sistemas punto a punto y punto multipunto en el caso de nuestro sistema.

NTE = número de estaciones fijas, que en nuestro caso serán 64.

En total la imposición anual se pagará por 5 años y el monto total de este pago a la SENATEL será:

$$IA = (4 * 0.12 * 12 * 64) * 5 = \$ 1.850,00$$

De este modo la inversión inicial se presenta en el siguiente cuadro:



DETALLE DE LOS EQUIPOS	Cantidad	Precio unitario (U.S.D.\$)	Precio total (U.S.D. \$)
ANTENAS OMNIDIRECCIONALES	4	200,00	800,00
BASES	4	5 000,00	20.000,00
RENOTAS	60	3 000,00	180 000,00
ANTENAS DIRECCIONALES	60	150,00	9 000,00
CONMUTADOR (SWITCH)	2	495,00	990,00
RUTEADOR	1	1 000,00	1 000,00
ENLACES DEDICADOS(EQUIPOS Y ANTENAS)	1	10.000,00	10.000,00
COMPUTADORAS	1	1 000,00	1.000,00
EQUIPOS DE PROTECCION	2	500,00	1 000,00
COSTOS DE INSTALACION	1	1.500,00	1.500,00
IMPOSICION ANUAL(SENATEL)	5	370,00	1 850,00
TOTAL			\$227.140,00

Tabla 6.6 Costos de inversión inicial

Los costos mensuales están representados en nuestro caso, por todos aquellos gastos de operación y mantenimiento en los cuales están contemplados:

- Pago al personal, asumiendo un sueldo fijo para 3 empleados, los que se encargarán de las instalaciones y mantenimientos de los nodos y de los clientes.
- Pago al proveedor de Internet, ya que necesitaremos un enlace de por lo menos 512 Kbps, los que serán puestos a disposición de los usuarios.
- Pago de gastos generales para dos sitios donde estarán ubicados los nodos, se contempla aquí el alquiler y el consumo de luz.
- En los gastos administrativos se considera el mantenimiento de una oficina para atención al cliente.

Estos costos representan los gastos mensuales constantes como se presenta en el siguiente cuadro:

GASTOS GENERALES	MENSUAL
Proveedor de Internet	2.000,00
Gastos de personal	900,00
Alquiler y luz por los dos nodos	1.200,00
Gastos administrativos	500,00
TOTAL DE GASTOS	\$4.600,00

Tabla 6.7 Gastos mensuales

Ahora consideremos para efecto de los cálculos, un tiempo de 5 años para recuperación del capital, dividido en 60 periodos a un interés del 12% anual que representa el índice de inflación, ya que debido a las condiciones del ambiente en una inversión los valores tomados en consideración no son los mismos en el transcurso del tiempo como ya se había mencionado anteriormente.

Con una proyección a cinco años, analizaremos dos casos que dependerán del crecimiento del número de enlaces contratados cada mes, llegando máximo hasta 60 enlaces que es la capacidad de nuestro sistema.

En el primer caso suponemos un crecimiento mensual lineal, comenzando con 5 enlaces y completando los 60 enlaces en el primer año, continuando con dichos 60 enlaces durante todos cuatro años restantes.

En el segundo caso, suponemos un crecimiento mensual en el cual se logra completar los 60 enlaces en dos años, como se presenta en los siguientes gráficos:

