



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGÓN

**“TENDENCIAS DE LAS REDES
INALÁMBRICAS EN MÉXICO
WPAN, WLAN, WMAN, WWAN”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

P R E S E N T A:
VARGAS JIMÉNEZ ALEX JONATHAN

ASESOR: ING. JUAN GASTALDI PÉREZ

MÉXICO,

2004.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Rebeca, Benjamín
Jacobó e Ileana

POR ENSEÑARME A SER UNA FAMILIA

INTRODUCCIÓN

1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE REDES DE TELECOMUNICACIONES.

1.1.	Propiedades de las Señales Eléctricas	3
1.1.1.	Señales Eléctricas	3
1.1.1.1.	Propiedades Físicas.	3
1.1.2.	Transmisión Analógica Y Transmisión Digital.	4
1.1.2.1.	Transmisión Analógica.	4
1.1.2.2.	Transmisión Digital.	5
1.1.2.3.	Parámetros En Un Sistema De Transmisión.	5
1.1.2.3.1.	Atenuación.	5
1.1.2.3.2.	Ancho De Banda.	6
1.1.2.3.3.	Ruido.	6
1.1.2.3.4.	Interferencia.	6
1.1.3.	Modulación.	7
1.1.3.1.	Modulación Digital A Analógica.	7
1.1.4.	Codificación.	8
1.1.4.1.	Codificación Digital.	8
1.1.4.2.	Técnicas De Codificación Digital.	9
1.1.5.	Multiplexación.	10
1.1.6.	Transmisión Síncrona Y Asíncrona.	11
1.1.7.	Chequeo De Errores.	12
1.1.8.	Equipo De Comunicación De Datos.	12
1.1.8.1.	Data Terminal Equipment y Data Communications Equipment. (DTE's Y DCE's)	12
1.1.8.2.	Módems, Codecs Y DSU's.	13
1.1.9.	Modos De Transmisión.	14
1.1.9.1.	Simplex (Sx).	14
1.1.9.2.	Half-Duplex (HDX).	14
1.1.9.3.	Full-Duplex (FDX).	14
1.1.9.4.	Full/ Full- Duplex (F/FDX).	15
1.1.10.	Medios De Transmisión.	15
1.1.10.1.	Medios Magnéticos.	15
1.1.10.2.	Par Trenzado.	16
1.1.10.3.	Cable Coaxial.	16
1.1.10.4.	Fibra Óptica.	16
1.1.11.	Transmisión Vía Satélite.	16
1.1.12.	Conmutación.	17
1.1.12.1.	Conmutación De Circuitos.	17
1.1.12.2.	Conmutación De Circuitos Rápidos.	17
1.1.12.3.	Conmutación De Mensajes.	18
1.1.12.4.	Conmutación De Paquetes.	18
1.1.12.4.1.	Conmutación De Paquetes Modo Datagrama. -	18
1.1.12.4.2.	Conmutación De Paquetes Circuito Virtual.	18
1.1.12.4.3.	Conmutación De Paquetes Rápidos.	19

1.1.12.5.	Conmutación De Tramas.	19
1.1.12.6.	Conmutación De Células.	19
1.2.	Transmisión De Datos.	19
1.2.1.	Alternativas Para La Transmisión De Datos.	19
1.2.2.	Clasificación De Las Redes.	20
1.2.2.1.	Redes Conmutadas.	21
1.2.2.2.	Redes Sin Conmutar.	21
1.2.2.3.	Redes De Área Local (Lan).	21
1.2.2.4.	Redes De Área Metropolitana (Man).	22
1.2.2.5.	Redes De Área Amplia (Wan).	22
1.2.3.	Conectividad.	23
1.2.4.1.	Topologías De Red.	24
1.2.4.1.1.	Configuración En Estrella.	24
1.2.4.1.2.	Configuración En Anillo.	24
1.2.4.1.3.	Configuración En Bus.	25
1.2.4.1.4.	Configuración En Malla.	25
1.2.5.	Interconectividad.	26
1.2.5.1.	Repetidores	26
1.2.5.2.	Puentes.	26
1.2.5.3.	Enrutadores.	26
1.3.	Normalización Y Estandarización.	27
1.3.1.	Normalización	27
1.3.2.	Estandarización.	27
1.3.3.	Estándares IEEE 802.	27
1.3.4.	Modelo Osi.	28
1.3.4.1.	Capa Física.	28
1.3.4.2.	Capa De Enlace De Datos.	29
1.3.4.3.	Capa De Red.	29
1.3.4.4.	Capa De Transporte.	29
1.3.4.5.	Capa De Sesión.	29
1.3.4.6.	Capa De Presentación.	30
1.3.4.7.	Capa De Aplicación	30

2. BREVE HISTORIA Y RESUMEN DE LOS ESTÁNDARES DE LAS REDES INALÁMBRICAS

2.1.	Breve Historia De Las Redes Inalámbricas	32
2.2.	La Radio, El Fundamento De Una Red Inalámbrica	32
2.3.	Resumen De Los Estándares De Las Redes Inalámbricas	34
2.4.	Globalización De Los Estándares	35

3. REDES DE ÁREA PERSONAL INALÁMBRICAS (WPAN)

3.1.	Bluetooth IEEE 802.15* Bluetooth* UWB	38
3.1.1.	Reseña	38
3.1.2.	La Pila De Protocolos	38
3.1.3.	El Modelo De Referencia Osi	40
3.1.4.	Nivel Físico	41
3.1.4.1.	Maestros, Esclavos, Ranuras, Y Saltos De Frecuencia.	42
3.1.4.2.	Piconets Y Scatternets	43
3.1.5.	Clases De Potencia De Radio	44
3.1.6.	Enlaces De Voz Y Datos	46
3.1.7.	Radio	47
3.1.7.1.	Radio En Equipos Bluetooth	47
3.1.7.2.	Salto De Frecuencia	48
3.1.8.	Modulación	48
3.2.	Ultra Banda Ancha (UWB)	49
3.2.1.	Ráfagas Inalámbricas De Información	49
3.2.2.	Capacidad	50
3.2.3.	Radio Sin Onda Portadora	52
3.2.4.	Una Opción Para Evitar La Interferencia	53
3.2.5.	Esquemas De Modulación De Banda Ancha Y Estrecha	54
3.2.7.	Muchas Rutas A Tomar	55
3.2.8.	Bajo Y Corto	56

4.- REDES DE ÁREA LOCAL INALÁMBRICAS (WLAN) 802.11 WI-FI

4.1.	El Estándar 802.11	57
4.2.	La Capa De Control De Acceso A Medios De 802.11	58
4.3.	802.11b Vs. 802.11 ^a	60
4.3.1.	Puntos Resumidos De 802.11 ^a	60
4.4.	Modulación	61
4.5.	Esquemas De Modulación	63
4.6.1.	Técnicas De Propagación	68
4.6.2.	Espectro Extendido De Secuencia Directa Y Espectro Extendido De Salto De Frecuencia	68
4.7.	Multiplexión Por División Ortogonal De Frecuencia	69
4.8.	La Capa Física RF: Capa 1	72
4.9.	Los Elementos Fundamentales Del Radio	73
4.10.	El Radio	73
4.11.	El Radio 802.11	74
4.12.	Topologías De Red	75
4.12.1.	Espectro Extendido De Secuencia Directa, y Espectro Extendido De Saltos De Frecuencia (DSSS Y FHSS)	76
4.13.	Elementos De La Capa Phy	79
4.14.	Sensor De Portadora	80
4.14.1.	Las Funciones Principales De La Capa Mac	82

5.- REDES DE ÁREA METROPOLITANA INALÁMBRICAS (WMAN)

5.1.	IEEE 802.16.	83
5.1.1	El Foro WiMAX.	84
5.2.	Introduciendo la nueva era de banda ancha inalámbrica	85
5.2.1.	La importancia de la interoperabilidad.	86
5.2.2.	La evolución de WiMAX.	86
5.3.	Historia y Evolución del Estándar 802.16	87
5.4.	Opciones de 802.16d PHY	90
5.5.	Corrección de Errores	92
5.6.	802.16 MAC	93
5.7.	Servicio Especifico	93
5.8.	802.16a MAC: Ofreciendo QoS Flexible	94
5.9.	802.16a MAC Sumario	95
5.10.	Cual es la mejor opción para que funcione en el futuro	96

con WiMAX

6. REDES DE AREA AMPLIA INALAMBRICA (WWAN) "GSM,3G"

6.1.	Descripción	99
6.1.1.	GSM/DCS-1800	100
6.1.2.1.	Sistema De Conmutación	100
6.1.2.2.	Sistema De Estaciones Base	101
6.1.2.3.	Sistema De Operación Y Mantenimiento	101
6.1.3.	Interfaz Radio	101
6.1.4.	Conexión A Redes E Interface	104
6.2.	Transmisión De Datos En Sistemas Móviles	106
6.2.1.	Aplicaciones Móviles De Datos	106
6.2.2.	Posibilidades De Transmitir Datos En Los Sistemas Móviles	108
6.2.3.	Tipos De Sistemas Móviles Exclusivos Para Datos	109
6.2.4.	Comparación Entre Transmisión En Modo Circuito Y En Modo Paquete	110
6.2.5.	Características Generales De Los Sistemas Móviles Para Datos En Modo Paquete	110
6.2.5.1.	Parámetros Del Sistema	110
6.2.5.2.	Funciones	111
6.2.6.	Características De Los Sistemas Exclusivos Para Datos	112
6.2.6.1.	Arquitectura	112
6.2.6.2.	Elementos Del Sistema	114
6.2.6.2.1.	Centros De Control Y Conmutación	114
6.2.6.2.2.	Centro De Gestión De Red	114
6.2.6.2.3.	Estaciones Base	114
6.2.6.2.4.	Equipos Móviles	115

6.2.6.2.5.	Terminales Fijos	115
6.2.6.3.	Interfaces	116
6.2.6.3.1.	Interfaz Radio	116
6.2.6.3.1.1.	Nivel Físico/Nivel 1	117
6.2.6.3.1.2.	Nivel De Enlace/Nivel 2	118
6.2.6.3.1.3.	Nivel De Red/Nivel	119
6.3.	Acceso Múltiple En Sistemas De Comunicaciones Personales	120
6.3.1.	Esquemas Básicos De Acceso Múltiple	121
6.3.1.1.	Combinación FDMA / TDMA	122
6.3.1.2.	Combinación CDMA / FDMA	122
6.3.2.	Capacidad Y Eficiencia Espectral	123
6.4.1.	Sistemas Clásicos	123
6.4.2.	Sistemas De Primera Generación	124
6.4.3.	Sistemas De Segunda Generación6.	125
6.4.4.	Sistemas De Tercera Generación	125
CONCLUSIONES		127
BIBLIOGRAFÍA		128
REFERENCIA Y PAGINAS UTILIZADAS DE INTERNET		129
GLOSARIO Y ACRONISMO DE TÉRMINOS		130

INTRODUCCIÓN

La comunicación entre los individuos es y seguirá siendo un elemento esencial en la vida del hombre tanto que la humanidad no hubiera podido subsistir o desarrollarse sin ella, de tal modo que el hombre busca la manera de transmitir información, por ejemplo al principio se usaban sonidos de tambores o cierto tipo de señales a los cuales se les asignaba un código o formato el cual podía ser entendido por ambas partes.

Para que este tipo de información pudiera llevarse a cabo de una manera más eficiente, era necesario seguir cierto orden. Esta comunicación ordenada debió ser gobernada por un conjunto de reglas que controlaran el intercambio de información, surgiendo así lo que posteriormente se llamaría protocolo de comunicación.

Al ir evolucionando el hombre, y con él su sistema de comunicación, se requirió cada vez más de relacionarse con otros grupos que obviamente tenían sus propios códigos y métodos para comunicarse, haciendo necesario definir ciertas normas que facilitarían el intercambio de información, estableciendo un sistema de comunicación que pudiera ser entendido por todos los grupos que adoptaran o que se ajustaran a uno, siendo esto lo que posteriormente se llamó estandarización.

Para que la transmisión de la información pueda lograrse se requieren de tres elementos básicos en un sistema de comunicación:

- Emisor.- posee la información a transmitir.
- Receptor.- es el destino de la información.
- Mensaje.- es la información que se desea transmitir.

No basta con estos elementos para lograr que dos entes puedan comunicarse, sino que debe existir además un mecanismo que les permita interpretar correctamente el mensaje y un medio que sea capaz de transportar el mensaje desde el emisor hasta el receptor. La evolución de la comunicación de datos entre computadoras se ha dado en forma muy similar a la de los seres humanos.

En el capítulo 1 se describen los elementos fundamentales que forman parte de las redes en general y los conceptos de transmisión.

En el capítulo 2 se describen los antecedentes históricos de la comunicación, así como su evolución a través de los años, también se habla de los organismos de normalización que existen para regular el establecimiento de las redes y la comunicación que exista entre ellas mencionando algunas de las normas establecidas por estos organismos.

En el capítulo 3 comienza con la introducción de lo que es (WPAN) "REDES DE ÁREA PERSONAL INALÁMBRICAS". Como surgen este tipo de redes, como se han desarrollado así como sus características y algunas de sus aplicaciones.

El capítulo 4 habla sobre (WLAN) "REDES DE ÁREA LOCAL INALÁMBRICAS" como surgen estas redes, como se han desarrollado así como sus características y algunas de sus aplicaciones.

El capítulo 5 nos refiere a la implantación de (WMAN) "REDES DE ÁREA METROPOLITANA INALÁMBRICAS" como surgen este tipo de redes, como se han desarrollado así como sus características y algunas de sus aplicaciones.

En el capítulo 6 se habla sobre (WWAN) "REDES DE ÁREA AMPLIA INALÁMBRICAS" como surgen estas redes, como se ha desarrollado así como sus características y algunas de sus aplicaciones.

Estos tipos de redes están siendo usadas cada día mas por operadores públicos para ofrecer servicios de calidad y de alta y baja velocidad, que buscan satisfacer las necesidades de interconexión de datos, así como también para la transmisión de voz, imágenes y vídeo.

El propósito de este trabajo es presentar, en términos generales, la aplicación de dichas redes inalámbricas en México con el objetivo de dar a conocer las nuevas tecnologías y aclarar su uso.

1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE REDES DE TELECOMUNICACIONES

1.1. Propiedades de las Señales Eléctricas.

1.1.1 Señales Eléctricas.

Las señales eléctricas consisten en corrientes generalmente de baja potencia que corresponden a información.

Al transmitir a otro lugar cierta información, primero esta deberá ser convertida a su correspondiente señal eléctrica, dicha señal puede ser transmitida al lugar remoto a través de algún medio adecuado, finalmente en su destino, la señal deberá ser convertida nuevamente a su forma original con el objeto de que su receptor sea capaz de interpretar el mensaje contenido en esta información. Existen dos tipos de señales eléctricas: analógicas y digitales mostradas en la figura 1.1.1

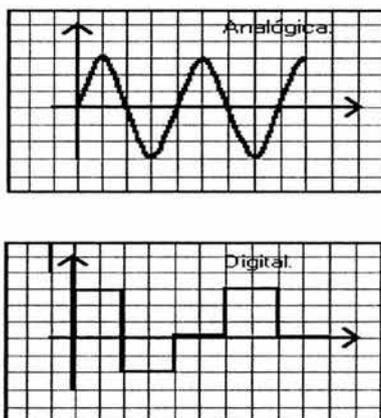


Fig. 1.1.1 Señal Analógica. y Señal Digital

1.1.1.1. Propiedades Físicas.

Las señales eléctricas representadas visualmente como una forma de onda compuesta por vibraciones, a cada una de estas vibraciones se le llama ciclo y al número de ciclos que tiene una señal por segundo se le conoce como frecuencia la cual es medida en Hertzios (Hz), un Hertzio es igual a un ciclo por segundo. La

amplitud (A) de la onda indica su intensidad y esta es totalmente independiente de la frecuencia.

A la distancia que hay entre el principio y el final de un ciclo se le conoce como longitud de onda (λ) y es medida en metros(m), la longitud de onda varía inversamente proporcional a la frecuencia, es decir, a mayor frecuencia mas corta la longitud de onda.

Cuando una corriente eléctrica es usada como señal, la frecuencia depende del medio, es decir, las señales pueden ser enviadas usando distintos medios.

Las señales digitales como las mostradas en la figura 1.1.2 pueden ser descritas como formas de onda cuadrada, pero son generalmente referidas como pulsos, estos pulsos son el resultado de distintos niveles de voltaje lo que predetermina la amplitud del pulso, de esta forma en las señales digitales solo puede haber un nivel alto y un nivel bajo lo que representa ausencia o presencia de señal, con lo que se pueden representar solo dos valores conocidos: Cero Lógico y Uno Lógico, aunque también se les conoce como encendido (on) y apagado (off) respectivamente, lo que explica porque la tecnología digital es descrita como binaria. En la figura 1.1.1 se muestra una señal digital.

Cada elemento de dato es una señal discreta llamado Bit, y la capacidad (o velocidad) de la señal se mide en bits por segundo (bps).

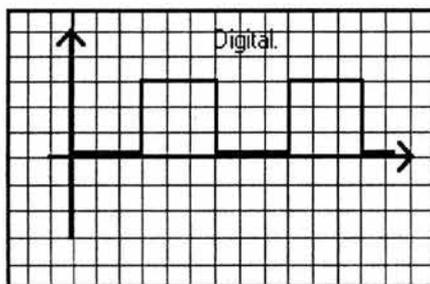


Fig. 1.1.1.1 Señal Digital

1.1.2. Transmisión Analógica y Transmisión Digital.

1.1.2.1. Transmisión Analógica.

En esta forma de transmisión como ya se ha explicado se convierte la voz en una señal eléctrica "Análoga" a la información original, las cuales son enviadas desde un extremo transmisor y recuperadas en un extremo receptor.

Aunque este proceso es fiel en el instante mismo de la conversión, al transmitirlo se va degenerando y perdiendo (atenuando) en el mismo medio, por tal motivo se busca la manera de llegar a una transmisión digital.

1.1.2.2. Transmisión Digital.

Se basa en convertir la señal original, ya sea en su forma eléctrica o en otra equivalente codificada con solo dos símbolos o dígitos (1 y 0). Mediante la cual se facilita el proceso de transmisión de la señal analógica.

1.1.2.3. Parámetros En Un Sistema De Transmisión.

En un sistema de transmisión se deben de tener en cuenta diferentes aspectos o parámetros para lograr una transmisión eficiente; Los principales parámetros son:

- Atenuación.
- Ancho de banda.
- Ruido.
- Interferencia.
- Modulación.

1.1.2.3.1. Atenuación.

Describe la reducción en la densidad de potencia con la distancia de la fuente. Conforme se aleja un frente de onda de la fuente, el campo electromagnético continuo, que es radiado desde esa fuente, se dispersa. Es decir, las ondas se alejan más unas de otras y, consecuentemente, el número de ondas por unidad de área disminuye.

Nada de la potencia radiada se pierde o se disipa, porque el frente de la onda se aleja de la fuente; la onda simplemente se dispersa sobre un área más grande, disminuyendo la densidad de potencia. La reducción en la densidad de potencia con la distancia es equivalente a la pérdida de potencia y comúnmente se llama atenuación de la onda. (pérdida en dB).

En sistemas digitales se utilizan dispositivos llamados regeneradores de señal para reconstruir estas. Un regenerador es capaz de detectar un voltaje positivo o negativo (un cero o un uno) sin importar que tan deteriorado este y reconstruye una señal completamente nueva, la cual es transmitida a través del medio, de esta forma el ruido no se ve amplificado, reduciendo con esto el problema del ruido.

1.1.2.3.2. Ancho De Banda.

El ancho de banda se refiere a la capacidad de transmisión y puede ser usada para describir un canal o un medio, por lo tanto el ancho de banda mide la cantidad de información que puede ser transmitida, su comportamiento es similar a un líquido fluyendo a través de un tubo, mientras más grande sea el tubo, mayor será el volumen de líquido que puede pasar, del mismo modo, a mayor ancho de banda, mayor velocidad de transmisión.

Cuando se transmiten señales analógicas, el ancho de banda se mide en Hertzios (Hz), mientras que si se trata de señales digitales, el ancho de banda se expresa en bps.

1.1.2.3.3. Ruido.

A toda señal ajena que interfiere con la señal que lleva información se le llama ruido, el ruido no solo es causado por interferencia de señales, sino también puede ser inducido por maquinaria, tormentas eléctricas e incluso humedad.

El ruido dificulta la correcta decodificación de la señal debido a que en señales analógicas el ruido cambia la forma de onda de la misma, mientras que en señales digitales el ruido distorsiona los pulsos de tal manera que la señal adquiere una forma de onda analógica.

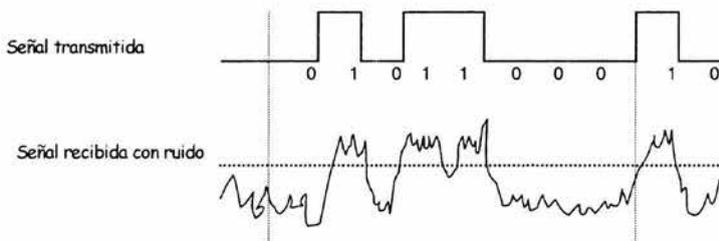


Fig.1.1.2.3.3. Comparación entre Señales con ruido.

1.1.2.3.4. Interferencia.

Es la contaminación por señales externas, generalmente artificiales, y se elimina mediante filtros. En el caso de un sistema de transmisión analógico es común tener interferencias en donde se cruzan las líneas (Crosstalk).

1.1.3. Modulación.

1.1.3.1. Modulación Digital A Analógica.

Para transmitir datos en distintos medios hay que convertirlos, la señal digital se debe cambiar a una forma analógica, existen varios métodos mediante los cuales una señal digital puede modular a una portadora analógica. El método más simple es la modulación por amplitud "Amplitude Modulation" (AM), es el proceso de cambiar la amplitud de una portadora de frecuencia relativamente alta de acuerdo con la amplitud de la señal modulante (información).

Las frecuencias que son lo suficientemente altas para radiarse de manera eficiente por una antena y propagarse por el espacio libre se llaman comúnmente radiofrecuencias o simplemente RF. Con la modulación de amplitud, la información se imprime sobre la portadora en la forma de cambios de amplitud. La modulación de amplitud es una forma de modulación relativamente barata y de baja calidad de modulación. Un modulador AM es un aparato no lineal con dos señales de entrada de información: una señal portadora de amplitud constante y de frecuencia sencilla, y la señal de información.

Mayores velocidades de transmisión pueden obtenerse si los datos afectan la frecuencia de la portadora en vez de la amplitud, a este método se le conoce como frecuencia modulada "Frequency Modulation" (FM).

En este método se tiene cierta frecuencia preestablecida en la señal modulada que representa un valor de uno binario y cuando se tiene otra frecuencia también preestablecida en la portadora se estará representando un valor de cero binario lo que hace la decodificación más rápida.

Además como el ruido causa menos efecto sobre la frecuencia, este tipo de modulación es más robusto contra la interferencia.

Otra forma de modular una señal analógica recibe el nombre de modulación por fase "Phase Modulation" (PM) la cual puede tener distintas variantes. Este método de modulación considera a cada ciclo de la forma de onda como una unidad completa que puede ser dividida en fases, así desde el principio de un ciclo hasta el principio del siguiente ciclo se dice que hay un corrimiento de 360° .

Modulación de amplitud en cuadratura "Quadrature Amplitude Modulation" (QAM), es una forma de modulación digital donde la información digital esta contenida, tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.

Modulación Analógica a digital.

Una señal analógica puede modular una portadora digital de diferentes maneras, la técnica mas usada es llamada modulación por codificación de pulsos "Pulse Code Modulation" (PCM) la cual consta de tres etapas:

- Muestreo.
- Cuantificación.
- Codificación.

Una señal analógica consiste de una forma de onda con amplitud variable, la señal se muestrea en intervalos regulares para establecer la amplitud en cada punto. En la etapa de cuantificación, a cada muestra se le asigna un valor numérico de acuerdo al entero más cercano, para representar su intensidad instantánea.

Dichos valores se convierten a una forma digital, hay usualmente 256 valores que corresponden a 256 amplitudes diferentes, se requieren de ocho bits para representar 256 valores, por lo que la cuantificación de cada nivel se representa digitalmente usando ocho bits por muestra, lo que da como resultado que la señal analógica sea representada como una serie de pulsos agrupados, cada uno de los cuales representa la muestra de la amplitud de la señal en cada momento.

Hay otros métodos para convertir una señal analógica a digital, como lo es la modulación por amplitud de pulso "Pulse Amplitude Modulation" (PAM), la amplitud de la portadora digital es modulada de acuerdo con la amplitud de la señal de información. Otra técnica de modulación es la de modulación por posición de pulso "Pulse Position Modulation" (PPM), en la cual el momento de disparo del pulso es incrementado o disminuido de acuerdo con la amplitud de la señal de información. Finalmente, en la modulación de ancho de pulso "Pulse Width Modulation" (PWM), es el ancho de cada pulso lo que se modifica respecto a la señal de información.

1.1.4. Codificación.

1.1.4.1. Codificación Digital.

Cuando la tecnología digital es utilizada para transmitir información, los datos son representados por ceros y unos, es necesario tomar una decisión respecto a como han de representarse estos valores binarios exactamente, en otras palabras, un uno binario debe representarse por un voltaje positivo, y un cero

binario debe ser representado por un voltaje negativo. Tales decisiones se refieren a como la señal digital es codificada.

1.1.4.2. Técnicas De Codificación Digital.

Los sistemas electrónicos digitales utilizan un voltaje de cero volts como un nivel básico de referencia para la señal digital, el potencial eléctrico de la tierra es considerado como voltaje cero. Si un sistema no se encuentra debidamente aterrizado, el voltaje de referencia cero puede ser fijado a cualquier nivel interno.

La codificación unipolar utiliza un voltaje positivo o negativo pero no ambos, así por ejemplo un voltaje positivo puede representar un cero binario y un voltaje cero puede representar un uno binario, este esquema unipolar tiene ciertas propiedades de auto-sincronización "self-clocking", pero estas no son adecuadas para la transferencia masiva de información.

La codificación polar emplea tanto un voltaje positivo como uno negativo, debido a que un voltaje de cero volts no es utilizado para representar datos, este esquema es menos susceptible a la interferencia que el unipolar en donde es relativamente fácil que la interferencia pueda aumentar un voltaje cero a un nivel tal que pueda ser interpretado como un cero lógico y viceversa, el esquema polar requiere de un reloj separado para sincronizar la transmisión.

La codificación bipolar varía la señal entre tres niveles. Inversión de marca alternada "Alternate Mark Inversion" (AMI) es un ejemplo popular de codificación bipolar. AMI usa un voltaje cero para representar un cero lógico y alterna la representación de un uno lógico entre los voltajes positivos y negativo, AMI también posee ciertas propiedades de reloj "self-clocking" pero tampoco son adecuadas para la comunicación digital.

Los esquemas de codificación Manchester son variantes de la codificación bipolar, en estos se representa un uno lógico con un voltaje positivo, este esquema codifica los datos en el comienzo del ciclo de cada bit "bit cycle" y utiliza la transición intermedia del bit "mid-bit" para temporización.

La codificación retorno a cero "return to zero" (RZ) es una técnica de codificación digital en donde se regresa a un voltaje cero a la mitad de cada elemento de señal, el dato se encuentra contenido al principio del ciclo, y dado que una señal de reloj puede ser identificada como parte de la señal de datos, esto es la mitad del cambio de estado, este método de codificación si se autotemporiza "self-clocking".

No retorno a cero "non-return-to-zero" (NRZ) es otra técnica de codificación digital que alterna la representación de un uno lógico entre los voltajes positivo y negativo, NRZ requiere de un reloj externo dado que no-se autotemporiza.

En la codificación bifase, el cual requiere de un cambio de estado en el punto central de cada secuencia de temporización, esta técnica sí se autotemporiza.

FORMATO DE DATOS			
Formato	Valor Para 0	Valor Para 1	Palabra de 8 bits
			0 1 0 1 0 0 1 1
Unipolar NRZ	0 (para tiempo T)	+A (para tiempo T)	
Unipolar RZ	Cero	+A para T/2 y 0 para T/2	
Unipolar bifase (Manchester)	0 para T/2 y A para T/2	+A para T/2 y 0 para T/2	
Bipolar NRZ	-A	+A	
Bipolar RZ	-A para T/2 y 0 para T/2	+A para T/2 y 0 para T/2	
Ternary (AMI)	Cero	+A y -A alternados para T/2	

Fig.1.1.4. Representación de los tipos de codificación.

1.1.5. Multiplexación.

El proceso encargado de separar las señales es llamado multiplexación y el dispositivo que se encarga de esta tarea se llama multiplexor (MUX), mismo que es requerido tanto en el extremo transmisor como en el receptor, las técnicas mas comunes de Multiplexación son:

- Multiplexación por división de frecuencia (FDM).
- Multiplexación por división de tiempo (TDM).

Cuando una red de comunicaciones se basa en tecnología analógica, se emplea multiplexación por división de frecuencia. El contenido de cada canal se

modula separadamente de tal manera que se ajusten a una banda de frecuencias particular.

Una red digital requiere de multiplexación por división de tiempo, aquí el ancho de banda del medio es dividido en anchos de banda menores como en el caso de FDM.

El problema de desperdiciar ancho de banda, puede ser resuelto con otra forma de TDM llamada multiplexación estática por división de tiempo "Static Time Division Multiplexing" (STDM). En este caso el multiplexor es más inteligente, este reserva tanto ancho de banda como intervalos de tiempo a los canales que están activos en un momento determinado, es decir, no hay intervalos de tiempo asignados permanentemente a cada canal. Una señal es llevada y multiplexada en una red de área local LAN, para lo que existen tipos de sistemas de señalización:

- Ultra Banda ancha.
- Banda amplia "broadband".
- Banda base "baseband".

Un sistema de banda amplia divide el medio en múltiples canales a los cuales se les asigna un propósito específico, este tipo de señalización soporta transmisiones de distancias de decenas de kilómetros.

Por otro lado un sistema de banda base soporta una transmisión simple y es apropiada para ráfagas cortas de tráfico. En este caso el ancho de banda entero es requerido para transmitir esta única señal digital, por lo que se dispone solo de un canal.

1.1.6. Transmisión Síncrona Y Asíncrona.

La información digital se compone de bits que han sido agrupados de cierta manera, dado que en la transmisión paralela los bits son enviados simultáneamente en forma de palabras, este agrupamiento se da por la propia naturaleza de este tipo de transmisión, solo se requiere adicionar un hilo mas que sincronice los relojes de ambos extremos.

Por otro lado, la transmisión serial involucra una ráfaga de bits transmitidos uno detrás del otro y la manera en que estos son agrupados es una característica adicional que puede tomar dos formas básicas: síncrona y asíncronas, que como sus nombres lo indican, el principal diferenciador es el mecanismo de sincronización de relojes "clocking" empleado.

"Clocking" se refiere a un proceso sofisticado que sincroniza la velocidad del muestreo del extremo transmisor con el receptor, la señal de reloj puede ser

incorporada a la señal de datos o puede ser una señal de sincronización separada.

Transmisión asíncrona.- es usada para transmitir información en forma de carácter, en esta no es necesario sincronizar los relojes del transmisor y del receptor, en vez de esto, los bits se agrupan de tal forma que al comienzo de cada carácter se coloca un bit de arranque y se termina con un bit de paro, de esta manera, la temporización entre el transmisor y el receptor se restablece cada que se detecta un bit de arranque.

Transmisión síncrona.- surge como resultado a la búsqueda de mayor velocidad en la transmisión, tratando de producir dispositivos que envíen el máximo posible de bits por unidad de tiempo utilizando un mismo canal de comunicación.

Con este sistema, la base de tiempo que genera el terminal emisor para transmitir los datos es recogida por el terminal receptor a partir de los propios cambios de estado de los datos recibidos.

1.1.7. Chequeo de Errores.

Las técnicas de chequeo de errores son esenciales para proteger la información contra corrupción por ruido. Los cuatro métodos existentes son:

- Eco "Echoplexing "
- Chequeo de paridad.
- Paridad de bloque "Checksum"
- Chequeo de redundancia cíclica "Cyclical Redundancy Check" (CRC).

1.1.8. Equipo De Comunicación De Datos.

1.1.8.1. Equipos terminales de datos y unidades de servicio de datos (DTE's y DCE's)

Para lograr establecer una comunicación se requieren cuatro elementos básicos:

- Un emisor o transmisor
- Un receptor
- Un mensaje
- Un medio de comunicación

En términos de comunicación de datos, los transmisores y receptores son referidos como equipos terminales de datos "Data Terminal Equipment" (DTE). Otro tipo de dispositivos de red en la comunicación de datos, son los equipos intermedios entre los DTE's y son conocidos como equipos de comunicación de datos "Data Communications Equipment" (DCE). Los módems y las unidades de servicio de datos "Data Service Unit" (DSU) son ejemplos usuales de DCE's.

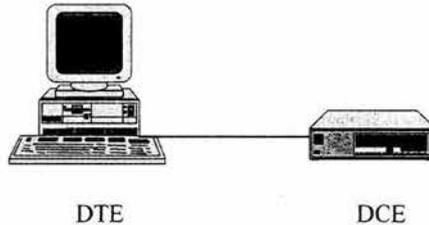


Fig. 1.1.8.1. Equipos DTE y DCE.

1.1.8.2. Módems, Codecs Y DSU's.

Si se requieren transmitir señales digitales sobre líneas analógicas, se requiere un dispositivo de red llamado módem, cuya función es la de modular y demodular portadoras analógicas con señales de información digital.

En forma similar, si lo que se quiere es enviar señales analógicas sobre una red digital, necesitamos codificar la señal analógica en un formato digital y decodificarla en el lado del receptor. El dispositivo encargado de estas funciones es el codec, el cual toma su nombre de las palabras codificador/decodificador "coder/decoder". Los módems y los codecs son DCE's, en otras palabras, ellos se encuentran situados entre el equipo terminal y el enlace de comunicaciones de datos.



Fig. 1.1.8.2. Módem.

Los módems pueden diferir en velocidad, método de transmisión, y tipo de línea usada. Como el trabajo de un módem consiste en hacer posible el envío de

señales digitales sobre redes analógicas, estos solo son requeridos cuando la red es de este tipo.

Cuando se emplea una red digital, o cuando la red telefónica ofrece servicios digitales, los módems son reemplazados por manejadores de línea digital, en las redes de alta velocidad, estos manejadores digitales se conoce como unidades de servicio de datos/unidades de servicio de canal "Data Service Unit/Channel Service Unit" (DSU/CSU).

1.1.9. Modos De Transmision.

Los sistemas de comunicaciones electrónicas pueden diseñarse para manejar la transmisión solamente en una dirección, en ambas direcciones pero solo uno a la vez, o en ambas direcciones al mismo tiempo. Esto se llama modos de transmisión.

1.1.9.1. Simplex (SX).

Con la operación simplex, las transmisiones pueden ocurrir solo en una dirección. Los sistemas simplex son, algunas veces, llamados sistemas de un sentido, solo para recibir o solo para transmitir. Una ubicación puede ser un transmisor o un receptor, pero no ambos.

1.1.9.2. Half-Duplex (HDX).

Con una operación half-duplex, las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo. A los sistemas half-duplex, algunas veces se les llama sistemas con alternativa de dos sentidos, cualquier sentido, o cambio y fuera. Una ubicación puede ser un transmisor y un receptor, pero no los dos al mismo tiempo.

1.1.9.3. Full-Duplex (FDX).

Con una operación full-duplex, las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo. A los sistemas de full-duplex algunas veces se les llama líneas simultáneas de doble sentido, duplex o de ambos sentidos. Una ubicación puede transmitir y recibir simultáneamente; sin embargo, la

estación a la que está transmitiendo también debe ser la estación de la cual está recibiendo.

1.1.9.4. Full/ full- Duplex (F/FDX).

Con una operación full/full-duplex, es posible transmitir y recibir simultáneamente, pero no necesariamente entre las mismas dos ubicaciones (es decir, una estación puede transmitir a una segunda estación y recibir de una tercera estación al mismo tiempo).

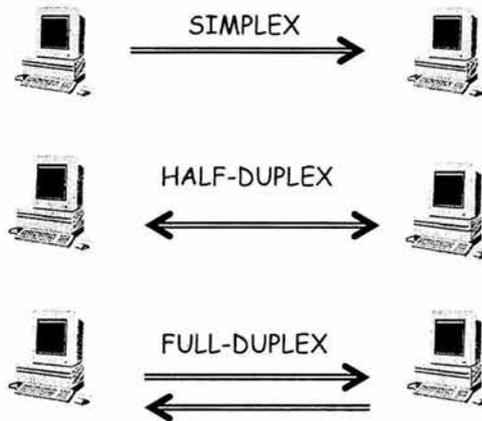


Figura 1.1.9.4. Modos de transmisión

1.1.10. Medios De Transmision.

1.1.10.1. Medios Magneticos.

Una de las formas más comunes de transportar datos es escribirlos en cinta magnética o disquetes, transportar físicamente la cinta o los discos a la maquina de destino y leerlos de nuevo. con frecuencia tiene mucha mayor eficacia de costo, en especial con aplicaciones en las que el ancho de banda o costo por bit transportado es un factor clave.

1.1.10.2. Par Trenzado.

Fue el primer medio usado en las redes, sorprendentemente bueno para transmisiones analógicas ya que presenta poca pérdida, baja distorsión permite enlaces de hasta 70 Km. sin la necesidad de amplificadores.

1.1.10.3. Cable Coaxial.

Este es otro medio de transmisión comúnmente utilizado, existen dos clases de cable coaxial. El cable de 50 ohms, se usa comúnmente para transmisión digital y el cable coaxial de 75 ohms, se usa para la transmisión analógica. Un cable coaxial consiste en un alambre de cobre rígido como núcleo, rodeado por un material aislante.

El aislante esta forrado con un conductor cilíndrico, que con frecuencia es una malla de tejido fuertemente trenzado. El conductor externo se cubre con una envoltura protectora de plástico. La construcción del cable coaxial le da una buena combinación de un gran ancho de banda con una excelente inmunidad al ruido eléctrico. El ancho de banda del cable coaxial depende de la longitud de éste.

1.1.10.4. Fibra Óptica.

Ante la creciente demanda y la necesidad de hacer más eficiente la comunicación. Los resultados obtenidos en un principio no fueron alentadores, pese a ello, la esperanza de logro de comunicación casi perfecta no fue abandonada. En la actualidad existen fibras ópticas de 0.15 dB/Km. a una longitud de onda de 1500 nm. y de menos en experimentación. El desarrollo de fibras ópticas ultradelgadas y de bajas pérdidas, capaces de transmitir ondas de luz a grandes distancias, constituyen uno de los avances más importantes de los últimos tiempos.

Un sistema de transmisión óptico tiene tres componentes: la fuente de luz, el medio transmisor y el detector. Convencionalmente, un pulso de luz indica un bit 1 y la ausencia de luz indica un bit 0. El medio de transmisión es una fibra de vidrio ultradelgada. El detector genera un pulso eléctrico cuando la luz incide en él.

1.1.11. Transmisión Vía Satélite.

Las potentes microondas pueden ser usadas para transmitir datos a largas distancias, sin embargo tienen la desventaja de ser un método de transmisión de línea de vista, lo que significa que solamente se pueden transmitir de disco a

disco, mismos que deben estar en posición paralela y perfectamente alineados frente a frente.

Los satélites son bien conocidos en el campo de transmisión en un solo sentido (simplex) por la transmisión de programas de televisión, pero desde luego que también se utilizan en transmisión de ambos sentidos (semiduplex o dúplex) para comunicaciones de datos.

Los satélites son la mejor opción para hacer enlaces entre estaciones dispersas en una gran área que deban comunicarse con una estación central. Las terminales usadas para transmitir y recibir señales vía satélite son llamadas terminales de muy pequeña apertura "Very Small Aperture Terminals" (VSAT's), estas utilizan frecuencias separadas para transmisión y recepción, esto quiere decir que una VSAT envía datos hacia el satélite en la frecuencia 1, en el satélite la recibe obviamente en esta misma frecuencia 1 y la retransmite a la VSAT receptora en tierra en la frecuencia 2, previniendo así la interferencia entre las señales enviadas y recibidas.

1.1.12. Conmutación.

En las redes de datos, el hacer que la información llegue a su destino correcto se puede llevar a cabo de dos maneras:

"Orientado a conexión" que es establecer previamente una trayectoria antes de pasar información.

"Orientado a no-conexión" no se establece una trayectoria previa antes de pasar información, es decir, la información va siendo enrutada conforme va transitando a través de la red.

1.1.12.1. Conmutación de Circuitos.

Siempre deberá existir una conexión (circuito) entre el origen y el destino, antes del inicio de la transferencia de información. El circuito permanece establecido por el tiempo que dura dicha transferencia de información. El retardo de tránsito en la red es constante. Tiene como característica principal que es inflexible a cambios de velocidad, tiene un retardo constante y una sola comunicación.

1.1.12.2. Conmutación De Circuitos Rápidos.

La conmutación de circuitos rápidos (FCS), es una técnica que busca extender las ventajas de la conmutación de circuitos, basándose en la naturaleza

fluctuante y en ráfagas del tráfico de voz y de datos. Los recursos de la red FCS son puestos cuando la información es enviada y retirada cuando no hay información que enviar.

1.1.12.3. Conmutación De Mensajes.

En la conmutación de mensajes, no es necesario establecer una trayectoria antes de transferir datos, cada mensaje lleva suficiente información para llegar a su destino. El tamaño del mensaje no está limitado. Los beneficios de utilizar esta técnica consisten en que se incrementa la eficiencia del canal, se reduce la congestión al almacenar temporalmente los mensajes, además de que un mensaje puede ser enviado a varios destinos.

1.1.12.4. Conmutación de Paquetes.

La conmutación de paquetes se deriva de la conmutación de mensajes, con la diferencia de que el tamaño de los mensajes (paquetes) es limitado a un tamaño máximo. Los beneficios de utilizar esta técnica son principalmente que no se requiere gran cantidad de memoria de almacenamiento en los nodos de conmutación, enrutamiento de paquetes en caso de congestión del canal y se maximiza la eficiencia del canal de transmisión. Las limitaciones de esta técnica consisten en que protocolos para conmutación de paquetes son relativamente más complejos y por lo tanto existe una mayor posibilidad de que los paquetes se pierdan. Existen dos métodos de conmutación de paquetes: Datagramas y Circuitos Virtuales.

1.1.12. 4.1. Conmutación de Paquetes Modo Datagrama.

En la conmutación de paquetes modo Datagrama, cada paquete es procesado y transmitido independientemente. Los paquetes dirigidos desde un mismo origen a un mismo destino pueden llegar en un orden diferente al que fueron enviados.

1.1.12. 4. 2. Conmutación de Paquetes Circuito Virtual.

En la conmutación de paquetes "Circuito Virtual", a diferencia de los datagramas, es necesario establecer una trayectoria entre origen y destino

(circuito Virtual) mediante el envío de un paquete de establecimiento de conexión, antes de enviar paquetes de información.

1.1.12.4.3. Conmutación de paquetes Rápidos (Fast Packed Switching).

La conmutación de paquetes rápidos, es el nombre que se le ha dado a la tecnología digital de alta capacidad orientada a paquetes que proporciona las funciones de conmutación, multicanalización y transmisión.

1.1.12. 5. Conmutación de Tramas.

La conmutación de tramas es una técnica que se deriva del concepto de conmutación de paquetes de datos en donde se simplifica el protocolo de enlace (capa 2), reduciéndose las funciones de control de errores extremo a extremo en forma mínima, con lo que a su vez también se simplifican los nodos de conmutación, permitiendo mayores velocidades.

1.1.12.6. Conmutación de Células.

La conmutación de células o Cell Relay es la tecnología de conmutación de paquetes, capaz de mezclar servicios de "Velocidad Variable" (VBR), como transferencia de archivos, con servicios de velocidad constante, (CBR) como audio y video. A diferencia de las redes de área local, Cell Relay no asume un medio compartido, en lugar de ello, existen enlaces directos entre emisores y receptores.

Esta técnica se basa en utilizar paquetes de tamaño fijo denominados células, lo que permite a los "conmutadores de células" procesar mas paquetes por unidad de tiempo, además de obtenerse aplicaciones de la técnica Cell Relay son las redes metropolitanas (MAN) con DQDB y las redes de banda ancha.

1.2. Transmisión De Datos.

1.2.1. Alternativas Para La Transmisión De Datos.

Las redes surgen para hacer posible compartir de forma eficiente los recursos informáticos de los usuarios. Existen cinco formas de transmisión de datos:

Circuito Conmutado (Dial-up).

Por medio de este circuito se logra la manera más sencilla y barata para transmitir datos; Sin embargo es la mas lenta y susceptible a errores. El circuito conmutado, también conocido como Dial-up es en si la línea telefónica normal a la cual se la conecta un módem, mismo que puede estar o no integrado en la computadora.

Líneas Privadas E-1's.

Conocidas como LP's en su modalidad analógica, o E-0's y E-1's en su modalidad digital, constituye un enlace privado punto a punto. Esta técnica es ideal para cuando el volumen de datos a transmitir es muy grande, y siempre al mismo sitio. Su costo es relativamente alto, pero se justifica cuando el tráfico es muy alto.

Red Públicas de Datos (Conmutación de Paquetes).

Se llaman redes publicas de datos o de conmutación de paquetes, ya que una computadora se puede conectar a cualquier otra computadora que este conectada a la red. Se llama de conmutación de paquetes porque los datos a transmitir se empaquetan agregando a la información una etiqueta donde se escribe la fuente y el destino de dicho paquete. Dependiendo de la velocidad a transmitir, estas redes se conocen como X.25 (Velocidades inferiores a 64Kbps) y Frame Relay (64Kbps-2Mbps).