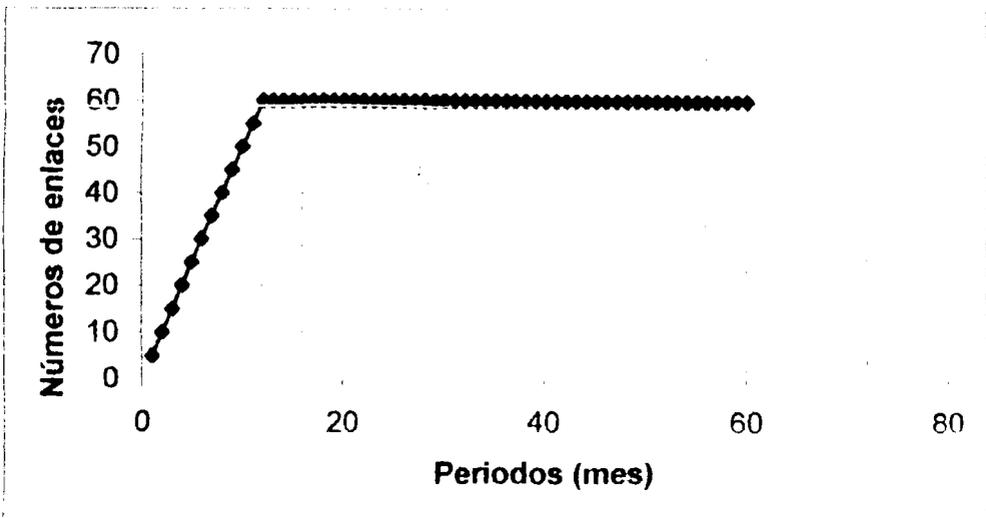


Figura 6.16 Primer caso de crecimiento de enlaces

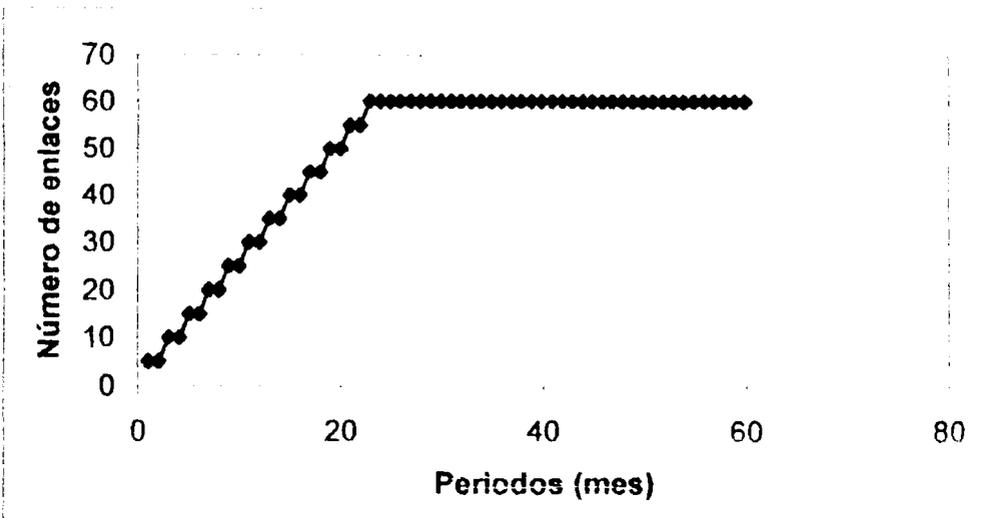


Figura 6.17 Segundo caso de crecimiento de enlaces

Bajo este esquema, calculamos nuestros ingresos mensuales tomando el número de enlaces contratados al mes y multiplicándolo por el costo mensual del enlace. Los ingresos mensuales se restan de los gastos generales de cada mes, los que se consideran constantes durante los sesenta periodos, para obtener los ingresos netos de cada mes. Cada uno de estos valores se proyecta de valores futuros a valores

presentes o actuales a un interés del 1% durante cada periodo, acumulando dichos valores. Se considera que cada año el costo de nuestro servicio se reducirá, ya que esta es la tendencia del mercado.

Asumimos para este análisis que vendemos sólo enlaces de 64 Kbps a un costo de 400 dólares, ya que es el mínimo precio a pagar por el servicio. Enlaces de mayor capacidad tendrán otro precio que dependerá de las necesidades del usuario.

Analizando los resultados de las tablas, en cuanto a valor presente acumulado de los ingresos netos haremos una estimación del tiempo en que se recuperara la inversión inicial.

Al término de los cinco años con el valor presente acumulado del ingreso neto se calcula la relación costo/beneficio, para cada caso de crecimiento del número de enlaces a fin de establecer si se justifica la inversión para llevar a cabo el proyecto bajo el siguiente criterio:

- Relación costo beneficio mayor que uno (se justifica la inversión)
- Relación costo beneficio igual a uno (se recupera la inversión inicial)
- Relación costo beneficio menor a uno (no se justifica la inversión).