LAN's (Redes de Area Local)

Son redes privadas construidas por el cliente mismo, y generalmente son usadas para acceder a las redes públicas. Pueden ser poco o muy extendidas geográficamente y su costo de operación es alto.

ATM (Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha). En ella es posible mezclar datos, voz, imagen o vídeo. Aunque las redes comparten el mismo propósito y concepto general y esencialmente dan como resultado los mismos beneficios existen pequeñas diferencias entre una red y otra, para comprender estas diferencias las redes se han clasificado según su área de cobertura.

1.2.2. Clasificación de las Redes.

Las redes de computadoras se clasifican de varias maneras, entre las principales se encuentran, por su manera de intercambiar datos, las redes conmutadas y las redes no conmutadas, a su vez según su topología, por la distancia entre nodos se clasifican en: redes de área amplia (WAN), redes de área metropolitana (MAN), redes de área personal (PAN) y redes de área local (LAN).

1.2.2.1. Redes Conmutadas.

Las redes conmutadas son aquellas en donde los caminos de la información cambian con el tiempo. En una red no conmutada los cambios de la información se mantienen constantes. Siempre que se vayan a transmitir datos dentro de una red con muchas ubicaciones de terminales deberá emplearse un arreglo que permita que las distancias terminales se comuniquen entre sí.

1.2.2.2. Redes Sin Conmutar.

Las redes sin conmutar son aquellas redes no orientadas a la conexión (también llamadas datagramas) pasan directamente del estado libre al modo de transferencia de datos, finalizando dicho estado vuelven al estado libre.

1.2.2.3. Redes de Area Local (LAN).

Es un sistema de comunicación de datos que permite la intercomunicación de un cierto número de dispositivos independientes que se encuentra situados dentro de una proximidad geográfica moderada, no exceden a 3 kilómetros. Estas redes son diseñadas para operar sistemas de datos de bajo costo y velocidades que van de 4 Mbps a 2 Gbps.

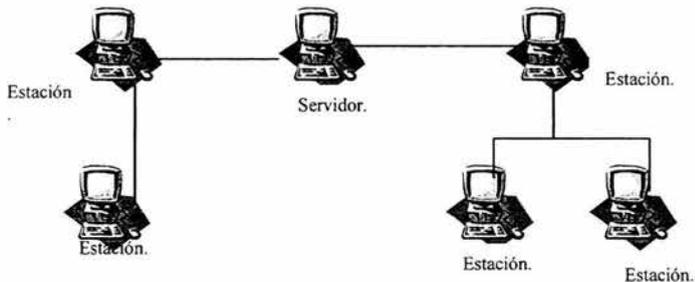


Fig.1.2.2.3. Redes LAN

1.2.2.4. Redes de Area Metropolitana (MAN).

Las redes de área metropolitana toman su nombre también de su cobertura geográfica, estas redes cubren distancias de 1 - 100 Km y en la mayoría de los casos se forman de enlaces entre varias redes de área local.

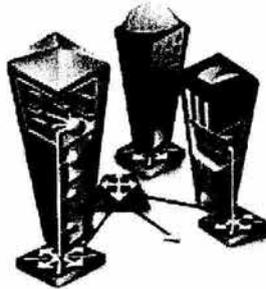


Fig.1.2.2.4. Red MAN

1.2.2.5. Redes de Area Amplia (WAN).

Son redes de comunicación de datos que abarcan cientos o miles de kilómetros y pueden utilizar enlaces de alta velocidad, el objetivo de estas redes es el mismo que en las redes de área local, compartir recursos e información entre los usuarios de esta red. Generalmente estas redes se inician como redes de área local y conforme va creciendo la empresa o la necesidad de enlaces con otras empresas o dependencias se forman este tipo de redes.



Fig. 1.2.2.5. Redes WAN.

1.2.3. Conectividad.

Una Red es un conjunto de dispositivos (llamados nodos) conectados entre sí, que permiten a los usuarios tener intercomunicación de datos y compartir recursos.

Cualquier punto de la red en la cual los datos son conmutados o enrutados se denomina nodo de comunicación de la red. Existen también nodos de comunicación, como son los módems o las tarjetas de red que se instalan en las computadoras, en donde se realizan los procesos que hacen posible la transmisión de información por un medio determinado, capaces de transmitir datos por la Red Telefónica Pública Conmutada.

Se deben de tomar en cuenta ciertas consideraciones para que el sistema de red que sea elegido sea el correcto o él más conveniente para las necesidades del usuario.

a) Topología de red.

La topología de la red se refiere a como la red es establecida y cableada. La elección de la topología afectara la facilidad de la instalación, el costo de cable y la confiabilidad de la red.

- Estrella.
- Anillo.
- Bus.
- Malla.

B) Técnica de transmisión.

Banda Base: se emplea el cable completo para propagar una sola señal digital: se pueden emplear técnicas de Multiplexaje (TDM).

Banda Ancha: El ancho de banda se divide en canales individuales; la información se transmite sobre el cable en forma de señales de Radiofrecuencia.

C) Protocolo de acceso.

Forma en que las estaciones individuales accesan el medio de transmisión:

CSMA/CD: Multiacceso a portadora con detección de colisión

CSMA/CA: Multiacceso a portadora sin colisiones

Token passing: Sistema de acceso en vía única

1.2.4.1. Topologías De Red.

1.2.4.1.1. Configuración en Estrella.

La topología en estrella es una de las más antiguas; en ella, todas las estaciones están conectadas a un ordenador central.

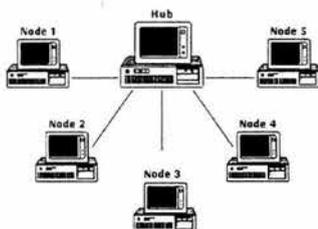


Fig. 1.2.4.1.1. Configuración en Estrella.

1.2.4.1.2. Configuración en Anillo.

En ella, todas las estaciones están conectadas entre sí formando un anillo, de modo que cada estación tiene conexión directa con otras dos. Los datos viajan por el anillo de estación en estación en una dirección, de manera que todas las informaciones pasan por todas las estaciones hasta llegar a la estación destino, donde se queda. Cada estación se queda con la información que va dirigida a ella y retransmite al nodo siguiente las que tienen otra dirección. Un ejemplo de esta configuración se muestra en la Figura 1.2.4.1.2..

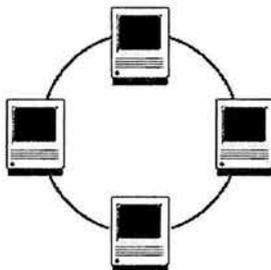


Fig. 1.2.4.1.2. Configuración en Anillo.

1.2.4.1.3. Configuración en Bus.

En ella, todas las estaciones están conectadas a un único canal de comunicación, toda la información circula por ese canal y cada estación se queda solamente con la información que va dirigida a ella. Estas redes son sencillas de instalar y tienen una gran flexibilidad a la hora de aumentar o disminuir el número de estaciones.

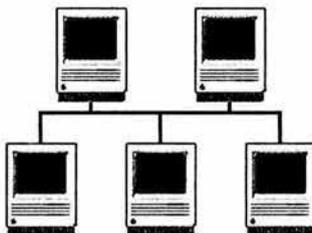


Fig. 1.2.4.1.3. Configuración en bus.

1.2.4.1.4. Configuración en Malla.

Este tipo de redes no tiene una configuración definida, los dispositivos se conectan entre sí utilizando enlaces punto a punto en una forma arbitraria que puede variar demasiado de una implementación a otra. El número idóneo de conexiones para enlazar los dispositivos que requieren comunicarse se determina tomando en cuenta el costo medio de transmisión. Se puede decir que es una derivación de las redes en estrella pero sin tener algún orden tan claro como estas.

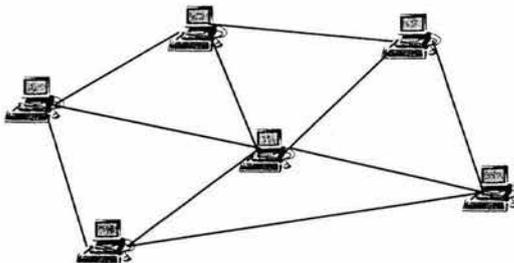


Fig. 1.2.4.1.4. Configuración en Malla.

1.2.5. Interconectividad.

Existen varias arquitecturas de red aunque son compatibles en cierta forma con el modelo OSI, no especifican el mismo tipo de capas y los protocolos que utilizan son diferentes. Para poder interconectar esas redes y hacerlas interoperables se han desarrollado diferentes tipos de dispositivos que cumplen funciones específicas y cuya complejidad dependerá fundamentalmente de que tan parecidas sean las redes por conectar en términos de estructura de tramas, paquetes, mensajes y de protocolos.

Los dispositivos que interconectan redes son conocidos genéricamente como repetidores o retransmisores y operan en diferentes niveles de OSI. Los principales tipos son los repetidores, los puentes, los enrutadores, las compuertas y los concentradores.

1.2.5.1. Repetidores.

Los repetidores son dispositivos diseñados con el fin de extender la longitud de la red, sincronizado y amplificando la señal antes de retransmitirla, los repetidores son muy usados ya que tienen un retardo mínimo en la retransmisión de señal y son fáciles de instalar, van conectados al nivel de la capa física, algunos repetidores filtran el ruido.

1.2.5.2. Puentes.

Los puentes (Bridges) normalmente conectan dos o más redes de área local iguales o distintas y estas pueden encontrarse en un ambiente local o pueden encontrarse separadas y enlazadas en un ambiente WAN. Con los puentes también se puede dividir una red grande en dos pequeñas, aumentando así su rendimiento. Los puentes operan al nivel de la capa de enlace en la subcapa de control de acceso al medio (MAC).

1.2.5.3. Enrutadores.

Con los enrutadores se entra en el mundo de las redes de gran alcance y las conexiones remotas, los enrutadores se usan principalmente en las grandes

redes, con mas de 20 redes locales interconectadas. Estas conexiones pueden ser lentas y caras, por lo que seria conveniente efectuar un filtrado que evite el paso del trafico innecesario por las conexiones.

Sus principales funciones son las de mantener tablas de ruteo para cada protocolo soportado y solo guardar en su memoria tablas de ruteo actualizadas, identificar tramas que necesiten ser enrutadas, determinar él mejor camino para que el paquete de información llegue más rápido a su destino y enviar la trama al siguiente enrutador usando un apropiado protocolo de enlace.

1.3. Normalización y Estandarización.

1.3.1. Normalización.

Unificación de las medidas y calidad de los productos industriales o manufacturados para simplificar la fabricación y reducir el costo de los mismos. Mientras que la normalización puede definirse como el establecimiento de un acuerdo internacional, nacional o industrial con respecto a la especificación, producción, prueba y uso de los componentes eléctricos, electrónicos, de software y de equipo en general.

1.3.2. Estandarización.

No solo facilitan la tarea de interconectar diferente equipo, sino que también le dan al usuario mayor flexibilidad en la selección de software y hardware. Esta estandarización ha sido posible gracias al trabajo desarrollado por diferentes organismos en el ámbito internacional.

1.3.3. Estándares IEEE 802.

ISO no especifica estándares en las capas inferiores en gran detalle, en lugar de ello, aprueba los estándares existentes. Un conjunto importante de este tipo de estándares es la serie 802 de la IEEE, los cuales son ampliamente usados en redes.

Las dos capas inferiores del modelo OSI son la capa de enlace de datos y la capa física. Sin embargo, en términos de 802 la capa de enlace de datos se

subdivide en las subcapas de control lógico de enlace "Logical Link Control" (LLC) y la subcapa de control de acceso al medio "Media Access Control" (MAC).

El protocolo LLC esta definido por el estándar 802.2 y constituye la subcapa superior de la capa de enlace de datos. Los otros estándares de la serie 802 son:

- 802.3 Ethernet (CSMA/CD).
- 802.4 Token Bus.
- 802.5 Token Ring.
- 802.6 MAN's.
- 802.8 LAN's de fibra óptica.
- 802.9 LAN's de datos y voz integrados.
- 802.10 Seguridad de LAN.
- 802.11 WI-FI. Alta fidelidad
- 802.15 Bluetooth
- 802.16 WI-MAX metropolitana

1.3.4. Modelo osi.

El modelo OSI, trata de establecer las bases para la definición de protocolos de comunicación entre sistemas informáticos. Propone dividir en capas todas las tareas que se llevan a cabo en una comunicación entre ordenadores.

Todas las capas estarían bien definidas y no interferirían con las demás. De ese modo, si fuera necesario una corrección o modificación en una capa no afectaría al resto. En total se formarían siete capas en donde las cuatro primeras tendrían funciones de comunicación y las tres restantes de proceso. Cada una de las siete capas dispondrían de los protocolos específicos para el control de dicha capa.

1.3.4.1. Capa Física.

El nivel físico define las características físicas del sistema de cableado. Abarca todos los métodos de la red disponibles. Es el responsable del transporte de bits. Dependiendo del tipo de enlace físico los bits se representan de una manera en al que puedan ser transportados a través del medio.

Define voltajes, tiempo de duración de los pulsos, el numero de pines que tiene el conector de la interfaz y sus funciones, la forma de establecer la conexión inicial y de interrumpirla.

1.3.4.2. Capa De Enlace De Datos.

Utilizando un medio de transmisión común y corriente, su función es asegurar que la información sea transmitida sin errores entre nodos adyacentes de la red. Esta capa maneja tramas de datos como unidad de transmisión de datos. Como la capa física básicamente acepta y transmite un flujo de bits sin tener en cuenta el significado o estructura, recae sobre la capa de enlace de datos la creación o reconocimiento de los límites de la trama. Resuelve los problemas de daño, pérdida o duplicidad de tramas y participa en la regulación del flujo.

1.3.4.3. Capa De Red.

Es el encargado de que los datos sean enviados a su correcto destino, determinando la ruta de transmisión. La unidad de medida en esta capa es el paquete de datos. También participa en el control de la congestión de la red. deberá saber cuantos paquetes o bits fueron enviados con el objeto de producir información contable.

1.3.4.4. Capa De Transporte.

Su función principal consiste en aceptar los datos de la capa de sesión dividirlos en unidades más pequeñas, pasarlos a la capa de red y asegurar que todos ellos lleguen correctamente a su destino. A partir de la capa de red, las cuatro capas restantes manejan mensajes como unidades de transmisión de datos. Esta capa se utiliza para detectar fallas en la red y para tomar las acciones correspondientes. Es capaz de solicitar el establecimiento de un nuevo enlace, en el caso de que falle un enlace en la red.

1.3.4.5. Capa De Sesión.

Esta capa coordina el intercambio de información entre equipos. Se llama así por las sesiones de comunicación que establece y concluye. La coordinación es requerida cuando un equipo es más lento que otro o si la transferencia de paquetes no está ordenada. La capa de sesión añade al paquete, información sobre el protocolo de comunicación que se debe usar, y mantiene la sesión hasta que finaliza la transferencia de información.

1.3.4.6. Capa De Presentación.

En esta capa, los protocolos son parte del sistema operativo y de la aplicación que el usuario acciona en la red. La información es formateada para aparecer en pantalla o impresa. Los códigos incluidos en la información son interpretados como etiquetas o secuencia de gráficas especiales. Esta capa también maneja el cifrado de los datos y la manipulación de otros conjuntos de caracteres.

1.3.4.7. Capa de Aplicación.

En esta capa, el sistema operativo de red y las aplicaciones se hacen disponibles a los usuarios. Los usuarios emiten ordenes para requerir los servicios de red, y esas ordenes son almacenadas en paquetes y enviadas por la red a través de los niveles de protocolo más bajos.

En esta capa se define una terminal virtual de red abstracta que los editores y otros programas puedan manejar. Para cada tipo de terminal, se debe escribir un programa para establecer la correspondencia entre las funciones de la terminal virtual de red y las de la terminal real. Otra función de la capa de aplicación es la transferencia de archivos. Los diferentes sistemas de archivos tienen convenciones diferentes para nombrar los archivos, etc. La transferencia de archivos entre dos sistemas diferentes requiere la solución de estas y otras incompatibilidades.

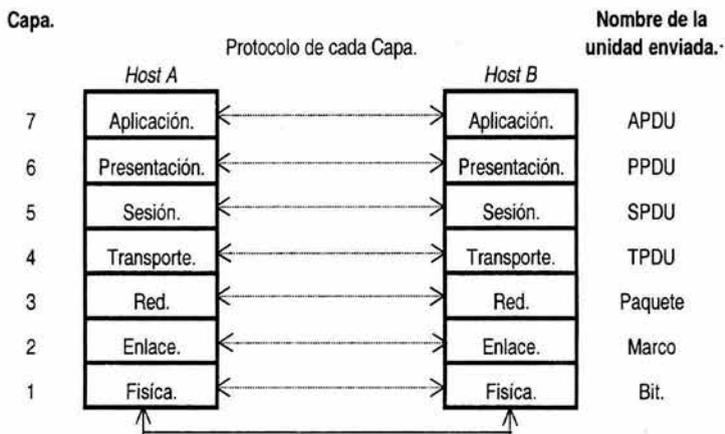


Fig. 1.3.4. Modelo OSI.

Donde:

APDU.- Es la unidad intercambiada en el protocolo de la capa de aplicación y significa (User Datagram Protocol) Protocolo de Datagrama de Usuario en la capa de Aplicación.

PPDU.- Protocolo de Datagrama de Usuario en la capa de Presentación.

SPDU.- Protocolo de Datagrama de Usuario en la capa de Sesión.

TPDU.- Protocolo de Datagrama de Usuario en la capa de Transporte.

2. BREVE HISTORIA Y RESUMEN DE LOS ESTÁNDARES DE LAS REDES INALÁMBRICAS

2.1. Breve historia de las redes inalámbricas

Aunque la tecnología se conoce como redes de área inalámbricas, en realidad se trata de tecnología de radio. Por lo tanto, no obstante que la historia de 802.xx (donde xx = 15, 11, 16, etc.) solo existe a partir de mediados de la década de los ochenta, en realidad esta tecnología comenzó aproximadamente 100 años atrás. En este capítulo esbozaremos una breve historia de la tecnología que conforma los fundamentos de las redes inalámbricas. Hacemos esto debido a que el desarrollo y el despliegue de las comunicaciones a través de la radio y de datos, se ubican dentro de las historias de tecnología más fascinantes del siglo XX y también porque tener un conocimiento pasajero, por lo menos, de lo que ocurrió antes de llegar a las LAN inalámbricas le ayudará a entender la evolución de los estándares actuales y, lo que es más importante, el camino que posiblemente tomarán.

2.2. La radio, el fundamento de una red inalámbrica

Del mismo modo en que la tecnología de radiodifusión es el fundamento de la LAN inalámbrica, los primeros trabajos en electromagnética, a su vez, representan los fundamentos de la radio. El teórico escocés James Clerk Maxwell impulsó por primera vez la noción de las ondas electromagnéticas en 1864, al postular que éstas provienen de un cambio de dirección en la energía eléctrica. Un dispositivo diseñado para producir ondas electromagnéticas mediante el cambio de la dirección de una corriente eléctrica, un proceso que se conoce como oscilación, es en esencia un transmisor. Basándose en esto, el alemán Heinrich Hertz desarrolló un equipo en la década de 1880 que, en realidad, envió y luego recibió ondas electromagnéticas a través del aire. Este equipo era capaz de incrementar el número de ondas que se producían en un periodo determinado, su frecuencia y su velocidad de cambio u oscilación. Su nombre, por supuesto, se convirtió en una unidad común de medida para las frecuencias, donde 1 hertz (Hz) significa una oscilación o ciclo completo por segundo. En el mundo de la radio, la medida más común es kilohertz (KHz) que representa miles de ondas de este tipo por segundo, megahertz (MHz) son millones de ondas por segundo, y así sucesivamente hasta los gigahertz (GHz). De esta forma, las ondas electromagnéticas que son cada vez más cortas pueden ser cuantificadas o colocadas en un orden de frecuencia creciente, o en un orden de longitud de onda descendente -es la misma idea debido a que en tanto el ciclo sea más frecuente,

la onda será más corta-. En la actualidad, esta cuantificación lineal se conoce como frecuencia de radio o espectro electromagnético.

Fue Guglielmo Marconi quien tomó estos primeros trabajos para dar el siguiente paso y luego llegar a una aplicación práctica. Aunque su nombre siempre estará vinculado con lo que hoy día se conoce coloquialmente como la radio, la transmisión de sonido, en realidad la primera aplicación fue una forma pionera de las comunicaciones de datos. En la década siguiente al trabajo de Hertz, Marconi sintetizó sus descubrimientos con los de Samuel Morse. Pensó que si era posible transmitir señales binarias (puntos y guiones) a través de un cable, también debería ser posible enviar este tipo de señales a través de una onda electromagnética y usarlas como medio de comunicación.

En 1895, cuando sólo tenía 21 años, Marconi envió y recibió sus primeras transmisiones de radio a través del ático de la villa de sus padres en la campiña italiana. En el año siguiente logró realiza transmisiones de aproximadamente una milla. A medida que mejoró sus transmisores y antenas, las distancias se incrementaron rápida y significativamente, lo que llevó a la radio del mundo de ciencia hacia el de la tecnología. Marconi descubrió el potencial comercial de su equipo telegráfico basado en las radiocomunicaciones, por lo que obtuvo su primera patente en 1896 y un año después formó en Inglaterra una compañía, la Wireless Telegraph and Signal Company Limited. Hacia 1898, el equipo telegráfico inalámbrico de Marconi se usaba para las comunicaciones entre los barcos y tierra, además de aplicaciones terrestres que reemplazaron sistemas alámbricos - lo que es un primer ejemplo de la suplantación de una infraestructura cableada más tradicional mediante tecnología inalámbrica-. Un año más tarde se estableció un enlace inalámbrico entre Inglaterra y Francia y, en 1901, se envió un mensaje desde Inglaterra hasta Newfoundland cruzando el océano Atlántico.

Thomas Edison fue el impulso principal que estuvo detrás de los primeros sistemas inalámbricos que se desplegaron comercialmente en Estados Unidos, lo que dio como resultado la fundación de General Electric, una de las compañías más grandes y exitosas del mundo. El trabajo de Edison se basó en el de Marconi y en el de uno de los empleados que colaboró con él, Nicola Tesla, quien era un inmigrante recién llegado de Europa. Sorprendentemente, después de muchos años de controversia, en 1998 Tesla obtuvo el reconocimiento formal de la Oficina de patentes de Estados Unidos como uno de los inventores de la radio, una distinción que antes sólo disfrutaba Marconi.

El mundo de la tecnología inalámbrica ha recorrido un camino muy largo desde los tiempos de Tesla, Marconi y otros. Desde el tiempo de la creación de los sencillos, pero inteligentes dispositivos que se construyeron en sus laboratorios, han proliferado distintos tipos de tecnologías inalámbricas en todos los continentes, que se consideran como herramientas muy importantes en las empresas en su intento de obtener eficiencia y, además, son elementos importantes para la seguridad y la - comodidad personal.

Es interesante comparar los primeros días de la radio con los de la industria de la computación personal. En nuestros tiempos, el desarrollo de la PC se considera como el estándar del desarrollo rápido desde la teoría y el concepto hasta la aplicación práctica. Los principios de la industria de la PC fueron dirigidos por personas jóvenes, brillantes, con mucha energía, como Bill Gates y Steve Jobs. El desarrollo de la radio no es menos impresionante. De la teoría a la aplicación en una década, de la comprobación del concepto hasta la comercialización en dos años. Todo esto a cargo de un hombre que sólo rebasaba los 20 años. Marconi y otras personas, por ejemplo, David Sarnoff, Alexander Popov, Lee DeForest y Reginald Fessenden, realizaron avances y perfeccionamientos adicionales, con lo que marcaron el comienzo de la "era dorada" de la radio en la década de los veinte a través de emisiones comerciales y el cambio social que implicaron. En 1923, el gobierno de Estados Unidos inició el proceso de dividir el espectro de frecuencias de radio en asignaciones para usos y usuarios específicos. Once años más tarde fue establecida la Comisión Federal de Comunicaciones (Federal Communications Commission, FCC, por sus siglas en inglés). De manera irónica, en la actualidad, a pesar de que la Corporación Marcony es una compañía proveedora de tecnología de comunicaciones que abarca todo el mundo, sólo tiene un pequeño papel en la radio y las Redes inalámbricas.

2.3. Resumen de los estándares de las redes inalámbricas

El aspecto de los estándares es un tema del que muchos de nosotros no nos ocupamos con frecuencia, aun cuando ha sido importante para la humanidad desde que las personas se han comunicado entre sí. Los estándares existen principalmente a fin de asegurar una base y acuerdo común para la forma y función de los dispositivos y servicios que nos rodean. Además, en los tiempos modernos, los estándares se emplean para ayudar en la protección de las personas que usan productos y servicios.

Los estándares también reducen el número de problemas mediante la capacidad de interoperabilidad e intercambio de información. Mientras más ampliamente esté adoptado un estándar, el mercado será más extenso para un grupo de proveedores de tecnología, donde el estándar de mayor preferencia será el que sea ratificado en forma global. Y también ocurre que mientras más ampliamente esté adoptado un estándar, será más grande la cantidad de sinergia entre los proveedores de tecnología y el mercado que satisfacen. Sin embargo, los estándares internacionales son mucho más difíciles en la práctica que en la teoría.

Asimismo, los estándares definen por ley lo que ciertos valores representan, por ejemplo, el pie, el metro, el tiempo, un galón o litro de gasolina, por mencionar

algunos. Los estándares definen lo que AHI dispositivo o servicio específico es o no es, y permiten a los proveedores de tecnologías y servicios establecer, usar y adherirse en forma legítima a los estándares definidos de manera adecuada.

2.4. Globalización de los estándares

Uno de los primeros ejemplos de un estándar fue el codo, que era considerado como la longitud del brazo de un hombre desde su codo hasta la punta de los dedos de la mano. En el año 8 a.c., se había acordado ampliamente que esta distancia correspondía a 171f2 pulgadas (no obstante que sólo nueve años después se concluyó de manera general que correspondía a 211f2 pulgadas). Por medio de este estándar, de acuerdo con la Biblia, el arca de Noé (que por lo común se cree que yace en el monte Ararat en Turquía) era un barco relativamente grande de 437.5 pies de largo por 72.9 pies de ancho y 43.75 pies de alto. Muchos otros registros antiguos de medidas proporcionan información relacionada con el tamaño de los edificios y los pesos y medidas que se usaban para los artículos, como los granos y las monedas.

La medida del tiempo es un estándar muy importante y el progreso de la tecnología ha estado vinculado directamente con la forma en qué tan bien esté medido este recurso. Considere el modo en que los negociantes y mercaderes antiguos del Mediterráneo se organizaban con los propietarios de los barcos y las caravanas para coordinar la transferencia de bienes y dinero. Era común que la tripulación de los barcos o los comerciantes tuvieran que esperar semanas o incluso meses en un sitio específico para realizar sus intercambios, debido a que el estándar de tiempo que se usaba durante ese periodo generalmente estaba medido por las fases del mes o la temporada. Antes de esto, la navegación en el mar abierto del mundo mediterráneo antiguo hacia el occidente no pudo ocurrir hasta que fue posible medir el tiempo con un grado de exactitud y consistencia apropiado.

Hoy día, los estándares tienen un impacto tremendo en la manera que seleccionamos y usamos productos. En Estados Unidos es común emplear la pulgada, la libra, la onza y el dólar, mientras que casi el resto del mundo conoce mejor el sistema métrico y sus formas nativas de moneda. A medida de que el mundo continúa convirtiéndose en una comunidad verdaderamente global, muchas personas han tenido que familiarizarse con estándares que se usan en lugares lejanos en relación con la ubicación en la que trabajan o residen.

Respecto a esta situación, las Naciones Unidas han estado lidiando con varios países durante años en tomo a cuál es el estándar que se debe usar para las comunicaciones inalámbricas portátiles, y sólo ha sido relativamente reciente que un viajero del mundo pueda llevar su teléfono celular desde Londres,

Inglaterra, y viajar a Singapur a través de Estados Unidos usando el mismo teléfono. Esto no está muy relacionado con el uso de un solo estándar vinculado con los fabricantes que proporcionan teléfonos celulares, mismos que cambian en forma automática entre tres o cuatro esquemas de modulación y frecuencias diferentes; además, muchas personas alrededor del mundo cuentan con teléfonos de "modo dual" b incluso "tres modos" para resolver este problema específico. La estandarización de estas modulaciones inalámbricas portátiles permite la fabricación de un teléfono celular en Noruega, que funcionará correctamente en tres o más continentes.

La definición de un estándar no es de ninguna manera banal. El aspecto aún más elemental de cuándo se debe adoptar un estándar es tan importante como el estándar mismo, debido a que vivimos en un mundo donde los conceptos, desarrollo y despliegue de tecnología se realizan en periodos que disminuyen con rapidez.

En el mundo de las WLAN, tenemos la suerte de contar con ciertos estándares fundamentales que han sido ratificados a nivel global, por ejemplo, la frecuencia, la energía y el tiempo. Un enlace WLAN que opera a 2.4 GHz se entiende y acepta de la misma forma en Japón, Inglaterra, Canadá y Estados Unidos.

La frecuencia de 2.4 GHz está, en la mayor parte de las naciones, apartada para el propósito de tener un sistema de frecuencia de radio libre de licencia y, probablemente, es la única frecuencia que está tan bien adoptada, desplegada y caracterizada.

Más aún, dada la idea de la estandarización del ancho de banda, el uso WLAN de doble sentido sigue siendo de alguna forma nuevo para grupos reguladores, instituciones internacionales y grupos de desarrollo de estándares que luchan por el control y la autoridad para asignar y dedicar, o ambas cosas, frecuencias específicas para usos particulares en distintos países.

Otro aspecto en el que no se ha llegado a un acuerdo de manera global es el de la canalización, mismo que representa el modo en que los radios dividen la cantidad del espectro disponible en subconjuntos utilizables para propósitos de comunicación. Además, excepto por la frecuencia de 2.4 GHz, en muchos casos las asignaciones del espectro varían ampliamente de un país a otro, lo que ocasiona que sea difícil para los fabricantes de radios y proveedores de servicios ofrecer productos que en realidad se puedan usar en forma global, debido a que normalmente no están dispuestos a diseñar, probar y enviar radios para la aprobación federal local de cada país que tiene acceso a un mercado sustancial.

La falta de estándares en la frecuencia y la potencia de salida a nivel internacional han obligado a algunos fabricantes de hardware a adoptar múltiples productos y diseñar unidades RF específicas, de manera que funcionen en

asignaciones de bandas de frecuencia para países específicos. Este enfoque eleva el costo de los bienes e inventarios. Si este enfoque no existiera, los países con bandas de frecuencia distintas a las de las principales superpotencias que generan ganancias, como Estados Unidos, Inglaterra, Alemania, Francia y Japón, se quedarían sin alternativas para el ancho de banda asignado a las aplicaciones inalámbricas. Ésta es una de las razones principales por las que algunas compañías han adoptado arquitecturas que permiten que el equipo interno, por ejemplo los direccionadores e interruptores en cada extremo de los enlaces de radiodifusión, sean independientes de la frecuencia portadora de la onda, canalización, requerimientos de energía y otros parámetros que residen en los radios que operan en la parte exterior de la red. Aun así, este enfoque requiere de múltiples unidades externas de uno o más proveedores de tecnologías, lo que depende del país en particular.

La evolución tecnológica de los sistemas de telefonía móvil. La aparición de los sistemas celulares, al permitir una capacidad de abonados muy superior, ha dado pie a que la telefonía móvil se convierta en una aplicación de consumo a las que pueden acceder no solamente las personas que necesitan específicamente este tipo de aplicación, sino también otras que lo consideran una comodidad más de las proporcionadas por los avances de la tecnología; con las nuevas tecnologías como son las utilizadas por GSM son empleadas por los usuarios con mas facilidad.

3.- REDES DE ÁREA PERSONAL INALÁMBRICAS (WPAN)

3.1. BLUETOOTH IEEE 802.15* Bluetooth* UWB

3.1.1. Reseña

El estándar Bluetooth ha sido el tema de mucha atención durante los últimos años. Como varios fabricantes preparan el lanzamiento de productos usando tecnología Bluetooth, el público lo ha catapultado en el siguiente estado de la revolución tecnológica de la información.

Bluetooth es una radio tecnología de bajo costo, baja potencia y rango corto, que originalmente fue desarrollado como un remplazo del cable para conectar equipos tales como teléfonos móviles, auriculares y computadoras portátiles. Esto en si mismo suela inocuo, sin embargo, habilito la estandarización de comunicaciones inalámbricas entre cualquiera equipos eléctricos, Bluetooth ha creado la noción de una Red de Área Personal (Personal Área Network, PAN), una clase de red inalámbrica de rango cerrado que revoluciono el camino de la gente para interactuar con el panorama de tecnología de la información alrededor de ellos.

Ya no es necesario conectar, enchufar, instalar, habitar o configurar algo más. A traves de un subsistema de comunicaciones estandarizado ubicuo, los equipos se comunican. Uno no necesita saber donde está un teléfono celular, o aun si está conectado. Tan pronto como el navegador Web aparece en la pantalla de la computadora móvil, un enlace es establecido con el teléfono del Proveedor de Servicio de Internet (Internet Service Provider, ISP) es conectado, y el usuario está navegando en la Web.

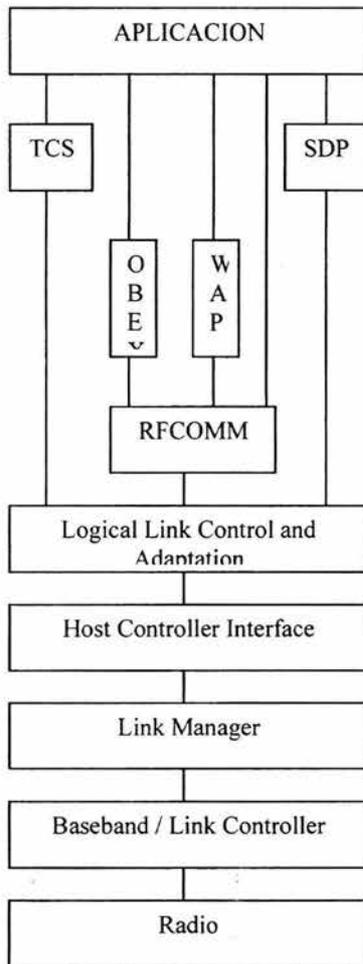
El Bluetooth es una especificación global abierta definiendo al sistema completo desde el radio hasta el nivel de aplicación. La pila de protocolos es usualmente implementada parte en hardware y parte como software corriendo en un microprocesador, con diferente implementación participando la funcionalidad entre hardware y software en diferentes caminos.

3.1.2. LA PILA DE PROTOCOLOS

Una característica clave del Bluetooth es que finalidad es permitir a equipos de un lote de diferente fabricante uno con el otro. Para este fin, Bluetooth no solo define el sistema de radio, también define una pila de protocolos para habilitar aplicaciones para encontrar otro equipo Bluetooth en la área, descubrir que servicio ellos pueden ofrecer, y usar estos servicios.

La pila Bluetooth está definida como una serie de capas, aunque hay algunas características las cuales cruzan varias capas. Cada bloque en la Figura 4-1 corresponde a un capítulo en el núcleo de las especificaciones de Bluetooth. La especificación del núcleo también tiene tres capítulos en prueba y calificación:

Modo de Prueba Bluetooth.
 Requerimientos de Conformidad Bluetooth.
 Interfase de Control de Prueba.



Los Perfiles Bluetooth dan la pauta de como las aplicaciones deben usar la pila de protocolos Bluetooth

TCS (Especificación del Protocolo de Control de Telefonía) proporciona servicios de telefonía

SDP (Protocolo de Descubrimiento de Servicio) permite a equipos Bluetooth descubrir que servicios otro equipo Bluetooth soporta

WAP y OBEX proporcionan interfaz a la capa superior de otros Protocolos de Comunicaciones
 RFCOMM proporciona una interfaz serial RS232

Control de enlace Lógico y Adaptación múltiplex datos desde capas superiores, y conversión entre diferentes tamaños de paquetes

La Interfaz Controlador del Host maneja comunicaciones entre un host separado y un modulo Bluetooth

Los controles de administración de red y configura enlaces a otros equipos

La Banda Base y el Controlador de Enlace controlan los enlaces físicos vía el radio, ensambla paquetes y controla el salto de frecuencia

El radio modula y demodula datos para transmisión y recepción al aire

Figura 3.1.2. The pila de protocolos Bluetooth.

La especificación Bluetooth abarca más que la especificación núcleo. Hay también perfiles los cuales dan detalle de como las aplicaciones deben usar la pila de protocolos Bluetooth, y una marca la cual explica como la marca Bluetooth debe ser usada.

3.1.3. El Modelo de Referencia OSI

La Figura 3.1.3 muestra el modelo de referencia estándar de Interconexión de Sistemas Abiertos – Open Systems Interconnect (OSI) para la pila de protocolos de comunicaciones. Aunque Bluetooth no corresponde exactamente con el modelo, es un ejercicio útil relacionar las diferentes partes de la pila Bluetooth con las del modelo. Puesto que el modelo de referencia es lo ideal, la comparación sirve para enfatizar la división de la responsabilidad en la pila Bluetooth.

La Capa Física – Physical Layer es responsable de la interfaz eléctrica para el medio de comunicaciones, incluyendo modulación y codificación de canal. Así cubre el radio y parte de la banda base.

Capa de Aplicación	Aplicaciones
Capa de Presentación	RFCOMM / SDP
Capa de Sesión	L2CAP
Capa de Transporte	Host Controller Interface (HCI)
Capa de Red	Link Manager (LM)
Capa de Enlace	Link Controller
Capa Física	Baseband
	Radio

Figure 3.1.3. Modelo de Referencia OSI y Bluetooth.

La Capa de Enlace de Datos – Data Link Layer es responsable de la transmisión, formación, y control de errores sobre un enlace en particular, y como tal, traslaparse la tarea del control de enlace y el fin del control de la banda base, incluyendo comprobación y corrección.

De aquí en adelante, es un poco menos claro. La Capa de Red – Network Layer es responsable de la transferencia de datos a través de la red, independientemente del medio y topología específica de la red. Esto abarca el extremo mayor del controlador de enlace, configurando y manteniendo múltiples enlaces, y también convierte la mayoría de las tareas del Administrador de Enlace – Link Manager (LM). La Capa de Transporte – Transport Layer es responsable de la confiabilidad y multiplexión de la transferencia de datos a través de la red al nivel proporcionado por la aplicación, de este modo se traslapa en el extremo superior del LM y cubre la Interfaz del Controlador del Host – Host Controller Interface (HCI), el cual proporciona el mecanismo de transporte de datos actual.

La Capa de Sesión – Sesión Layer proporciona administración y servicios del control del flujo de datos, los cuales son cubiertos por L2CAP y el extremo inferior de RFCOMM/SDP. La Capa de Presentación – Presentación Layer proporciona una representación común para datos de la Capa de Aplicación – Application Layer adicionando estructura de servicio a las unidades de datos, lo cual es la tarea principal de RFCOMM I SDP. Finalmente, la Capa de Aplicación – Application Layer es responsable de manejar las comunicaciones entre aplicaciones del host.

3.1.4. El Nivel Físico

Los equipos Bluetooth operan en 2.4GHz en la banda ISM, mundialmente disponible, libre de licencia. Esta banda está reservada para uso general de aplicaciones Industrial, Científico, y Médico – Industrial, Scientific, and Medical (ISM), el cual cumple un juego básico de potencia y emisión espectral y especificaciones de interferencia. Esto significa que el Bluetooth tiene que ser muy robusto, ya que hay muchos usuarios existentes y contaminadores de este espectro compartido.

La banda de operación está dividida en canales espaciados 1 MHz, cada dato de señalización en 1 Mega símbolo por segundo a fin de obtener el máximo ancho de banda del canal disponible. Con el esquema de modulación escogida de GFSK (Guassian Frequency Shift Keying), esto es igual a 1 Mb/s. Usando GFSK, un 1 binario da una subida a la desviación de frecuencia positiva desde la frecuencia portadora nominal, mientras que un 0 binario da una subida a una desviación de frecuencia negativa.

Después de cada paquete, ambos equipos regresan su radio a una frecuencia diferente, saltando efectivamente de radio canal a radio canal (espectro ensanchado de salto de frecuencia – frequency hopping spread spectrum FHSS). De esta manera, los equipos Bluetooth usan la totalidad de la banda ISM disponible y si una transmisión está comprometida a interferencia en un canal, la retransmisión siempre será en un canal diferente (con la esperanza de que este despejado). Cada ranura de tiempo Bluetooth dura 625 microsegundos, y generalmente los equipos saltan una vez por paquete, lo cual será cada ranura, cada 3 ranuras, o cada 5 ranuras.

Diseñado para aplicaciones portátiles de baja potencia, la potencia del radio debe ser minimizada. Tres clases de potencia diferentes son definidas, lo cual proporciona rangos de operación de aproximadamente 1 m, 20 m, y 100 m; la potencia menor da hasta un rango de 10 m, la mayor hasta 100 m.

3.1.4.1. Maestros, Esclavos, Ranuras, y Saltos de Frecuencia

Si los equipos están saltando a nuevas frecuencias después de cada paquete, todos ellos deben de estar de acuerdo en la secuencia de frecuencias que ellos usarán. Los equipos Bluetooth pueden operar en dos modos: como un Maestro o como un Esclavo. Es el Maestro el que pone la secuencia de salto de frecuencia. El Esclavo se sincroniza al Maestro en tiempo y frecuencia siguiendo a la secuencia de saltos del Maestro.

Cada equipo Bluetooth tiene una dirección de equipo Bluetooth única, y un reloj Bluetooth. La parte banda base de la especificación Bluetooth describe un algoritmo el cual puede calcular una secuencia de salto de frecuencia desde una dirección de equipo Bluetooth y un reloj Bluetooth. Cuando los Esclavos se conectan a un Maestro, ellos están determinando la dirección del equipo Bluetooth y el reloj del Maestro. Ellos entonces usan esto para calcular la secuencia de salto de frecuencia. Ya que todos los Esclavos usan el reloj y dirección del Maestro, todos están sincronizados a la secuencia de salto de frecuencia del Maestro.

En adición al control de la secuencia de salto de frecuencia, el Maestro controla cuando los equipos se les permiten transmitir. El Maestro permite a los Esclavos transmitir asignando ranuras para tráfico de voz o tráfico de datos. En ranuras de tráfico de datos, al esclavo solo le esta permitido transmitir cuando responde a una transmisión a ellos por el Maestro. En ranuras de tráfico de voz, los Esclavos son requeridos para transmitir regularmente en ranuras reservadas de un modo u otro ellos están contestando al Maestro.

El Maestro controla como el ancho de banda disponible total es dividido entre los Esclavos decidiendo cuando y que a menudo se comunica con cada

Esclavo. El número de ranuras de tiempo que cada equipo toma depende de sus requerimientos de transferencia de datos. El sistema de división de las ranuras de tiempo entre múltiples equipos es llamado Multiplexión por División de Tiempo – Time División Multiplexing (TDM).

3.1.4.2. Piconets y Scatternets

Una colección de equipos Esclavos operando juntos con un Maestro común es referenciado como una piconet (ver Figura 3.1.4.2.). Todos los equipos en una piconet siguen la secuencia del salto de frecuencia y temporización del Maestro.

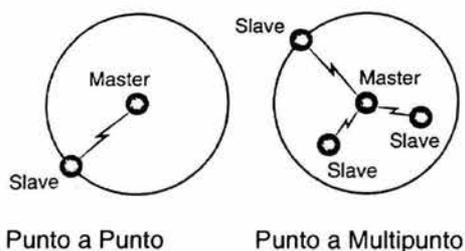


Figura 3.1.4.2.1. Piconet punto a punto y punto a multipunto.

En la Figura 3.1.4.2.1 la piconet a la izquierda con un solo Esclavo ilustra una conexión punto a punto. La piconet a la derecha tres Esclavos hablando al Maestro ilustra una conexión punto a multipunto. Los Esclavos en una piconet solo tiene enlace con el Maestro; no hay enlace directo entre Esclavos en una piconet.

Las especificaciones limitan el número de Esclavos en una piconet a siete, con cada Esclavo solo comunicándose con el Maestro compartido. Sin embargo, un área de cobertura grande o un número mayor de miembros de red pueden ser realizados enlazando piconets en una scatternet, donde unos equipos son miembros de más de una piconet (ver Figura 3.1.4.2.2).

Cuando un equipo es presentado en más de una piconet, debe compartir el tiempo, empleando unas pocas ranuras en una piconet y pocas ranuras en la otra. A la izquierda es una scatternet donde un equipo es un Esclavo en una piconet y un Maestro en otra. A la derecha es un scatternet donde un equipo es un Esclavo en dos piconets. No es posible tener un equipo el cual es un Maestro en dos diferentes piconets punto que todos los Esclavos en una piconet están sincronizados a la secuencia de salto del Maestro. Por definición, todos los equipos con el mismo Maestro deben estar en la misma piconet.

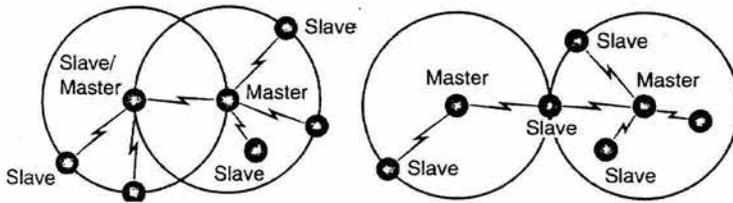


Figure 3.1.4.2.2 Scatternets.