Para calcular la rentabilidad del proyecto se compara el valor presente acumulado del ingreso neto con la inversión inicial, la diferencia entre estos valores se compara en porcentajes con la inversión inicial para obtener la rentabilidad en cinco años.

Esta rentabilidad se divide para cinco años para obtener la rentabilidad anual.

PRIMER CASO:

$$\text{Rentabilidad (\%)} = (\text{Costo} / \text{Beneficio} - 1) \times 100\%$$

Donde;

$$\text{Costo} / \text{Beneficio} = \frac{\text{Valor presente del acumulado de los ingresos netos en el periodo sesenta}}{\text{Inversión inicial}}$$

Observando los resultados obtenidos en la tabla 6.8 realizamos los cálculos:

$$\text{Costo} / \text{Beneficio} = (698.109,26) / (227.140,00) = 3.07$$

$$\text{Rentabilidad de los cinco años (\%)} = (3.07 - 1) \times 100\% = 207\%$$

$$\text{Rentabilidad por año (\%)} = 207\% / 5 = 41\%$$

SEGUNDO CASO:

Observando los resultados obtenidos en la tabla 6.9 realizamos los cálculos:

$$\text{Costo} / \text{Beneficio} = (582.117,78) / (227.140,00) = 2.56$$

$$\text{Rentabilidad de los cinco años (\%)} = (2.56 - 1) \times 100\% = 156\%$$

$$\text{Rentabilidad por año (\%)} = 156\% / 5 = 31\%$$

En ambos casos tenemos una rentabilidad aceptable.