En adición a las varias fuentes de interferencia ya mencionadas, una fuente mayor de interferencia para equipos Bluetooth claramente serán otros equipos Bluetooth. Aun cuando los equipos comparten una piconet serán sincronizados para evitarse uno al otro, otras piconets no sincronizadas en el área chocarán aleatoriamente en la misma frecuencia. Si hay una colisión en un canal en particular, estos paquetes se perderán y subsecuentemente serán retransmitidos, o si son de voz, ignorados. Así, a más piconets en un área, más retransmisiones serán necesarias, causando la velocidad de datos caiga. Esto es como tener una conversación en un cuarto ruidoso.

Este efecto pasará si hay muchas piconets independientes en una área, y también pasará para scatternets, puesto que las piconets integran la scatternet no coordinan su salto de frecuencia.

3.1.5 Clases de Potencia de Radio

La especificación Bluetooth permite tres diferentes tipos de potencias de radio:

- Clase 1= 100 mW (20 dBm).
- Clase 2 = 2.5 mW (4 dBm).
- Clase 3 = 1 mW (0 dBm).

Estas clases de potencia permiten a equipos Bluetooth conectarse a diferentes rangos. La mayoría de los manufacturadotes están produciendo la Clase 3, baja potencia, radios de 1 mW. Estos pueden comunicarse máximo alrededor de 10 m. Sin embargo, como cuerpos y muebles absorben microondas, la recepción no puede ser confiable en el límite de este rango. Así, cuando se usan radios de 1 mW, una figura más realista para operación confiable en un cuarto normal probablemente será de 5 m. Esto proporciona una solución de

comunicaciones de potencia bajo, de costo bajo lo cual tiene bastante rango para reemplazar tecnología de cable.

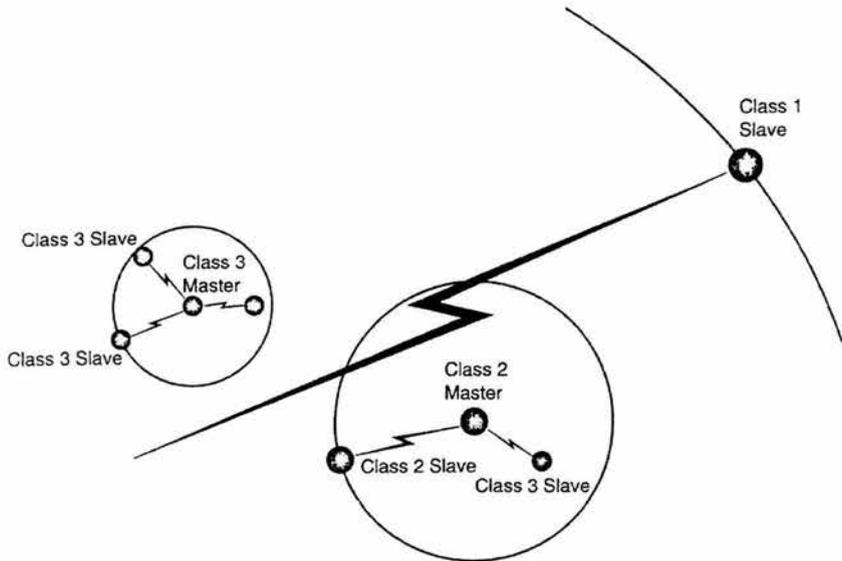


Figura 3.1.5 Piconets integrada de diferentes equipos con clase de potencia

Obviamente, radios de mayor potencia tienen mayor rango. El máximo rango para un Clase 1, radio de 100 mW es de cerca de 100 metros. También hay un rango mínimo para una conexión Bluetooth. Si los radios son puesto muy cerca uno al otro, el receptor se saturará; así, el mínimo rango para un enlace de radio Bluetooth es de alrededor de 10 cm.

Un enlace de 100 m necesita una potencia mayor, equipos de Clase 1 en ambos extremos, pero es posible crear piconets con una mezcla de equipos de alta y baja potencia en rangos diferentes. La Figure 1-6 muestra una mezcla de equipos de alta y baja potencia en diferentes piconets ocupando un área.

Esta Figura muestra piconets loc. cuales se traslapan uno al otro. Esto es posible ya que cada Maestro tiene su propia secuencia de salto de frecuencia, de modo que dos piconets difícilmente están en la misma frecuencia, al mismo tiempo. Si ellos se encuentran en la misma frecuencia, después del siguiente salto de frecuencia ellos aun no estarán en la misma frecuencia, de modo que los datos los cuales pudieron haberse perdidos cuando dos piconets estaban en la misma frecuencia pueden ser reenviados.

3.1.6. Enlaces de Voz y Datos

Bluetooth permite comunicaciones de datos críticos en tiempo tales como los requeridos para voz o audio, además de alta velocidad, comunicación de paquetes de datos insensibles al tiempo. Para llevar tales datos, dos tipos diferentes de enlaces son definidos entre cualesquiera dos equipos. Hay enlaces SCO (Orientados a Conexión Síncrona – Synchronous Connection Oriented) para comunicación de voz y enlaces ACL (Sin Conexión Asíncrona – Asynchronous Connectionless) para comunicación de datos.

Paquetes de datos ACL son construidos desde un código de acceso de 72-bit, un encabezado de paquete de 54-bit y un código CRC de 16-bit, en adición a la carga útil de datos. Hay una variedad de tipos de paquetes permitiendo diferentes cantidades de datos a ser enviados. El paquete el cual lleva la mayor carga útil de datos es un paquete DH5, el cual se extiende sobre cinco ranuras. Un paquete DH5 puede llevar 339 bytes, o 2712 bits de datos. Así, 2858 bits son enviados al aire para 2712 bits de información.

Un paquete DH5 usa hasta cinco ranuras, y la mínima longitud de respuesta es de una ranura. Así, la máxima velocidad de datos de banda base en una dirección es de 723.2 kbps. En este caso, con paquetes de 5 ranuras enviados en una dirección, los paquetes de 1 ranura enviados en la otra dirección solo llevará 57.6 kb/s, así este será un enlace asimétrico con más datos siendo en la dirección usando paquetes de 5 ranuras. Si paquetes de 5 ranuras fueron enviadas en ambas direcciones, la velocidad de datos obtenida podrá ser de 433.9 kbps, absolutamente una reducción de la velocidad de datos de 1Mbps al aire.

Este sobre encabezado en la codificación de datos y en el salto de frecuencia es principalmente necesario para proporcionar un enlace robusto puesto que la banda ISM es un recurso compartido con muchos equipos, y en efecto otros estándares de comunicaciones y aun fuentes de ruido, cohabitan en el mismo espectro. En adición, para reducir el problema de interferencia en el espectro, las regulaciones limitan la potencia de emisión por unidad de tiempos en la banda ISM, haciendo un esquema de salto de frecuencia necesario para transmisión ensanchada sobre el espectro y sobre el tiempo.

Las capas superiores de la pila de protocolos también gasta algo del ancho de banda, así en el nivel de aplicación, la velocidad de datos máxima podrá ser de alrededor de 650 kbps.

Los enlaces SCO trabajan a 64 kbps, y es posible tener hasta tres enlaces de voz full-duplex a la vez, o mezclar voz y datos. Estos canales de voz dan comunicación de audio de una calidad que uno espera de un sistema de telefonía celular móvil moderno tal como GSM. Como tal, enlaces SCO no son realmente convenientes para entregar audio de una calidad requerida para oír música.

Una alternativa para soportar música es usando un canal ACL para llevar audio. Audio de calidad CD en bruto requiere de 1411.2 kbps, pero con la compresión conveniente, tal como MP3 la cual reduce esta velocidad de bits alrededor de 128 kbps, audio de calidad CD puede fácilmente ser llevada proporcionando exactamente el tiempo del audio sea mantenida

3.1.7. Radio

3.1.7.1. Radio en Equipos Bluetooth

Radio Equipos Bluetooth operan en la banda ISM sin licencia, globalmente disponible situada en 2.4 GHz. Esta banda esta reservada para uso general para aplicaciones Industrial, Científica, y Medica – Industrial, Scientific, and Medical (ISM), la cual obedece un juego básico de potencia y emisión espectral e interferencia específica tal como está definido por el ETSI ETS 300-328 en Europa o la FCC CFR47 Part 15 in the E. U. A. Aun cuando está globalmente disponible, la banda ISM tiene restricciones en algunos lugares geográficos. La situación de la banda ISM es descrita en la Tabla 3-1.7.1.

La banda ISM está ocupada por un exceso de otros emisores de RF, extendiéndose desde aplicaciones inalámbricas tales como técnicas propietarias de corto rango (seguridad de coches, auriculares inalámbricos, etc.) y aplicaciones estandarizadas WLAN (Red de Área Local Inalámbrica – Wireless Local Area Networking) (IEEE 802.11) para generadores de ruido aleatorio tales como hornos de microondas y faroles de vapor de sodio los cuales contribuyen significativamente al ruido del piso. Como un resultado, la banda de 2.4 GHz no es un medio estable o confiable. Sin embargo, la banda mundialmente disponible asegura la aceptación amplia del Bluetooth. Competir con el ambiente hostil presentada por la banda ISM, Bluetooth específicamente emplea varias técnicas; estas son: salto de frecuencia, control de potencia adaptiva, y paquetes de datos cortos.

Tabla 3.1.7.1 Banda ISM disponible				
	Banda ISM (GHz)	Banda de Guardia Inferior	Banda de Guardia Superior	Canales Disponibles
E. U. A., Japón, Europa, etc.	2.4000-2.4835	2MHz	3.5MHz	79

3.1.7.2. Salto De Frecuencia

Originalmente inventada por la actriz Austriaca Hedy Lamarr durante la Segunda guerra mundial, el mecanismo de salto de frecuencia ha sido usado como un medio de comunicación segura y como comunicación robusta. Ambos atributos de la técnica son importantes para Bluetooth. Siempre es posible para un radio canal llegar a ser temporalmente bloqueado por una fuente de interferencia, y como se describió anteriormente, esto es bastante probable en la banda ISM ocupada. Aun cuando Bluetooth proporciona un esquema de retransmisión para paquetes de datos perdidos, es en conjunto más eficiente y robusto para retransmitir los datos en un nuevo canal, lo cual es improbable también ser bloqueado. Realmente, el algoritmo empleado para calcular la secuencia de salto asegura máxima distancia entre salto adyacente de canales en la secuencia. También piconets Bluetooth activos pueden estar en rango uno del otro, con cada salto piconet independiente con una secuencia pseudo aleatoria basada en cada identidad / código de acceso de la piconet, las colisiones serán minimizadas. Esto es importante como todo equipo Bluetooth solo tiene 79 canales en los cuales opera. En una oficina o ambiente público, el número de equipos activos puede muy rápidamente alcanzar este límite, y una correlación baja entre pares no comunicados es esencial.

3.1.8. Modulación

La banda de operación de 83.5 MHz esta dividida en canales espaciados 1 MHz, cada señalización de datos en 1 M Símbolo por segundo para obtener el máximo de ancho de banda de canal disponible. Con el esquema de modulación escogido de GFSK (Modulación de Frecuencia por Desplazamiento Gaussiano – Gaussian Frequency Shift Keying), esto iguala a 1 Mbps. Un 1 binario da una subida para una desviación de frecuencia positiva de la frecuencia portadora nominal, mientras que un 0 binario da una subida de desviación de frecuencia negativa.

Para obtener el más eficiente uso del ancho de banda mientras aun se mantiene la probabilidad de error aceptable, el flujo de bits digital es modulado usando GFSK con un producto Bluetooth de 0.5 y un índice de modulación de entre 0.28 y 0.35. El producto Bluetooth es el producto de separación de frecuencia de señal adyacente (0.5 MHz) y duración del símbolo (1 μ s). Un producto Bluetooth de 0.5 corresponde a la mínima separación de portadora para asegurar la ortogonalidad (es decir, no correlación cruzada) entre señales en canales adyacentes. El índice de modulación representa la energía de la desviación de la frecuencia pico (f_d) y puede ser expresada como $2fdT$, donde T

es la duración del símbolo. Esto transforma a un rango de desviación de frecuencia de 140 kHz a 175 kHz. La especificación de Bluetooth da 115 kHz como una desviación mínima absoluta.

GFSK emplea un filtro Gaussiano para alisar las transiciones de frecuencia de modo que la frecuencia de la portadora modulada cambia fácilmente con una envolvente adaptada Gaussiana. Esto mantiene fase continua de la frecuencia portadora y reduce los lóbulos laterales espectrales emitidos, permitiendo mayor eficiencia espectral y menos interferencia Inter. Símbolo. El filtro Gaussiano actúa en el flujo de bits de transmisión y puede ser implementado en el radio como un filtro analógico, llevada a cabo en la parte digital de la banda base usando un filtro FIR implementado como un Registro de Cambio de Retroalimentación Lineal – Linear Feedback Shift Register (LFSR), o como parte de una tabla de mejora la modulación.

3.2. Ultra Banda Ancha (UWB)

3.2.1. Ráfagas inalámbricas de información

La vieja tecnología de la radio proporciona a los productos electrónicos portátiles nuevas formas para transmitir grandes cantidades de información sin cables

Con un crujiente sonido como el de los huevos cuando se fríen, un ondulante haz de intensa luz blanquiazul baila a través de un pequeño espacio entre las puntas de dos varillas de metal. Un profesor de física de 31 años, usando un transmisor de chispa al vacío, demuestra el fenómeno electromagnético a sus alumnos en un salón de clase débilmente iluminado de la Universidad Karlsruhe, en Alemania. El año es 1887 y Heinrich Hertz genera ondas de radio. Siete años después, un joven italiano llamado Guglielmo Marconi lee un artículo de Hertz en el periódico durante sus vacaciones en los Alpes y corre apresuradamente a su casa con la visión de un telégrafo sin hilos en la mente. Pronto, los transmisores de chispa al vacío de Marconi envían un flujo de impulsos en código Morse a través de su laboratorio, sin necesidad de utilizar cableado. Después de aumentar la potencia y construir antenas mucho más grandes, el pionero de la radio finalmente, en 1901, utiliza el dispositivo para transmitir señales sin necesidad de cables o codificadas a través del océano Atlántico.

Un siglo después, los investigadores se encuentran emitiendo otra vez breves impulsos electromagnéticos en sus laboratorios; sin embargo, la tecnología ha cambiado: las voluminosas bobinas y capacitores de Hertz y de Marconi han sido reemplazados por minúsculos circuitos integrados y diodos de túnel. De la

misma manera, el irregular y errático flujo de chispas, producido por los primeros transmisores, ahora se ha refinado en secuencias de impulsos calculadas con precisión que duran sólo algunos cientos de billonésimas de segundo. Pues, mientras los dispositivos de Marconi conducían el equivalente a cerca de diez bites de datos por segundo, los descendientes actuales de baja potencia y corto alcance de los sistemas originales de chispa al vacío, llamados tecnología de banda ultra ancha (uwb, por sus siglas en inglés), pueden enviar más de cien millones de bites de información digital en la misma cantidad de tiempo.

3.2.2. Capacidad

La capacidad de transferencia de información de alta velocidad de los sistemas de uwb ha alentado a un grupo de inventores y empresarios a promover esta tecnología de corto alcance, como una manera casi ideal para controlar el bullente flujo de información inalámbrica entre redes de dispositivos electrónicos portátiles que funcionan con baterías (véase el cuadro 1). Estas redes autónomas pueden incluir organizadores personales digitales, cámaras digitales, reproductoras de audio y video, teléfonos celulares, computadoras laptop y otros equipos electrónicos móviles. Para intercambiar los enormes archivos digitales que permiten utilizar las aplicaciones de ancho de banda cada vez más sofisticadas, estos dispositivos requieren enlaces de comunicaciones inalámbricas con un gran ancho de banda.

Con la tecnología inalámbrica de banda ultra ancha sería posible toda una nueva gama de funciones y dispositivos electrónicos que cambiarían nuestra manera de vivir.

La creciente presencia de las conexiones a Internet por cable es otra posibilidad que puede explorar la tecnología de banda ultra ancha. Muchas personas de países desarrollados pasan actualmente gran parte del día dentro del rango de 10 m de algún tipo de conexión a Internet por cable. Esta proximidad abre la posibilidad de emplear tecnología inalámbrica de corto alcance para comunicar los dispositivos electrónicos portátiles con Internet. Por ello, la industria ha respondido con el desarrollo de técnicas de comunicación de banda estrecha que pueden "llevarle al contacto de la pared". Éstas incluyen los estándares IEEE 802.11b y Bluetooth, los cuales operan en una banda de frecuencia no autorizada de 2.400 a 2.483 gigahertz (GHz), y el estándar IEEE 802.11a, que opera en espacios cerrados con frecuencias de 5.150 a 5.350 (GHz).

Bluetooth es la más conocida de las redes de área personal (pan, por sus siglas en inglés) inalámbricas. Los panes inalámbricos se diseñaron con el propósito de reemplazar los cables usb y seriales (físicos) que se utilizan para la transmisión de información entre equipos electrónicos que se encuentran en un

área pequeña. Aunque las implementaciones específicas difieren, se espera que el estándar Bluetooth de baja potencia ofrezca a los usuarios una velocidad máxima de transmisión de información de aproximadamente setecientos kilobites por segundo en distancias de hasta 10 m.

Los estándares IEEE 802.11a y 802.11b se establecieron para redes de área local inalámbricas (lan), las cuales si bien se comunican a velocidades más rápidas y logran mayor alcance, requieren de mayor consumo de energía. Por lo general, estas redes inalámbricas enlazan laptops a lan conectadas a través de puntos de acceso. Los usuarios de IEEE 802.11b pueden lograr velocidades de transmisión máximas de alrededor de 5.5 megabites por segundo (Mbps) en espacios abiertos de hasta 100 m. El estándar que lo acompaña, el 802.11a, proporcionará a los usuarios velocidades de datos máximas entre 24 y 35 Mbps en espacios abiertos de aproximadamente 50 m. En la práctica, todos los sistemas de radio de corto alcance "reducen" sus velocidades para compensar largas distancias, paredes, personas y otros obstáculos.

Actualmente, parece que los transmisores-receptores uwb, basados en semiconductores, serán capaces de proporcionar velocidades de transmisión de información muy altas, de 100 a 500 Mbps a través de distancias de 5 a 10 m. Estas altas velocidades de bites permitirán la aparición de aplicaciones cuya existencia es imposible usando los estándares inalámbricos de hoy. Es más, los ingenieros esperan que estas unidades uwb sean más baratas, pequeñas y consuman menos energía que los dispositivos de radio de banda estrecha que se ven en la actualidad.

UWB es además superior a otros esquemas inalámbricos de corto alcance en otros aspectos. La creciente demanda por una mayor capacidad de información a través de una transmisión inalámbrica y la saturación del espectro de radiofrecuencia regulada favorecen los sistemas que ofrecen no sólo velocidades de bites más altas sino las concentradas en áreas físicas más pequeñas, una medida que se llama capacidad espacial. Bites por segundo entre metro cuadrado es una medida de "intensidad de datos", del mismo modo en que los lumen por metro cuadrado determinan la intensidad de iluminación de una instalación de luz. Conforme aumente el número de usuarios de ancho de banda en espacios concurridos, como aeropuertos, hoteles, centros de convenciones y lugares de trabajo, la capacidad espacial será el parámetro más complejo de un sistema inalámbrico, una capacidad en la cual se distingue la tecnología de banda ultra ancha.

El desarrollo exitoso de la tecnología inalámbrica uwb hará posible toda una nueva gama de dispositivos electrónicos, así como de funciones que cambiarán nuestra vida. Por ejemplo, en vez de rentar o comprar películas grabadas en la tienda de video, podríamos bajar películas mediante una unidad portátil de almacenamiento masivo y transmisión uwb inalámbrica mientras se llena el tanque de gasolina del automóvil. La uwb podría permitir que las agendas y planificadores

grandes y los directorios de correo electrónico se sincronizaran rápidamente o que los mensajes se enviaran y recibieran en lugares públicos, como cafeterías, aeropuertos, hoteles y centros de convenciones. Mientras viaja en avión o en tren, la gente podría disfrutar del flujo de entrada de video o de juegos interactivos con anteojos de tercera dimensión y receptores de audio de alta fidelidad equipados con uwb. Los entusiastas de la fotografía podrían transferir imágenes digitales y de video desde sus cámaras hasta sus computadoras o sistemas de teatro en casa a través de uwb inalámbrica, eliminando así los enredos de cables que utilizamos a menudo.

La capacidad espacial es una importante medida de eficiencia operativa cuando se comparan sistemas inalámbricos de corto alcance, favorece la tecnología uwb. Se mide en kilobites por segundo entre metro cuadrado (kpbs/m²), así la capacidad espacial no sólo se enfoca en velocidades de bites para transferencia de información sino en velocidades de bites disponibles en los espacios delimitados definidos por el corto alcance de las transmisiones.

La tecnología uwb tiene asimismo otras aplicaciones importantes que no están relacionadas con las comunicaciones. Funciona a partir de impulsos muy finos programados en tiempos con precisión, similares a los utilizados en las aplicaciones de radar. Éstos dan a los equipos inalámbricos uwb la capacidad para detectar objetos situados en las paredes o movimiento detrás de éstas, posibilidad que podría ser importante para misiones de rescate y en tareas policíacas.

Los impulsos de precisión también pueden utilizarse para determinar la posición de emisores bajo techo. Al funcionar como una versión local del Sistema de Posicionamiento Global (gps, por sus siglas en inglés) o como la tecnología Lo Jack antirrobo para automóviles, un sistema inalámbrico uwb puede triangular la ubicación de bienes codificados con transmisores al utilizar varios receptores colocados en las proximidades. Dicha capacidad podría ser útil para que el personal de un almacén realice "inventarios virtuales", a través de rastrear productos de gran valor, por ejemplo en los estantes o en las bodegas. Esta característica de localización-búsqueda también podría utilizarse para mejorar la seguridad: los receptores uwb instalados en cerraduras de puertas "inteligentes" o en cajeros electrónicos, permitiendo su operación sólo cuando un usuario autorizado, que porta un transmisor uwb, se acerca a un perímetro de hasta un metro.

3.2.3. Radio sin onda portadora

Los equipos inalámbricos de banda ultra ancha difieren de las formas de radiocomunicaciones cotidianas, tales como Modulación por Amplitud y Modulación en Frecuencia AM/FM, onda corta, frecuencia de policía o bomberos,

radio, televisión, etc. Estos servicios de banda estrecha, los cuales evitan interferirse entre sí al permanecer confinados en bandas de frecuencia asignadas con antelación, usan lo que se llama una onda portadora. Los mensajes de datos se imprimen en la señal portadora subyacente, al modular de alguna manera su amplitud, frecuencia o fase y luego se extraen al recibirlos.

La tecnología UWB es radicalmente diferente. En vez de emplear una señal portadora, las emisiones uwb se componen de una serie de impulsos intermitentes. Al variar la amplitud, la polaridad, la sincronía u otra característica de los impulsos, la información se codifica en el flujo de datos. Algunos otros términos se han utilizado para designar el modo de transmisión uwb: sin portadora, banda base, no sinusoidal y basada en impulsos, entre ellos.

3.2.4. Una opción para evitar la interferencia

Debido a su extremadamente breve duración, estos impulsos de banda ultra ancha funcionan en una banda continua de frecuencias que puede utilizar varios GHz. Resulta que entre más corto sea el impulso, más amplio será el espectro de frecuencias que ocupará.

En virtud de que los impulsos uwb emplean las mismas frecuencias que los servicios de radio tradicionales, pueden interferir potencialmente con ellos. Las estaciones de chispa al vacío de Marconi usaban mucha potencia porque se necesitaban puentes que unieran grandes distancias. En el entorno regulador actual, los sistemas como el de Marconi serían intolerables debido a que interferirían con casi todo lo demás que hubiera en el aire. Los sistemas de comunicaciones de banda ultra ancha presentarían el mismo problema, pero operan deliberadamente en niveles de potencia tan bajos que emiten menos energía de radio promedio que las secadoras de cabello, los taladros eléctricos, las computadoras laptop y otros aparatos que irradian energía electromagnética como consecuencia. Esta salida de baja potencia significa que el alcance de la uwb está restringido claramente a distancias de 100 m o menos y generalmente a escasos 10 m. Para esquemas de modulación apropiados, la interferencia de los transmisores uwb generalmente es benigna, ya que los niveles de energía de los impulsos simplemente son muy bajos para causar problemas.

Al igual que sucede con las emisiones de los aparatos domésticos, se espera que la energía irradiada promedio de los transmisores-receptores uwb sea tan baja que no represente un riesgo biológico para los usuarios. No obstante, se requieren más pruebas de laboratorio para confirmarlo completamente. Por ejemplo, un transmisor uwb de doscientos microwatts, irradia sólo un tres milésimo de la energía promedio emitida por un teléfono celular convencional de seiscientos milliwatts.

3.2.5. Esquemas de modulación de banda ancha y estrecha

Las técnicas de radio convencionales para banda estrecha se apoyan en una onda portadora base que se altera de una manera sistemática (modulada) para incluir un flujo de bites codificados. Las ondas portadoras pueden modificarse para incorporar datos digitales al variar su amplitud, frecuencia o fase.

La tecnología inalámbrica de banda ultra ancha no utiliza onda portadora subyacente para modular de alguna forma impulsos individuales. En un esquema de modulación bipolar, el dígito 1 se representa por un impulso positivo (cresta) y el 0 por uno invertido (valle). En otras palabras, los impulsos de amplitud completa están representados por los 1, mientras que los de amplitud media están representados por los 0. La modulación de posición del impulso envía impulsos idénticos pero altera el tiempo de transmisión. Los impulsos retrasados están indicados con 0. la tabla 3.2.5 señala las diferentes formas de modulación para las bandas estrecha y banda ancha.

Trasmisiones de banda estrecha	Trasmisiones de banda ancha
Modulación de frecuencia	Modulación bipolar
Modulación de amplitud	Modulación de amplitud
Modulación de fase	Modulación de posición del impulso

Tabla 3.2.5 Formas de modulación de banda ancha y banda estrecha.

¿Por qué los impulsos cortos implican bandas de frecuencia amplia?

A diferencia de los sistemas de comunicaciones tradicionales, el inalámbrico de banda ultra ancha ocupa una extensa gama de frecuencias con niveles de energía muy bajos, por lo general debajo del nivel de ruido del entorno de señalización existente.

El 14 de febrero, la Comisión Federal de Comunicaciones aprobó el uso de la uwb estipulando ciertas condiciones, después de casi dos años de señalamientos de las partes interesadas. La mayoría de las más de novecientas observaciones a la resolución propuesta se refería a si la uwb podría interferir con servicios existentes como los gps, las comunicaciones de defensa y radar, y los servicios de teléfonos celulares.

Siguiendo un enfoque conservador, los funcionarios federales encargados de regular eligieron permitir aplicaciones de comunicaciones uwb, con límites a la capacidad de energía de "radiación incidental" total de 3.1 y 10.6 GHz. Fuera de esa banda, las señales deben atenuarse doce decibeles, con 34 decibeles de atenuación requeridos en áreas cercanas a las bandas de frecuencia gps. Se permitieron restricciones más liberales para los cuerpos judiciales y para el

personal de seguridad pública que utiliza unidades uwb para buscar víctimas de terremotos o atentados terroristas.

A pesar de las limitaciones impuestas, las empresas que desarrollan uwb tienen confianza en que la tecnología inalámbrica será capaz de lograr la mayor parte de las transferencias de información para las que fue creada. Los funcionarios de la fcc señalaron que considerarán disminuir las restricciones una vez que hayan obtenido experiencia operativa y realizado más estudios.

Irónicamente, el problema técnico más desafiante parece encontrar formas de evitar que otros emisores interfieran con los dispositivos uwb. Ésta es una de las áreas en las cuales los sistemas de banda estrecha tienen una ventaja decisiva, todos éstos se equipan con un filtro frontal, el cual impide que los transmisores que operan fuera de sus bandas de recepción causen problemas. Lamentablemente, un receptor uwb necesita tener un filtro frontal abierto de banda ancha que deje pasar un amplio espectro de frecuencias, incluyendo señales que pueden causar interferencia. La capacidad de un receptor uwb para vencer este impedimento, a veces llamada resistencia de interferencia, es un atributo clave en el diseño de un buen receptor. Un método para mejorar la resistencia de interferencia es instalar los llamados filtros de muesca, que atenúan estas partes estrechas del espectro donde se sabe que la interferencia es probable. Otra medida de protección que se ha desarrollado es usar filtros de muesca que busquen y disminuyan las señales de interferencia de banda estrecha particularmente fuertes.

3.2.7. Muchas rutas a tomar

La interferencia multitrayectoria, que es otro tipo de interferencia de radio, representa un problema más. En algunas situaciones, la misma señal de banda estrecha puede ser reflejada por los objetos circundantes en dos o más trayectorias distintas, de modo que las señales reflejadas llegan al receptor desfasado y en ocasiones prácticamente cancelándose una a otra. La mayoría de nosotros ha experimentado problemas de multitrayectoria al escuchar la radio fm en el automóvil. Por ejemplo, cuando un auto se detiene en un semáforo, la señal repentinamente puede volverse ruidosa y distorsionarse. Sin embargo, al avanzar 1 ó 2 m, por lo general la sincronización relativa de la señal recibida se altera lo suficiente como para restablecer una recepción clara.

Las múltiples señales causadas por las reflexiones también podrían ser una desventaja para las unidades inalámbricas uwb, pero un diseño inteligente puede permitirles aprovechar este fenómeno. Los impulsos estrechos de uwb hacen posible que algunos receptores resuelvan los flujos separados de la multitrayectoria y utilicen varios "brazos" para captar las distintas señales reflejadas. Luego, casi en tiempo real, los brazos "votan" si el bit recibido es uno o

ceros. Esta función de verificación de bits en realidad mejora el desempeño del receptor.

Un transmisor uwb de doscientos microwatts, irradia sólo un tres milésimo de la energía promedio emitida por un teléfono celular convencional de seiscientos miliwatts.

3.2.8. Bajo y corto

La tendencia actual de enviar señales de baja energía en intervalos más cortos ocurrió previamente en las comunicaciones inalámbricas, durante los primeros días de la telefonía por radio. Antes de 1980, una sola torre con un transmisor de alta potencia podía abarcar toda una ciudad, pero la limitada disponibilidad de espectro significaba que no serviría a muchos clientes. En 1976, los proveedores de teléfonos por radio de la ciudad de Nueva York podían manejar sólo 545 teléfonos móviles de clientes al mismo tiempo, un número absurdamente pequeño para las normas actuales. La telefonía celular fue capaz de alojar un mayor número de clientes al reducir drásticamente tanto energía como distancia, permitiendo reutilizar el mismo espectro dentro de un área geográfica. Ahora los inalámbricos de corto alcance, en particular los uwb, están listos para hacer lo mismo.

Sin embargo, antes de 1920, la "chispa lo era todo", como seguramente algunos recuerdan. Con la ayuda de los semiconductores e Internet, el sucesor actual de la radio de chispa al vacío, la tecnología uwb, quizá pronto emerja como el principal bloque de construcciones inalámbricas para avanzadas comunicaciones de información a alta velocidad.

4.- REDES DE ÁREA LOCAL INALÁMBRICAS (WLAN) 802.11 Wi-Fi

4.1. El estándar 802.11

Como mencionamos antes en este capítulo, el estándar 802.11 IEEE debe ser observado con un grado adicional de detalle debido a que el estándar general 802.11 tiene un conjunto de variantes y, quizá más importante, porque es el estándar que ha capturado la atención de los proveedores principales de esta tecnología y disfruta por un amplio margen la mayor parte del mercado.

La tabla 4.1 proporciona un resumen de las versiones más comunes de este estándar, así como una descripción breve de cada una de ellas.

Estándar	Frecuencia Portadora	Velocidad de Datos	Resumen
802.11a	5.1-5.2 GHz 5.2-5.3 GHz 5.7-5.8 GHz	54 Mbps	La potencia máxima es 40 mW en la banda 5.1, 250 mW en la banda 5.2 y 800 mW en la banda 5.7 (en Estados Unidos)
802.11b	2.4-2.485 GHz	11 Mbps	Es el estándar que se vende más mientras escribíamos este libro
802.11d	N/O		Múltiples dominios reguladores
802.11e	N/O	N/O	Calidad de servicio
802.11f	N/O	N/O	Protocolo de conexión entre puntos de acceso (Inter-Access Point Protocol, IAPP, por sus siglas en inglés)
802.11g	2.4-2.485 GHz	36 o 54 Mbps	
802.11h	N/O	N/O	Selección dinámica, de frecuencia (Dynamic Frequency Selection, DFS, por sus siglas en inglés)
802.11i	N/O	N/O	Seguridad

Tabla 4.1. Tabla del estándar 802.11

El IEEE adoptó el estándar 802.11 IEEE en 1997 y se convirtió en el primer estándar WLAN. De acuerdo con el IEEE, 802.11 IEEE principalmente controla las Capas 1 y 2 de la pila de referencia OSI, las cuales son la capa física y la capa de enlace de datos (que con frecuencia se conoce como la capa de enlace), respectivamente.

4.2. La capa de Control de acceso a medios de 802.11

La capa MAC es un subconjunto de la capa de enlace, que a su vez es adyacente a la capa física en una red basada en IP. La Capa 1 en una red 802.11 realiza por lo menos tres funciones esenciales:

Funciona como la interfaz entre la capa MAC en dos o más ubicaciones geográficas. Estas ubicaciones normalmente sólo están a pocos cientos de pies o menos de distancia.

Realizan la detección real de los sucesos CSMA/CD, mismos que ocurren dentro de la capa MAC.

Efectúan la modulación y demodulación de la señal entre dos puntos geográficos en los que residen equipos 802.11. Este esquema de modulación puede ser DSSS o FHSS.

Más aún, el estándar 802.11 define una técnica de cambio de velocidad que permite a las redes reducir las velocidades de datos a medida que ocurren cambios en la distancia, calidad y fuerza de la señal. Las velocidades de datos de 802.11b IEEE pueden ser tan altas como 11 Mbps o tan bajas como 1 Mbps con modulación DSSS, en tanto que las velocidades de datos moduladas con FHSS pueden ser 1 02 Mbps. El estándar también permite la compatibilidad entre los radios 802.11a y 802.11b. La parte de una red 802.11a que usa equipos 802.11b dará como resultado velocidades de datos más lentas que las del estándar más viejo.

La capa MAC es una subcapa de la Capa 2 de la pila OSI y controla la conectividad de dos o más puntos a través de un esquema de direcciones. Cada computadora portátil o punto de acceso tiene una dirección MAC. El estándar 802.11 IEEE define la forma en que funciona esta asignación de direcciones además de la manera en que operan algunos aspectos de la Capa 1. Este estándar es parecido en muchos aspectos al estándar Ethernet que fue establecido por la misma entidad de estándares. De hecho, define lo siguiente:

Las funciones que se requieren en un dispositivo compatible con 802.11 para operar en una red de igual a igual integrado en una WLAN existente.

La operación del dispositivo 802.11 dentro del rango de otros dispositivos 802.11 y la forma en que la tarjeta cliente migraría físicamente de un punto de acceso al otro.

Servicios de control de acceso y entrega de datos al nivel MAC para las capas superiores de la pila de protocolos de red.

Varias técnicas de interfaz de señalamiento en la capa física.

Privacidad y seguridad en los datos del usuario que se transfieren a través del medio inalámbrico.

Lo que hace que una WLAN sea diferente de una LAN Ethernet es, obviamente, la capacidad de los usuarios de trasladarse de un punto de la red a otro y seguir conectados. Ésta es la característica más importante de una WLAN y es la que representa la mayor diferencia con una LAN Ethernet. La forma en la que opera MAC en 802.11 bajo este estándar es lo que permite que los niveles más altos de la pila OSI funcionen normalmente. En otras palabras, la capa MAC es la que controla los aspectos de movilidad de una red 802.11.

Es por esta razón que una capa MAC 802.11 está obligada a hacerse cargo de ciertas funcionalidades que normalmente son responsabilidad de capas más altas de la pila OSI, por ejemplo, la capa de sesión (Capa 5), que controla el inicio y la terminación de sesiones. En el estándar MAC 802.11, el flujo de información se realiza mediante un método del mejor esfuerzo, que también se conoce como sin conexión. Los enlaces sin conexión son en los que el extremo receptor del enlace no verifica la recepción de los datos con el enlace transmisor. La técnica que usa la capa MAC se conoce como Accesos múltiples de sensor de portadora con detección de colisiones (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, CSMA/CD, por sus siglas en inglés) que es una técnica que requiere que el transmisor "escuche" lo que ocurre en el entorno local, para asegurarse de que no existen otras transmisiones en la frecuencia que tiene asignada. La detección real se efectúa en la Capa 1, pero el control del tiempo para las transmisiones se controla en la capa MAC.

CSMA/CD es un protocolo que tiene como propósito resolver los conflictos de transmisión. Como afirmamos, el transmisor determinará si existe una transmisión en la frecuencia asignada de un punto de acceso o adaptador cliente. Cuando una transmisión está en progreso, el punto de acceso o puente esperará un periodo específico, después del cual determinará si el canal de radio está desocupado o no. Los radios están programados de manera que es aleatorio el tiempo entre los intentos para determinar si un canal de radio en particular está disponible. Se emplearon algunas estadísticas simples para establecer que la probabilidad más alta de que un canal esté en uso, es justo después de que un intento de transmisión fue detenido debido a que el canal de radio estaba siendo usado por otro transmisor. Es por esta razón que el tiempo entre los intentos para transmitir tiene un ritmo aleatorio. La cantidad de tiempo entre la repetición de intentos con frecuencia se conoce como tiempo de retroceso.

Sin embargo, en la mayor parte de los sistemas 802.11 el tiempo de retroceso disminuye de manera uniforme hasta que el transmisor determina que existe un canal abierto. Al hacer que el tiempo disminuya uniformemente con

periodos distintos, una WLAN obtiene eficiencia. Es fácil entender que la eficiencia de una red resultará afectada cuando todos los radios en un canal común tengan que esperar un periodo que cada vez es más largo. Al provocar que los radios intenten detectar el canal durante un tiempo que cada vez es más extenso, aunque estén seleccionados en forma aleatoria, los radios que esperan iniciar el tráfico de transmisión tendrán que esperar la menor cantidad de tiempo.

En una arquitectura del mejor esfuerzo, es posible que no exista alguna garantía de que los datos que se envían podrán recibirse de manera exitosa. Algo que hace el sistema 802.11 para ayudar a asegurar la recepción exitosa de información es enviar la información de manera repetida, lo que se conoce como repiqueteo.

Otra función que proporciona una capa MAC 802.11 es la de seguridad, la que normalmente se controla en la capa de presentación (Capa 6). La medida de seguridad compatible con este estándar es la Privacidad equivalente al cableado (WEP, por sus siglas en inglés) que es un método para manejar claves y cifrar los datos. Consulte el capítulo 11 en cuanto a seguridad para obtener más información acerca de WEP.

4.3. 802.11b VS. 802.11a

En la actualidad, existen dos tipos de productos RF de velocidad alta que cubren las especificaciones 802.11, de acuerdo con la ratificación del IEEE. Éstos son 802.11b y 802.11a. La tecnología 802.11g aún está en desarrollo y es posible que no será ratificada sino hasta el segundo trimestre de 2003. En tanto que las especificaciones 802.11a y 802.11b fueron ratificadas por el IEEE el mismo día en septiembre de 1999, los productos que usan la tecnología 802.11b aparecieron en el mercado muchos años antes de las especificaciones 802.11a y la futura (en el momento en que se escribía este libro) 802.11g. La tabla 4.3.1. ilustra las principales diferencias entre las tres tecnologías.

4.3.1. Puntos resumidos de 802.11a

Los siguientes puntos importantes deben ser considerados en la amplitud de las cuestiones relacionadas con los aspectos implicados con los estándares publicados por el IEEE:

La Multiplexión de división de frecuencia ortogonal (OFDM)

Las velocidades de datos soportadas: 54, 48, 36, 24, 12 y 6 Mbps

Pueden "descender" a velocidades de datos más bajas para un rango más largo

Tendrán un promedio de capacidad de salida más grande en un despliegue de estándares mixtos (11b y 11g) que 802.11g, debido a que 802.11a no aplica requerimientos de compatibilidad con productos anteriores

En la actualidad, sólo está probado para el uso AP interno en algunos países: Canadá, Dinamarca, Francia, Japón, Nueva Zelanda, Singapur, Suecia, Taiwán, Reino Unido y Estados Unidos

El trabajo consideró la operación UNII-I en algunos países europeos

	802.11b	802.11g	802.11a
Frecuencia	2.4 GHz	2.4 GHz	5.7 GHz
OFDM	No	Sí	Sí
Ninguna línea de transmisión	No	No	No
Velocidades de datos	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps
Número de canales que no se traslapan	3	3	12

Tabla 4.3.1. propiedades de las 802.11

Esfuerzos separados para permitir que la banda de 5.47 -5.725 GHz se pudiera usar en Estados Unidos y otros países, pero de alguna manera es incierto dado que el ejército estadounidense expresó su interés por retener este espectro

A largo plazo: El uso mundial. mediante la adopción del Control de potencial de transmisión (Transmit Power Protocol, TPC, por sus siglas en inglés) y la Selección dinámica de frecuencia (DFS) por el estándar 802.11h

La banda de 5 GHz sujeta a menos interferencia de los canales que la banda ISM de 2.4 GHz debido a que en la actualidad existen menos dispositivos, como los teléfonos inalámbricos, en el mismo espectro

4.4. Modulación

Cualquier señal que se puede traducir en una onda eléctrica, como audio, video o datos, se puede modular y enviar a través del aire. Los datos, por ejemplo, el correo electrónico, son los más fáciles de modular de manera confiable, mientras que el video junto con la voz conllevan la dificultad más alta para retener la fidelidad de la fuente original.

La modulación es la técnica de convertir los bits en algo que se transmite a través de la frecuencia portadora de la onda y a través del aire. La frecuencia portadora de la onda no tiene inteligencia; los datos modulados contienen la inteligencia (datos) entre dos puntos. La frecuencia portadora de la onda de un

radio 802.11b y 802.11g es de 2.4 GHz a 2.485 GHz en Estados Unidos. No existen menos de tres rangos de frecuencias portadoras de ondas en Estados Unidos para el estándar Ha, los cuales son 5.125 GHz a 5.225 GHz, 5.325 GHz a 5.425 GHz y 5.785 GHz a 5.825 GHz.

El propósito de los sistemas RF comerciales es transportar ondas de energía moduladas -es decir, información-. Al principio de esta sección dijimos qué los cambios en la amplitud, frecuencia o fase son los que permiten que los datos residan en una onda de energía radiada. La modulación es la diferencia entre una señal RF estable (una señal que no sufre cambios, que se conoce como un tono de onda continua (Continuous Wave, CW, por sus siglas en inglés)) y una que transporta información.

La selección de los esquemas de modulación se basa de alguna manera en la relación entre la maximización del ancho de banda a través de una alta eficiencia espectral y la pérdida de bits provocada por la complejidad del esquema. Además, en general, mientras sea mejor la eficiencia espectral será peor la eficiencia de la potencia, y viceversa. Los sistemas más simples, como la modulación de fase por desplazamiento (Phase-Shift Keying, PSK, por sus siglas en inglés), son muy sólidos y fáciles de implementar debido a que usan velocidades lentas de datos. En la modulación PSK, la forma de la onda no se modifica en la amplitud o la frecuencia, sino en la fase. La fase se puede considerar como un cambio en el tiempo.

Con las frecuencias más bajas (por ejemplo, 2.4 GHz), la selección de un esquema de modulación es muy importante debido a que, en forma inherente, existe menos ancho de banda en general con el que se puede trabajar que con el de frecuencias más altas, como las que usa LMDS (28 GHz en Estados Unidos). El término adecuado que se relaciona con este fundamento es la eficiencia espectral; es decir, la forma en que es posible obtener el máximo del ancho de banda disponible. El término más común que se usa para la eficiencia espectral son los bits por hertz.

Existen muchos esquemas de modulación disponibles y es necesario tomar en cuenta más de un aspecto cuando se consideran los fundamentos de RF. La densidad espectral, por ejemplo, es una de las medidas principales para evaluar el desempeño de los enlaces RF. Este término se refiere a la cantidad de bits que se envían por cada onda senoidal completa o, en otras palabras, un ciclo de antena completa. Para ser más específicos, si un transmisor debe enviar datos a 1 Hz, se alcanzará una onda senoidal completa por segundo; si se quiere transmitir a 1 GHz, tendrían que cumplirse mil millones de ondas senoidales completas en el mismo intervalo, y así sucesivamente.

La densidad espectral depende ampliamente del esquema de modulación seleccionado. Esta sección ayudará al lector comprender las ventajas y

desventajas de los distintos esquemas de modulación, así como los riesgos que se asocian con el uso de los diferentes esquemas.

4.5. Esquemas de Modulación

El objetivo de un esquema de modulación es el de transformar unos y ceros en ondas que se puedan transmitir y recibir por la frecuencia portadora de la onda de un enlace de radio. El término frecuencia portadora de la onda se ha empleado en este libro, y a pesar de que en esencia no está relacionado con el tema de los esquemas de modulación, es posible que sea apropiado usar una analogía para entender mejor lo que significa. Si usted estuviera usando una impresora, la frecuencia portadora de la onda sería el papel y la información modulada serían las letras en el papel. En otras palabras, la frecuencia portadora de la onda no transporta por sí misma la información, sino que ésta viaja a través de la frecuencia portadora, de ahí el significado del término.