Periodo	Número de enlaces	Costo mensual	Ingresos mensuales	Gastos Mensuales	Ingresos netos	Valor presente ingresos netos	Valor presente del acumulado de los ingresos netos
1	5	400,00	2000,00	4600,00	-2600,00	2574,26	2574,26
2	10	400,00	4000,00	4600,00	-600,00	588,18	3182,44
3	15	400,00	6000,00	4600,00	1400,00	-1358,83	1803,61
4	20	400,00	8000,00	4600,00	3400,00	-3287,33	-1463,72
5	25	400,00	10000,00	4600,00	5400,00	-5137,91	-6601,64
6	30	400,00	12000,00	4600,00	7400,00	-6971,13	-13572,77
7	35	400,00	14000,00	4600,00	9400,00	-8787,55	-22340,32
8	40	400,00	16000,00	4600,00	11400,00	-10527,71	-32868,03
9	45	400,00	18000,00	4600,00	13400,00	-12252,15	-45120,19
10	50	400,00	20000,00	4600,00	15400,00	-13941,42	-59061,60
11	55	400,00	22000,00	4600,00	17400,00	-15598,03	-74657,64
12	60	400,00	24000,00	4600,00	19400,00	-17218,51	-91874,15
13	60	390,00	23400,00	4600,00	18800,00	-16518,86	-108393,01
14	60	390,00	23400,00	4600,00	18800,00	-16355,30	-124748,31
15	60	390,00	23400,00	4600,00	18800,00	-16193,37	-140941,68
16	60	390,00	23400,00	4600,00	18800,00	-16033,04	-156974,72
17	60	390,00	23400,00	4600,00	18800,00	-15874,30	-172849,02
18	60	390,00	23400,00	4600,00	18800,00	-15717,13	-188568,15
19	60	390,00	23400,00	4600,00	18800,00	-15561,51	-204127,66
20	60	390,00	23400,00	4600,00	18800,00	-15407,44	-219535,09
21	60	390,00	23400,00	4600,00	18800,00	-15254,89	-234789,98
22	60	390,00	23400,00	4600,00	18800,00	-15103,85	-249893,83
23	60	390,00	23400,00	4600,00	18800,00	-14954,31	-264848,13
24	60	390,00	23400,00	4600,00	18800,00	-14806,24	-279654,38
25	60	380,00	22800,00	4600,00	18200,00	-14191,79	-293846,16
26	60	380,00	22800,00	4600,00	18200,00	-14051,27	-307897,44
27	60	380,00	22800,00	4600,00	18200,00	-13912,15	-321809,59
28	60	380,00	22800,00	4600,00	18200,00	-13774,41	-335583,99
29	60	380,00	22800,00	4600,00	18200,00	-13638,03	-349222,02
30	60	380,00	22800,00	4600,00	18200,00	-13503,00	-362725,02
31	60	380,00	22800,00	4600,00	18200,00	-13369,30	-376094,32
32	60	380,00	22800,00	4600,00	18200,00	-13236,93	-389331,26
33	60	380,00	22800,00	4600,00	18200,00	-13105,88	-402437,13
34	60	380,00	22800,00	4600,00	18200,00	-12976,11	-415413,25
35	60	380,00	22800,00	4600,00	18200,00	-12847,64	-428260,89
36	60	380,00	22800,00	4600,00	18200,00	-12720,43	-440981,32
37	60	370,00	22200,00	4600,00	17600,00	-12179,29	-453160,61
38	60	370,00	22200,00	4600,00	17600,00	-12058,70	-465219,31
39	60	370,00	22200,00	4600,00	17600,00	-11939,31	-477158,61
40	60	370,00	22200,00	4600,00	17600,00	-11821,10	-488979,71
41	60	370,00	22200,00	4600,00	17600,00	-11704,05	-500683,76
42	60	370,00	22200,00	4600,00	17600,00	-11588,17	-512271,93
43	60	370,00	22200,00	4600,00	17600,00	-11473,44	-523745,37
44	60	370,00	22200,00	4600,00	17600,00	-11359,84	-535105,21
45	60	370,00	22200,00	4600,00	17600,00	-11247,37	-546352,58
46	60	370,00	22200,00	4600,00	17600,00	-11136,01	-557488,59
47	60	370,00	22200,00	4600,00	17600,00	-11025,75	-568514,34
48	60	370,00	22200,00	4600,00	17600,00	-10916,58	-579430,92
49	60	360,00	21600,00	4600,00	17000,00	-10440,03	-589870,95
50	60	360,00	21600,00	4600,00	17000,00	-10336,66	-600207,61
51	60	360,00	21600,00	4600,00	17000,00	-10234,32	-610441,92
52	60	360,00	21600,00	4600,00	17000,00	-10132,99	-620574,91
53	60	360,00	21600,00	4600,00	17000,00	-10032,68	-630607,57
54	60	360,00	21600,00	4600,00	17000,00	-9933,33	-640540,90
55	60	360,00	21600,00	4600,00	17000,00	-9834,98	-650375,87
56	60	360,00	21600,00	4600,00	17000,00	-9737,60	-660113,48
57	60	360,00	21600,00	4600,00	17000,00	-9641,19	-669754,60
58	60	360,00	21600,00	4600,00	17000,00	-9545,73	-679300,40
59	60	360,00	21600,00	4600,00	17000,00	-9451,22	-688751,62
60	60	360,00	21600,00	4600,00	17000,00	-9357,64	-698109,26