Para simplificar aún más, si pudiera observar desde muy cerca la onda senoidal de una frecuencia de 2.4 GHz que saliera de una antena que usa un radio 802.11b, podría ver que mientras la forma general de la onda senoidal es tal que una onda senoidal completa saldría de la antena a la velocidad de una cada 0.0000002485 segundos, una inspección cercana mediante un osciloscopio revelarían que la forma real de la onda senoidal reflejaría cambios en la amplitud si la información estuviera codificada en AM, cambios en la fase si la información estuviera codificada en PM, o incluso existirían cambios en la frecuencia junto con la onda senoidal si la información estuviera codificada en FM.

Por tanto, la modulación es la técnica de transformar los bits en algo que pueda transportarse por la frecuencia portadora de la onda a través del aire. De acuerdo con esto, el lector ahora puede entender que la frecuencia portadora de la onda no es inteligente; en lugar de esto, es la información la que está modulada dentro de la frecuencia portadora de la onda que contiene la información.

En las frecuencias más bajas, por ejemplo, el espectro de 2.4 GHz que usa 802.11, la selección del esquema de modulación es muy importante debido a que, inherentemente, existe un ancho de banda más pequeño con el que es posible trabajar respecto a las frecuencias más altas como LMDS (28 GHz en Estados Unidos). El término adecuado que representa a este fundamento es la eficiencia espectral -la forma de obtener el uso más eficiente del ancho de banda disponible.

Existen muchos esquemas de modulación distintos; la tabla 4.5.1 contiene una lista parcial.

Todos los esquemas que se muestran en la tabla 4.5 están relacionados con uno de los tres tipos más importantes de modulación:

Modulación de amplitud: La potencia de salida del transmisor es variable, mientras que la frecuencia y la fase de la onda senoidal permanecen constantes.

Modulación de frecuencia: La potencia de salida y fase permanecen constantes en tanto que la frecuencia varía de acuerdo con un rango pequeño.

Modulación de fase: La amplitud y la frecuencia permanecen constantes, pero la fase dentro de la frecuencia portadora de la onda cambia respecto a un rango pequeño. En general, los esquemas de modulación más comunes que se usan para los radios actualmente son BFSK (que se conoce más frecuentemente como FSK), Modulación de fase por desplazamiento binario (Binary Phase Shift Keying, BPSK, por sus siglas en inglés), QPSK y QAM.

Simbolo	Esquema de modulación
AM	Modulación de amplitud
FM	Modulación de frecuencia
SSB	Banda lateral única
PM	Modulación de fase
CCK	Modulación por codificación complementaria
CW	Onda continua (telegrafía)
PCM	Modulación por codificación de pulsos
VSB	Banda lateral residual
BMAC	Componentes analógicos de multiplexión de ondas tipo B
OAM	Modulación de amplitud del cuadrante
DSSS	Espectro extendido de secuencia directa
FHSS	Espectro extendido de salto de frecuencia
BFSK	Modulación de frecuencia por desplazamiento binario
PBCC	Codificación compleja de paquetes binario
OPSK	Modulación de fase por desplazamiento en cuadrante

Tabla 4.5.1. Distintos esquemas de modulación

El usuario debe observar que existen muchos otros tipos de modulación, sin-embargo, éstos se relacionan con los esquemas de modulación de amplitud, fase o frecuencia. Cada uno de estos esquemas de modulación representa un incremento en la complejidad del esquema precedente, desde BFSK hasta varios niveles de QAM. BFSK enviará un "uno" a través de una frecuencia y un "cero" por medio de otra frecuencia. BPSK enviará dos estados, un "uno" con una fase y un "cero" a través de otra fase.

QPSK se vuelve más completo y tiene cuatro estados para representar ya sea un 00, 01, 11 o 10, cuatro estados de fase, y todos mantienen la onda portadora con la misma amplitud y frecuencia. La figura 4.5.1. muestra la "constelación", que es un conjunto de combinaciones máximas que se permite entre la fase y la amplitud.

Donde la modulación se vuelve compleja es con la modulación de amplitud del cuadrante (Quadrature Amplitude Modulation, QAM, por sus siglas en inglés), una técnica que modula la frecuencia portadora de la onda tanto en su fase como en la amplitud (cuando se usan los portadores senoidales y cosenoidales que tienen una diferencia de 90 grados).

La tabla 4.5.2. ilustra que a medida que el número de bits se incrementa de manera lineal, el número de combinaciones de fase/amplitud crece exponencialmente, lo que proporciona una densidad espectral muy alta, incluso en 64 QAM.

Combinaciones de Amplitud Fase	Bits por Onda Senoidal
16 QAM	4
32 QAM	5
64 QAM	6
128 QAM	7
256 QAM	8

Tabla 4.5.2. Relación de QAM respecto a los bits por onda senoidal

Esto significa que cuando dos valores de amplitud se transportan por medio de una sola frecuencia portadora de onda, el enlace puede llevar 2 bits a diferencia de 1 bit, por tanto tiene una densidad espectral más alta, lo que significa que se transporta más información en relación con una carga de energía determinada (onda senoidal o grupos de ondas senoidales) desde el transmisor. En palabras simples, la frecuencia dentro de la portadora no cambia, pero la cantidad de los datos que se transmiten crece a medida que la complejidad de la modulación aumenta. Esto no ocurre sin crear costos adicionales. A medida que aumenta la complejidad de la modulación, también lo hace la probabilidad de que ocurra un error en la transmisión. Los errores en la transmisión significan la falla de malinterpretar un uno por un cero, o no ser capaz de descifrar la energía como un uno o cero en la parte receptora. La medida para la cantidad relativa de errores se conoce como el radio de errores de bit (Bit Error Ratio, BER, por sus siglas en inglés), que es la proporción de los bits que no se pueden usar respecto a los bits que pueden ser demodulados.

Mientras más sensible sea el tráfico a la latencia, como el de voz y de video, más pequeña tiene que ser la tasa de errores de bits. Los sistemas de tecnología de punta observarán BER de aproximadamente 1×10^{-6} a 1×10^{-8} . Los enlaces de datos pueden funcionar de manera satisfactoria con BER de 1×10^{-3} a 1×10^{-6} . Esto significa que un bit en 108 será un error.

La calidad del equipo se convierte en algo muy importante cuando se usan los esquemas de modulación más exóticos. La calidad del equipo no sólo se refiere a la calidad en la fabricación sino que, de manera más específica, también a la calidad inherente al diseño.

Existen diversas ventajas y desventajas que se deben considerar cuando se decide cuál es el esquema de modulación más apropiado para un entorno determinado, aunque dentro del estándar 802.11 existen algunas provisiones para la negociación de velocidad automática, que ocurre cuando los radios automáticamente cambian a una modulación menos compleja y técnicas de propagación con el fin de mantener niveles más altos de robustez.

Las frecuencias más altas o distancias más extensas tienden a favorecer las modulaciones menos complejas. Las señales bajas en enlaces con ruido y esquemas de modulación más simples generalmente funcionan mejor y casi siempre tienen un BER más bajo, si se toma en cuenta que todo lo demás es relativamente igual. La desventaja de esta simplicidad es que ofrece una capacidad de salida más baja.

En la actualidad, una variedad de esquemas de modulación QAM son comunes. En el mundo inalámbrico, fluctúan desde 16 QAM para el estándar 802.11a y el propuesto 802.11g, hasta 64 QAM que se usan en los enlaces inalámbricos fijos. Hoy en día, 64 QAM es más común para el Servicio de distribución de multicanales y multipunto (Multichannel Multipoint Distribution Service, MMDS, por sus siglas en inglés) y los productos de banda U-NII, en tanto que las técnicas de espectro extendido, por ejemplo, FHSS y DSSS son comunes para los productos WLAN, en particular para las soluciones compatibles con 802.11b IEEE.

En la actualidad, 64 QAM tiene una densidad espectral que sigue la tendencia de las transmisiones. Por lo común proporciona la mejor relación con la capacidad para enviar una cantidad más grande de tráfico a través de una frecuencia portadora de la onda, sin incurrir en demasiados costos, complejidad y demora en el tiempo para el procesamiento, aunque los radios que usan esta técnica de modulación -ninguno de las cuales forman parte del estándar 802.11- requieren de cantidades muy altas de poder de procesamiento en el transmisor y el receptor. A través del tiempo, QAM se moverá, por supuesto, más allá de 256 QAM a medida que los equipos de desarrollo mejoren la estabilidad y reduzcan los costos de este tipo de sistema. El desarrollo de los radios 128 QAM y superiores está en marcha en este momento, pero una vez más, pasará mucho tiempo, si es que ocurre, para que un radio basado en los estándares 802.11 use este tipo de modulación.

En los entornos cableados, se están probando los niveles QAM de hasta 1024, pero pasarán muchos años antes de que la calidad de los componentes sea la adecuada para crear un nivel ultra-alto de QAM, que sea efectivo en costos

dentro del mundo de 802.11. La densidad espectral es especialmente importante en las bandas que no requieren licencia, por ejemplo, U-NII en Estados Unidos, donde sólo están asignados 100 MHz del espectro y, en general, todas las frecuencias portadoras de la onda inferiores a 26 GHz necesitan esquemas de modulación con una densidad espectral mayor, debido a que regularmente no cuentan con un espectro como el que se encuentra en las frecuencias de 26 GHz y superiores. La tabla 4.5.3 ilustra la cantidad de espectro que está asignada en Estados / Unidos para tres de las bandas más comunes.

El concepto de ciclos por bit conduce al concepto de símbolo, el cual es una señal única identificable que contiene un número de bits específico, determinado por la complejidad de la modulación. Los símbolos individuales se distinguen por atributos, por ejemplo, duración, amplitud, frecuencia o fase. El número de bits por símbolo es uno de los métodos más comunes para determinar la densidad espectral. Cuatro o más bits por símbolo por lo común se considerarían altamente eficientes en cuanto al espectro, mientras que uno o dos bits por símbolo serán menos eficientes en cuanto al espectro a pesar de proporcionar un buen servicio.

A final de cuentas, la selección de un esquema de modulación está basada más o menos en la relación entre maximizar el ancho de banda y crear una resistencia adecuada a la interferencia. Existe una distinción muy real entre los equipos de ingeniería de alto nivel, cuyo principal objetivo es desarrollar una línea de productos 802.11 de alto desempeño, y las compañías que apenas inician y que en realidad proporcionan un enlace 802.11 pero tienden a ser mucho menos sofisticadas en sus enfoques, en especial cuando se consideran aspectos como la seguridad, la redundancia y la resistencia a la interferencia. Los ingenieros eléctricos más experimentados pueden crear algún tipo de enlace RF entre dos dispositivos, pero se requiere de un esfuerzo muy complicado para producir enlaces de radio 802.11 que puedan ser comerciales. Ahora más que nunca, la radiodifusión 802.11 debe considerarse como un elemento de las redes, a diferencia de considerarse un sistema de radiodifusión que está adaptado a la parte Ethernet de la red.

1SM (2.4 GHz) 802.11 b/g	83.5 MHz
U-NII 802.11 ^a	300 MHz

Tabla 4.5.3 Asignación del espectro para 802.11b/a/g en Estados Unidos

4.6.1. Técnicas de propagación

Uno de los errores más comunes que encontramos cuando surgen discusiones en torno a los radios es la confusión que aparece entre las técnicas de modulación y propagación. La diferencia entre una técnica de modulación y una de propagación es que una técnica de propagación distribuye la información a través de una variedad de canales, en tanto que una técnica de modulación modula la información a través de cada uno de los canales. El Espectro extendido de secuencia directa (DSSS), el Espectro extendido de saltos de frecuencia: (FHSS), el Acceso multiplexado de división de código (CDMA) y la Multiplexión por división ortogonal de frecuencia (OFDM) son ejemplos de técnicas de propagación. La multiplexión por división ortogonal de frecuencia codificada (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing, COFDM, por sus siglas en inglés) es la técnica de propagación que se usa en 802.11a y 802.11g.

4.6.2. Espectro extendido de secuencia directa y espectro extendido de salto de frecuencia

Los productos 802.11 usan técnicas de espectro extendido. Para operar legalmente en el espectro ISM de 2.4 GHz en Estados Unidos y muchos otros países, se debe usar un tipo de propagación de señales. Existen dos tipos de espectro extendido disponibles para 802.11 y 802.11b: el espectro extendido de secuencia directa (DSSS) y el espectro extendido de saltos de frecuencia (FHSS). Normalmente DSSS tiene un desempeño mejor, en tanto que FHSS por lo general es más resistente a la interferencia. Aunque OFDM es una técnica para propagar la señal a través de un ancho de banda determinado, no es, por definición, una técnica de espectro extendido. 802.11a y 802.11g usan OFDM como su técnica de propagación.

Una analogía que se usa frecuentemente para entender el concepto de propagación de señales (espectro extendido) es la de las series de trenes que parten de una estación. La carga se distribuye en forma relativamente igual entre los trenes, los cuales, todos ellos, parten al mismo tiempo. Las duplicaciones de la carga son comunes en el espectro extendido de modo que cuando lleguen datos corrompidos de manera excesiva, o no logren llegar al destino, las redundancias inherentes a esta arquitectura proporcionen un enlace de datos más sólido.

Mediante DSSS, todos los trenes parten en un orden que comienza con el Tren 1 y termina con el Tren N, dependiendo de la cantidad de canales que asigne el sistema de espectro extendido. En la arquitectura DSSS, los trenes siempre parten en el mismo orden, aunque la cantidad de vías de ferrocarril puede estar dentro de los cientos o incluso los miles.

Con la arquitectura FHSS, los trenes salen en un orden diferente; es decir, no en secuencia desde el Tren 1 hasta el Tren N. En el mejor de los sistemas FHSS, los trenes que experimentan una interferencia no se envían de nuevo hasta que la interferencia desaparece. En los sistemas FHSS, ciertas frecuencias (canales) se evitan hasta que desaparece la interferencia.

La interferencia tiende a cubrir más de un canal a la vez. Por tanto, los sistemas DSSS tienden a perder más datos debido a la interferencia, ya que la información se envía a través de canales secuenciales. Los sistemas FHSS "saltan" entre los canales con un orden no secuencial. El mejor de los sistemas FHSS ajusta la selección de los canales, de manera que los canales con interferencia alta se evitan cuando se mide en ellos tasas de bits excesivamente bajas. Cualquiera de los enfoques es apropiado, y la selección depende de los requerimientos del cliente. El criterio de selección se involucra principalmente con la existencia de trayectorias múltiples o la interferencia en un entorno RF.

4.7. Multiplexión por división ortogonal de frecuencia (OFDM)

Antes de examinar OFDM, un método que se usa en los radios 802.11a y 802.11g, debemos considerar el concepto de división de la frecuencia. Dentro de un sistema de multiplexión por división de frecuencia (FDM), el ancho de banda disponible se divide en múltiples portadores de datos. Luego, los datos que se van a transmitir se dividen entre estos subportadores. Debido a que cada portador se considera independiente de los otros, la frecuencia de una banda de protección debe estar colocada en torno a ella, lo que es otra forma de decir que no se pueden transportar los datos sobre una frecuencia adyacente. Esta banda de protección disminuye la eficiencia del ancho de banda.

En algunos de los sistemas FDM, hasta 50 por ciento del ancho de banda disponible se usa para las bandas de protección, lo que les impide transportar datos. En la mayor parte de los sistemas FDM, se asignan usuarios individuales a subportadores específicos; por tanto, su velocidad de salida no puede exceder la capacidad del subportador. Si algunos de los subportadores están inactivos, sus anchos de banda no se pueden compartir con otros subportadores.

En la multiplexión por división ortogonal de frecuencia (OFDM), se usan múltiples frecuencias portadoras de la onda (o tonos) para dividir los datos a lo largo del espectro disponible, de modo similar a FDM. Sin embargo, en un sistema OFDM, se considera que cada tono es ortogonal (independiente o sin relaciones) a los tonos adyacentes.

Otra diferencia importante entre OFDM, DSSS y FHSS es que no obstante que cada uno de los canales envía energía en forma secuencial en FHSS y DSSS, dentro de OFDM, toda la energía se envía a lo largo de todos los canales al mismo tiempo.

Como se muestra en la figura 4.7.1., cada tono es un entero (un número completo) de frecuencia apartada de la frecuencia adyacente y, por tanto, no se requiere una banda de protección alrededor de cada tono.

Debido a que OFDM sólo requiere de bandas de protección en torno a un conjunto de tonos, tiene una eficiencia espectral más alta que FDM. Puede observar la forma en que esto funciona en la figura 4.7.2.

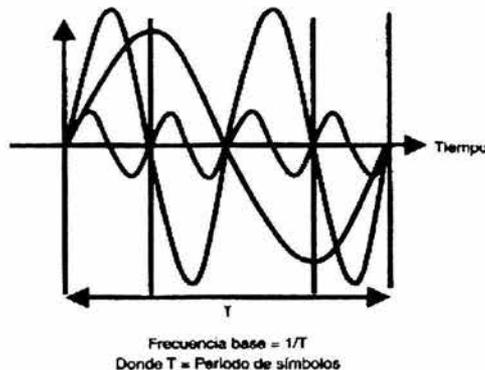


Figura 4.7.1 un entero completo por símbolo

Debido a que OFDM está compuesto de muchos tonos de banda angosta, la interferencia de banda angosta sólo degradará una parte pequeña de la señal y no tiene ningún efecto, o sólo un poco, en el resto de los componentes de la frecuencia.

Los sistemas OFDM usan estallidos de datos para minimizar el ISI causado por la demora en la propagación. Los datos se transmiten mediante estallidos, y cada uno de éstos está compuesto de un prefijo cíclico seguido por símbolos de datos. Por ejemplo, una señal OFDM que ocupa 6 MHz está compuesta de 512 portadores individuales (o tonos), cada uno de los cuales transporta un solo símbolo QAM por estallido. Como muestra la figura 4.7.3. el prefijo cíclico se usa para absorber las señales que llegan tarde debido a las trayectorias múltiples (flotantes) de estallidos anteriores. Sesenta y cuatro símbolos adicionales se transmiten para el prefijo cíclico. Para cada periodo de símbolos, se transmiten un total de 576 símbolos, mediante sólo 512 símbolos QAM únicos por estallido.

En general, cuando el prefijo cíclico ha terminado, la forma de onda resultante, creada por la combinación de las señales de trayectorias múltiples, no es una función de ninguna de las muestras del estallido previo, por tanto, no existe ISI. El prefijo cíclico debe ser más grande que la propagación demorada de las señales de trayectorias múltiples. En un sistema de 6 MHz, la velocidad de muestra individual es de $0.16 \mu\text{s}$. Por tanto, el tiempo total para el prefijo cíclico es $10.24 \mu\text{s}$, lo que es mayor a los $4 \mu\text{s}$ anticipados por el retraso en la propagación.

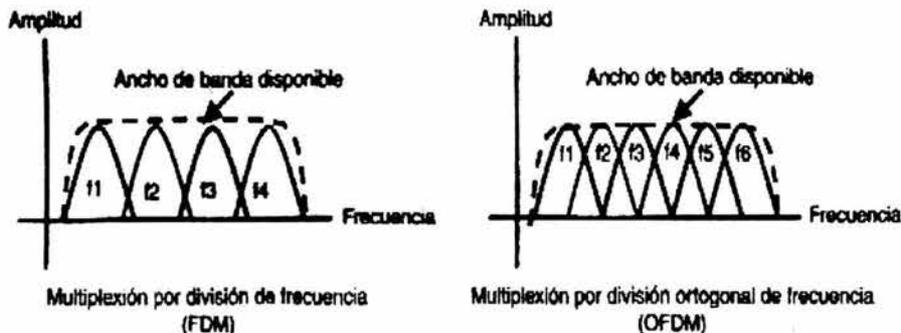


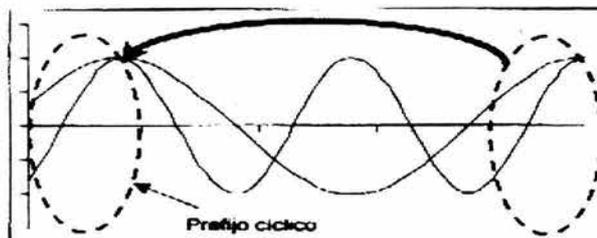
Figura 4.7.2. bandas de protección OFDM contra FDM

Algunos sistemas OFDM sólo usan QPSK para el esquema de modulación. Cuando se usan 16 QAM o 64 QAM, se incrementa de manera significativa la cantidad de datos transmitidos.

Además de la aplicación de los principios estándar de OFDM, el uso de la diversidad espacial puede incrementar la tolerancia al ruido, interferencias y trayectorias múltiples del sistema. Otra forma de visualizar esto es pensando en una segunda antena. Suponga que detiene su automóvil cuando el semáforo está en rojo y la emisión de la radio se queda estática. Para volver a obtener la señal, mueva el automóvil hacia adelante algunas cuantas pulgadas o algunos pies, lo que vuelve a ubicar la antena fuera de la interferencia o punto nulo en el área de recepción local.

Esto se conoce como VOFDM, donde la V significa "vector" y simplemente quiere decir que una segunda antena está en línea junto con la antena principal; no se refiere a un movimiento dinámico de la antena principal o la secundaria.

- Cada tono transporta información en amplitud y fase.



- Los prefijos cíclicos se agregan para permitir la propagación con retraso.

- Los tonos en el receptor son puramente periódicos después de los datos del prefijo cíclico.

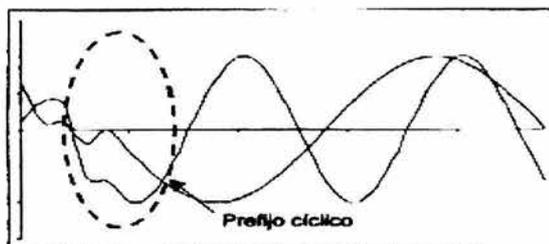


Figura 4.7.3. el prefijo cíclico de OFDM

Este capítulo discute lo que se conoce como la Capa 1 o la capa física, de acuerdo con la pila de referencia OSI. Cubrirá la parte "física" del radio; en otras palabras, la parte del radio que puede tocar con sus manos. Revisaremos algunos conceptos básicos acerca del radio y más específicamente, en torno a los fundamentos de los radios 802.11, además de los esquemas de modulación más comunes que se usan en la actualidad; también revisaremos la capa Control de acceso a medios de los radios 802.11 actuales. Concluiremos este capítulo con una revisión general de las antenas, la forma en que funcionan y los tipos que se usan con mayor frecuencia en las redes 802.11, además de las características que diferencian una de la otra

4.8. LA CAPA FÍSICA RF: CAPA 1

Nosotros asignamos una importancia esencial al concepto de que el equipo WLAN actual sea considerado como elementos de red y no simplemente radios. De acuerdo con esta premisa, es adecuado revisar el radio tanto en la Capa 1, o elemento de capa física (Physical Layer, PHY), y por lo menos uno de los dos subconjuntos de la Capa 2, conocido como el control de acceso a medios, o Capa MAC (Media Access Control, por sus siglas en inglés) de la pila de referencia OSI.