Tabla 6.8 Cálculos para el primer caso de crecimiento de enlaces

Periodo	Número de enlaces	Costo mensual	Ingresos mensuales	Gastos Mensuales	Ingresos netos	Valor presente ingresos netos	Valor presente del acumulado de los ingresos netos
1	5	400.00	2000.00	4600.00	-2600.00	2574.26	2574.26
2	5	400.00	2000.00	4600.00	-2600.00	2548.77	5123.03
3	10	400.00	4000.00	4600.00	-600.00	582.35	5705.38
4	10	400.00	4000.00	4600.00	-600.00	576.59	6281.97
5	15	400.00	6000.00	4600.00	1400.00	-1332.05	4949.92
6	15	400.00	6000.00	4600.00	1400.00	-1318.86	3631.05
7	20	400.00	8000.00	4600.00	3400.00	-3171.24	459.81
8	20	400.00	8000.00	4600.00	3400.00	-3139.84	-2680.03
9	25	400.00	10000.00	4600.00	5400.00	-4937.44	-7617.47
10	25	400.00	10000.00	4600.00	5400.00	-4888.55	-12506.01
11	30	400.00	12000.00	4600.00	7400.00	-6632.80	-19138.81
12	30	400.00	12000.00	4600.00	7400.00	-6567.12	-25705.93
13	35	390.00	13650.00	4600.00	9050.00	-7951.90	-33657.83
14	35	390.00	13650.00	4600.00	9050.00	-7873.16	-41531.00
15	40	390.00	15600.00	4600.00	11000.00	-9474.84	-51005.84
16	40	390.00	15600.00	4600.00	11000.00	-9381.03	-60386.87
17	45	390.00	17550.00	4600.00	12950.00	-10934.69	-71321.56
18	45	390.00	17550.00	4600.00	12950.00	-10826.42	-82147.99
19	50	390.00	19500.00	4600.00	14900.00	-12333.32	-94481.31
20	50	390.00	19500.00	4600.00	14900.00	-12211.21	-106692.52
21	55	390.00	21450.00	4600.00	16850.00	-13672.60	-120365.12
22	55	390.00	21450.00	4600.00	16850.00	-13537.23	-133902.35
23	60	390.00	23400.00	4600.00	18800.00	-14954.31	-148856.65
24	60	390.00	23400.00	4600.00	18800.00	-14806.24	-163662.90
25	60	380.00	22800.00	4600.00	18200.00	-14191.79	-177854.68
26	60	380.00	22800.00	4600.00	18200.00	-14051.27	-191905.96
27	60	380.00	22800.00	4600.00	18200.00	-13912.15	-205818.11
28	60	380.00	22800.00	4600.00	18200.00	-13774.41	-219592.51
29	60	380.00	22800.00	4600.00	18200.00	-13638.03	-233230.54
30	60	380.00	22800.00	4600.00	18200.00	-13503.00	-246733.54
31	60	380.00	22800.00	4600.00	18200.00	-13369.30	-260102.84
32	60	380.00	22800.00	4600.00	18200.00	-13236.93	-273339.78
33	60	380.00	22800.00	4600.00	18200.00	-13105.88	-286445.65
34	60	380.00	22800.00	4600.00	18200.00	-12976.11	-299421.77
35	60	380.00	22800.00	4600.00	18200.00	-12847.64	-312269.41
36	60	380.00	22800.00	4600.00	18200.00	-12720.43	-324989.84
37	60	370.00	22200.00	4600.00	17600.00	-12179.29	-337169.13
38	60	370.00	22200.00	4600.00	17600.00	-12058.70	-349227.83
39	60	370.00	22200.00	4600.00	17600.00	-11939.31	-361167.13
40	60	370.00	22200.00	4600.00	17600.00	-11821.10	-372988.23
41	60	370.00	22200.00	4600.00	17600.00	-11704.05	-384692.28
42	60	370.00	22200.00	4600.00	17600.00	-11588.17	-396280.46
43	60	370.00	22200.00	4600.00	17600.00	-11473.44	-407753.89
44	60	370.00	22200.00	4600.00	17600.00	-11359.84	-419113.73
45	60	370.00	22200.00	4600.00	17600.00	-11247.37	-430361.10
46	60	370.00	22200.00	4600.00	17600.00	-11136.01	-441497.11
47	60	370.00	22200.00	4600.00	17600.00	-11025.75	-452522.89
48	60	370.00	22200.00	4600.00	17600.00	-10916.58	-463439.44
49	60	380.00	21800.00	4600.00	17000.00	-10440.03	-473879.47
50	60	360.00	21600.00	4600.00	17000.00	-10336.66	-484216.13
51	60	360.00	21600.00	4600.00	17000.00	-10234.32	-494450.44
52	60	360.00	21600.00	4600.00	17000.00	-10132.99	-504583.43
53	60	360.00	21600.00	4600.00	17000.00	-10032.66	-514616.09
54	60	360.00	21600.00	4600.00	17000.00	-9933.33	-524549.42
55	60	360.00	21600.00	4600.00	17000.00	-9834.98	-534384.39
56	60	360.00	21600.00	4600.00	17000.00	-9737.60	-544122.00
57	60	360.00	21600.00	4600.00	17000.00	-9641.19	-553763.19
58	60	360.00	21600.00	4600.00	17000.00	-9545.73	-563308.92
59	60	360.00	21600.00	4600.00	17000.00	-9451.22	-572760.14
60	60	360.00	21600.00	4600.00	17000.00	-9357.64	-582117.78

Tabla 6.9 Cálculos para el segundo caso de crecimiento de enlaces.

6.10 COMPARACION CON OTROS SISTEMAS

El enlace punto multipunto es la versión del punto a punto para la conexión rápida y fiable de más de dos instalaciones.

Para reducir costes, este sistema consta de una instalación central dotada de una antena multidireccional, a la que apuntan las antenas direccionales del resto de puntos. Esta infraestructura reduce costos, tiempo de instalación y pruebas, además de personal para mantenimientos de las instalaciones. Tiempos de respuestas porque son menos los puntos a diagnosticar los problemas. En un sistema punto a punto de microondas, en el caso de nodos que concentran muchos enlaces, ocupan muchos espacio físico, además cada enlace debe contar con una frecuencia asignada que debe tener permiso de operación y se debe pagar por su uso, esto ocasiona un aumento en los costos de operación. En un sistema así utilizando fibra óptica los gastos de inversión es aun mucho mayor y el tiempo de instalación también; además se necesita personal muy capacitado y con experiencia para las instalaciones y mantenimientos. Al igual el cobre, la instalación es larga aunque los costes son reducidos, pero el único inconveniente es la distancia.

En la tabla 6.10 realizamos una comparación general entre la implementación de un enlace punto multipunto con la de un sistema de enlaces punto a punto.

	Enlaces punto a punto	Enlace punto multipunto
Alcance	Grandes distancias	Medianas distancias
Velocidad variable	Si	Si
Interfaces soportadas	Pocas	Muchas
Medio	Dedicado	Compartido
Soporte de protocolos	Pocos (1- 2)	Muchos (1 - 8)
Potencia máxima	2W	1W
Costo de infraestructura	Mayor	Menor
Costo de mantenimiento	Mayor	Menor
Costo de operación	Mayor	Menor

Tabla 6. 10 Comparación de enlaces punto a punto con punto multipunto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.-

Existe en la actualidad tecnología avanzada en equipos para servicios de telecomunicaciones, muchas de las técnicas empleadas en el diseño de estos equipos han sido desarrolladas y mejoradas a través del tiempo, este es el caso de Espectro Ensanchado.

Nuestra red LAN inalámbrica es fija y su topología es punto multipunto, la misma que ofrece enlaces dedicados e independientes para cada uno de los clientes, desde 64 Kbps hasta 512 Kbps, adicionalmente pondremos a disposición el servicio de Internet.

Las bandas de frecuencia de operación de sistemas de Espectro Ensanchado son libres del pago por su ocupación. Aprovechando este hecho y las bondades en cuanto a modulación, codificación, encapsulamiento, baja potencia y facilidades de ampliación de redes, presentamos el diseño de una red que ofrecerá la transmisión de datos para usuarios de mediano tráfico

En nuestro país existen leyes que rigen la operación de sistemas con tecnología de Espectro Ensanchado, dentro de las que se especifican no solo parámetros de operación sino que también se preocupa de las interferencias que pudieran causar a los sistemas que se encuentren operando en la misma banda de frecuencias.

RECOMENDACIONES.-

Para la implementación se sugiere realizar pruebas de interferencias en los nodos principal y secundario, para elegir los canales de operación.

Además se debe tomar en cuenta para los enlaces, las peores condiciones atmosféricas para analizar las pérdidas o atenuaciones en el medio y que el enlace opere bajo cualquier circunstancia.

BIBLIOGRAFÍA

- Roger L. Freeman, Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones (México: Editorial Limusa, 1995), Pág. 292-313.
- Internet “<http://www.conatel.gov.ec>”.
- Internet “<http://www.kbtel.com/es/ss.htm>”.
- Internet “<http://www.ece.wpi.edu/courses/ee535.htm>”.
- Internet “<http://www.syscom.com.mx/aironet.htm>”.
- Internet “<http://www.ucatolica.edu.co/sistemas/wptemas/redesin/redesin.html>”.