A modo de recordatorio, OSI (Open Systems Interconnection, por sus siglas en inglés) significa "Sistemas abiertos de interconexión" y su modelo de referencia es un modelo de arquitectura de red que se acepta en todo el mundo. Este modelo está formado por siete capas, cada una de las cuales sirve para funciones de red particulares, como direccionamiento, control de flujo, control de errores, cifrado y transferencia confiable de mensajes. La capa más baja, Capa 1 (también conocida como LI) es la que está más cerca de la tecnología de medios, que en este caso sería el radio, y representa el tema de este capítulo. Las dos capas OSI inferiores (Capa 1 y Capa 2) están implementadas en el hardware y software, mientras que las cinco capas superiores sólo se implementan en el software. La capa más alta (la capa de aplicación) es la más cercana al usuario. El modelo de referencia OSI se usa universalmente como un método para enseñar y entender la funcionalidad de las redes.

4.9. Los elementos fundamentales del radio

Los radios que se usan en 802.11 integran tres elementos principales, sin importar si el dispositivo es un punto de acceso (Access Point, AP, por sus siglas en inglés), un dispositivo PCMCIA, un puente u otro dispositivo similar:

Radio Genera y recibe energía, la cual se envía y recibe desde una antena.

Capa de Control de acceso a medios (MAC) La capa que controla el flujo de paquetes entre dos o más puntos de una red.

Antena Están disponibles dentro de una amplia variedad de configuraciones, tamaños y niveles de desempeño.

Ésta es una explicación muy simplificada, pero es suficiente en este momento y nos permitirá enfocarnos en los elementos básicos de un dispositivo 802.11

4.10. El radio

Debe recordar que en el capítulo anterior afirmamos que la energía electromagnética está presente en todo el planeta, y de hecho en el universo, además forma una parte intrínseca de cualquier sistema eléctrico. Todos los sistemas o dispositivos eléctricos que transportan electricidad tienen un campo electromagnético y viceversa. Recuerde también que la medida del electromagnetismo se produce por los electrones que rodean a todos los átomos. Por tanto, la función principal de un radio es enviar información mediante la alteración de la actividad de los electrones, de manera que se puedan mover en

forma relativamente unísona dentro, y de modo local, de la antena transmisora con el fin de lograr un efecto detectable en los electrones de la antena receptora. La actividad asociada con un receptor es traducir los cambios de estado de la antena receptora, que es afectada por la actividad de los electrones del entorno local.

El radio en sí es un dispositivo muy simple y se puede construir una versión rudimentaria con una batería de 9 voltios y una moneda. Si cierra las terminales de la batería con la moneda, y lo hace cerca de un radio común sintonizando estaciones AM, escuchará el sonido y ruido de la estática generada por el contacto encendido/apagado entre la moneda y la batería. Si golpea con la moneda en la batería para enviar mensajes usando el código Morse, ¡tendrá un radio completamente funcional! No tendrá un rango muy amplio, pero esto demuestra lo simple que es un radio como dispositivo.

Si desea demostrar una versión ligeramente más sofisticada de este radio, puede colocar un extremo de un filamento de una máquina junto a una de las terminales de la batería y conectar un cable con la otra terminal. Cuando desplaza un extremo del cable hacia arriba y hacia abajo del filamento, verá pequeñas chispas. También podrá escuchar esto con la misma radio comercial. Si cuenta con el voltaje suficiente, podrá escuchar el sonido en un receptor colocado a una distancia muy alejada, y de hecho esa era la forma en que funcionaban los primeros radios, y es la razón por las cuales se llamaban bobinas de chispa. Este tipo de radio podría funcionar incluso ahora, pero también afectaría a todos los radios alrededor de la bobina de chispa, lo que es exactamente el motivo por el cual no es legal usarlos hoy día para propósitos comerciales.

Un aspecto importante que se debe observar en relación con los fundamentos de la forma en que funciona un radio, es que sólo funciona cuando ocurre un cambio en el estado de los electrones en la antena transmisora y en la receptora; esto es lo que se realizó en los experimentos anteriores.

Los radios actuales usan ondas senoidales que se generan en el radio, debido a que transportan mucha más información que una bobina de chispa, y tienen una tendencia mucho menor a ser interferidos por otros radios que operen alrededor de ellos. Pero antes de entrar en todos estos detalles, examinaremos los elementos principios de un radio.

4.11. El radio 802.11

Lo que hace que el radio 802.11 esté apartado de todos los demás radios se debe principalmente a la manera en que interactúa con el resto de ellos. El IEEE ha establecido un conjunto de convenciones fáciles de entender, de las cuales, la mayor parte ya ha sido adoptada por los fabricantes de equipo de Internet. Muchos de los estándares específicos aún se siguen escribiendo y

ratificando, y se espera que el estándar 802.11 continúe evolucionando en muchas áreas significativas. Lo que este capítulo ayudará a clarificar es la fama en la cual una radio 802.11 interactúa con otros radios que usan el mismo estándar

El estándar 802.11 especifica los elementos LI del radio; en otras palabras, determina la capa física del radio, que con frecuencia se conoce como la capa PHY del radio.

4.12. Topologías de red

Las redes 802.11 tienen dos topologías distintas, la topología ad-hoc y la topología de infraestructura. Dentro de cada una de estas dos topologías existe el conjunto de servicio básico (Basic Service Set, BSS, por sus siglas en inglés), que consiste de dos o más nodos, a veces conocidos como estaciones. Un nodo o estación es una plataforma individual, como un punto de acceso o una tarjeta interfaz de cliente (por ejemplo, una tarjeta PCMCIA o mini-PCMCIA). Un BSS tiene dispositivos que se reconocen y trabajan en conjunto unos con otros para minimizar la cantidad de colisiones que existen dentro del dominio del BSS.

Las redes ad-hoc normalmente están compuestas de dos o más clientes que son iguales entre ellos, por ejemplo, computadoras portátiles o PDA con tarjetas 802.11 integradas. La figura 4.12. ilustra una red ad-hoc.

Una red ad-hoc suele conocerse como un conjunto de servicio básico independiente (Independent Basic Service Set, IBSS, por sus siglas en inglés), donde la palabra independiente se refiere al hecho de que no existe un punto de acceso (AP) dentro de este conjunto de servicio. Las redes ad-hoc tienden a ser temporales y se usan, por ejemplo, cuando dos o más profesionales de una misma compañía desean compartir archivos entre sus computadoras portátiles o PDA cuando están en un aeropuerto.

El conjunto de servicio que es por un gran margen el más común dentro del mundo 802.11, Y el que cuenta con características relativamente permanentes, es la red de infraestructura. A medida que los clientes que se encuentran dentro de computadoras portátiles, por ejemplo, las tarjetas PCMCIA, tienden a ser bastante portátiles (o nómadas), los AP tienden a ser relativamente estáticos y uno o más proporcionarán conectividad extensa con la red.

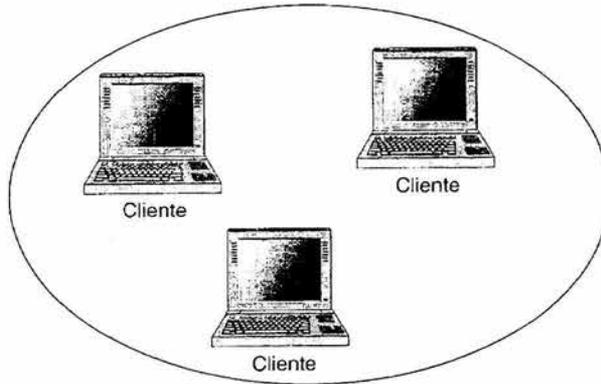


Figura 4.12 red ad-hoc

Se podría pensar en el AP como la extensión base con la que se conectan todos los clientes y en general es el dispositivo que controla el tráfico que fluye entre el AP Y los distintos clientes; en otras palabras, existe poco o nada de comunicación de cliente a cliente, o de igual a igual dentro de una red de infraestructura 802.11. La figura 4.12 ilustra un ejemplo de esta red de infraestructura.

La referencia apropiada para los clientes y AP en una red de infraestructura es Conjunto de servicio extendido (Extended Service Set, ESS), debido a que este término incluye dispositivos que provienen de más de un BSS y normalmente está conectado mediante Ethernet a través de un sistema de distribución, como una LAN, a lo largo de toda una empresa. Los clientes pueden desplazarse dentro de los BSS, por lo que proporcionarán una conectividad sin problemas a los usuarios cuando están dentro de sus redes.

4.12.1. DSSS y FHSS

El estándar 802.11 ha sido adoptado ampliamente en todo el mundo, pero existen algunas variaciones respecto a las frecuencias que están permitidas en ciertos países. La tabla 4.12.1. proporciona una breve ilustración de las frecuencias que están permitidas en distintos países:

País	Espectro asignado
Estados Unidos, Europa, Francia	2.400 GHz hasta 2.485 GHz
Japón	2.471 GHz hasta 2.497 GHz
España	2.400 GHz hasta 2.485 GHz

Tabla 4.12.1.Frecuencias que están Permitidas en Distintos Países

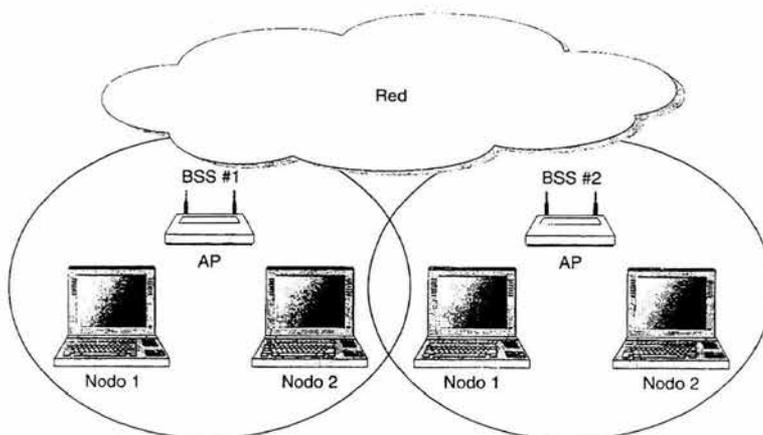


Figura 4.12.1.1. red de infraestructura

No debe confundir el espectro que está asignado en un país con la modulación o técnica de propagación que se permite en una nación determinada.

El estándar 802.11 permite las tres variantes de la capa PHY: espectro extendido de secuencia directa (DSSS), espectro extendido de saltos de frecuencia (FHSS) y la transmisión por rayos infrarrojos. Debido a que el estándar 802.11 b actual soporta distintas velocidades de datos, y tanto FHSS como DSSS soportan velocidades de 1 y 2 Mbps, la mayoría de los fabricantes, si no es que todos, actualmente venden equipos que utilizan DSSS como parte de la velocidad de 11 Mbps, que se describe en el estándar 802.11b.

El estándar DSSS 802.11 tiene asignados 11 canales en Estados Unidos, 13 en la mayor parte de los países gobernados por ETSI y 14 en Japón. Pero debido a que la energía del espectro extendido cubre; cinco canales distintos a la vez, solo tres son capaces de no traslaparse y (en el caso del esquema de 11 canales de Estados Unidos), están identificados como canales 1, 6 y 11. La figura 4.12.1.2. ilustra este concepto.

Por tanto, como principio práctico casi todos los dominios de colisión no usan más de tres AP, debido a que sólo están disponibles tres canales que no se traslapan, y obtener la cantidad máxima del espectro para una transmisión específica permite las velocidades más altas además de un enlace más sólido.

La cantidad de AP no se debe confundir con el número de clientes que se pueden agregar, debido a que un solo AP puede dar servicio a 2000 clientes aproximadamente, aunque no al mismo tiempo (puesto que pasaría mucho tiempo antes de que el ancho de banda estuviera disponible). Normalmente, los AP con mejor desempeño, por ejemplo, los que fabrica Cisco, pueden dar servicio hasta 256 clientes al mismo tiempo por AP, aunque esto no sería favorable en términos de capacidad de acceso y desempeño. Más aún, debido a las limitaciones de rango de los dispositivos, la cantidad de área física que normalmente se requiere para 2000 usuarios incapacitaría las asociaciones entre AP y clientes. La parte importante que se debe subrayar aquí es que normalmente no se deben colocar

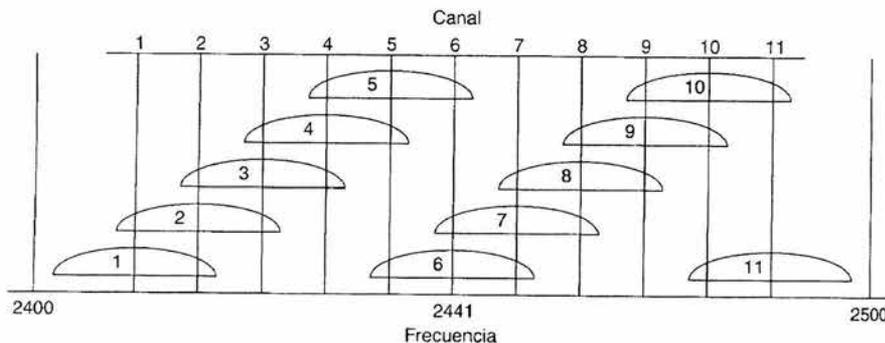


Figura 4.12.1.2. Los once canales de radio de 802.11

Más de tres AP en un solo dominio de colisión, debido a que un despliegue nominal los colocaría en los canales 1, 6 Y 11, respectivamente.

La especificación 802.11 permite técnicas de modulación menos complejas, como la modulación de fase por desplazamiento binario (BPSK), la que se usa con un cambio de fase por cada bit modulado para asegurar la obtención del rango máximo; esta velocidad estaría limitada a cerca de 1 Mbps. La técnica de modulación más compleja siguiente es la modulación por fase de desplazamiento en cuadratura (QPSK), que codifica dos bits de la información en la misma cantidad de espectro que BPSK, aunque obviamente tiene un rango menor.

La técnica de modulación más compleja que se usa en 802.11 b se conoce como modulación de código complementario (CCK). CCK no usa el código Barker; en lugar de eso se basa en una serie de códigos denominados secuencias complementarias. Se pueden usar 64 códigos únicos para codificar los bits individuales en un flujo de datos. En otras palabras, es posible codificar hasta seis bits del flujo de datos, a diferencia del uno sencillo o cero que se usa en el esquema Barker. Luego, el código CCK es modulado con QPSK en radios de 2 Mbps a 11 Mbps. Después se envían ocho chips por símbolo (onda senoidal), pero cada uno de los símbolos codifica ocho bits debido a la modulación QPSK, los cuales a su vez se propagan a través de varios canales por medio de la técnica de propagación DSSS. Esto da como resultado 11 megachips por tiempos de un segundo de 1 MHz del espectro, lo que significa que los radios usarán 22 MHz del espectro para cada canal no traslapado. Por tanto, para transmitir 11 Mbps en el estándar 802.11 b, tendría que enviar 11 Mbps por ocho chips, lo que da un resultado de 11 megachips por segundo por cada 2 MHz por canal QPSK codificado, resultando en la necesidad de 22 MHz del espectro. Ahora bien, debido a que aún así es difícil discernir cuál de los 64 códigos únicos se están transmitiendo (incluso mediante el uso de los procesadores actuales), cuando el rango se agrega, o cualquier elemento que degrada la calidad del enlace, se puede observar que es prudente el uso de más de una modulación o técnica de fragmentación para asegurar que el enlace continúe disponible.

4.13. Elementos de la capa PHY

La capa PHY tiene dos subcapas, las cuales son el Protocolo de convergencia de la capa física (Physical Layer Convergence Protocol, PLCP) y la subcapa Dependiente del medio físico (Physical Medium Dependence, PMD). La diferencia entre las dos es que la capa PLCP se encarga de aspectos como la codificación Barker y CCK, además de las técnicas de modulación como QPSK y la técnica de propagación DSSS, mientras que la capa PMD crea la interfaz hacia la capa MAC para la sensibilidad de la portadora a través de su Comprobación de canal libre (Clear Channel Assessment, CCA).

El PLCP consiste de un preámbulo de 144 bits que se usa para sincronizar los AP con los clientes, determinar la ganancia del radio y establecer la CCA. Este preámbulo está formado de 128 bits para la sincronización, seguido de un campo de 16 bits que consiste del patrón 1111001110100000. Esta secuencia se usa para marcar el inicio de una trama y se conoce como el Delimitador de inicio de trama (Start Frame Delimiter, SFD, por sus siglas en inglés). Los siguientes 48 bits se conocen en conjunto como el encabezado PLCP, el cual cuenta con tres campos: señal, servicio y longitud, además de Revisión de errores en el encabezado (REC), lo que asegura la integridad del encabezado y el preámbulo. El campo de señal indica la velocidad a la que será transmitida la carga, la cual para 802.11 b es 1, 2, 5.5 u 11 Mbps. 802.11g Y 11a también cuentan con

velocidades de hasta 54 Mbps. El campo de servicio está reservado para un uso futuro. El campo de longitud indica el tamaño de la carga, e incluye los 16 bits de REC, que se efectúa mediante una revisión de redundancia cíclica (CRC).

El PLCP siempre se transmite a 1 Mbps, debido a que la confiabilidad y solidez de la señal son muy importantes y tienen prioridades sobre la velocidad. Sin embargo, este encabezado no impacta la velocidad general de un enlace, debido a que 24 bits de cada paquete se envían a 1 Mbps. Es probable que haya notado en este punto que aún no se ha asignado un destino para la trama. Debido a que la carga del encabezado de 192 bits se transmite a 1 Mbps, 802.11b tiene, cuando mucho, sólo 85 por ciento de eficiencia en la capa física.

No obstante que las partes internas del radio pueden controlar las obstrucciones, modulación, amplificación, técnicas de propagación y otros elementos, la capa MAC es de interés particular para el aficionado 802.11. Como punto de referencia, otros controles de la capa MAC se usan en otras redes, por ejemplo, Ethernet y Token Ring, y los lectores de este libro más experimentados reconocerán que el estándar 802.11 tiene sus orígenes MAC en el estándar 802.3 Ethernet. La capa MAC es una de las dos subcapas de la capa de enlace de datos (o, simplemente, la capa de enlace) y es responsable de controlar el flujo de paquetes de un cliente hacia otro a través de un canal compartido, como Ethernet o en este caso 802.11.

NOTA La función principal de la capa MAC es asegurar que los paquetes/tramas no choquen dentro de un dominio, por ejemplo, una WLAN, mediante el control de acceso a los canales de radio asignados y compartidos.

Sin importar que se conozca como el "cerebro" de la WLAN debido a que controla el flujo de paquetes, esta capa MAC sólo debe considerarse de esta manera en cuanto a la función de los radios, debido a que muchos de los protocolos mejorados de seguridad, por ejemplo, el Protocolo de autenticación extensible (EAP), que operan arriba o más allá de la Privacidad inalámbrica equivalente (WEP) residen en servidores dedicados y otras "cajas" que se encuentran en la parte de la red de la WLAN. Las capas 802.11, 11b, 11a y 11g realizan la tarea del sensor de portadora, transmisión y recepción de las tramas 802.11.

4.14. Sensor de portadora

La búsqueda de portador se refiere a la frecuencia real, o energía de radio, que es transmitida por un radio 802.11 y que se recibe y reconoce como nativa del dominio de colisión. Recuerde que la información reside dentro de la onda portadora. Por tanto, el estándar 802.11 usa un protocolo que se conoce como Accesos múltiples de sensor de portadora con prevención de colisiones (Carrier

Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA, por sus siglas en inglés) para asegurar que la cantidad de colisiones dentro de un dominio se mantenga a un nivel mínimo

En CSMA/CA, una plataforma 802.11, por ejemplo un AP, efectúa las funciones siguientes dentro del orden indicado:

1. Detecta el canal de radio asignado (normalmente está previamente establecido por la administración de la red o los técnicos de instalación).
2. Si el canal no está transportando tráfico, se considera inactivo; en cuyo punto el AP o cliente envía un paquete.
3. Si el canal asignado está ocupado, el transmisor que intenta enviar la transmisión espera hasta que termine la transmisión actual y --esto es importante-- luego espera un periodo aleatorio, conocido como el periodo de contención, que precede la transmisión de cualquier transmisor. Esto permite a todos los transmisores un acceso equitativo al canal de radio que se asigna para una LAN en particular. El periodo de contención para los sistemas DSSS es de 20 microsegundos. Esta cantidad de tiempo permite al transmisor y al receptor reconocer la recepción exitosa de información.
4. Si el canal asignado está libre de tráfico en el extremo de la transmisión de otra plataforma además del periodo de contención, el transmisor que ha esperado para llevar a cabo la transmisión comienza a enviarla.

En realidad, el estándar 802.11 permite dos formas de acceso a medios (acceso a los canales de radio asignados), conocidos como Función de coordinación distribuida (Distributed Coordination Function, DCF, por sus siglas en inglés) y Función coordinada de punto (Point Coordination Function, PCF, por sus siglas en inglés). DCF es un protocolo obligatorio dentro de las especificaciones de 802.11, en tanto que PCF es un protocolo opcional que se emplea para el tráfico sensible a la latencia, por ejemplo, el de voz y video.

Antes de que un nodo obtenga el acceso al medio, debe transmitir un valor denominado Valor de asignación de red (Network Allocation Value, NAV, por sus siglas en inglés), que es representativo de la longitud de un paquete que desean para enviar información. Todos los nodos presentan el NAV con el que quieren transmitir información y éste indica la cantidad de tiempo de transmisión que la trama anterior en la cola necesita para terminar. El valor NAV debe ser cero antes de que el nodo (AP o cliente) pueda enviar la siguiente trama en la cola. Antes de que la siguiente trama en la cola sea transmitida, el nodo calcula la cantidad de tiempo de transmisión que requerirá la trama siguiente. Cuando todos los nodos dentro de un dominio de colisión reciben el NAV, lo usan como base para establecer sus tiempos de transmisión.

Un elemento importante del protocolo DCF es el retroceso aleatorio. Los temporizadores de retroceso aleatorio se involucran cuando un nodo determina que ya existe tráfico en el canal que desea usar. Si el nodo transmisor tiene que esperar que se libere un canal, espera un periodo aleatorio antes de intentar acceder al medio otra vez. Esto asegura que los múltiples nodos que esperan transmitir no intenten enviar su información al mismo tiempo, debido a que los temporizadores de retroceso aleatorio aseguran que los nodos que hacen cola esperarán cantidades de tiempo distintas antes de intentar transmitir. El temporizador de retroceso es un método efectivo, simple y poco costoso para reducir las colisiones dentro de una sola LAN (dominio de colisión).

NOTA Una particularidad de la especificación 802.11 es que los nodos no pueden detectar las colisiones mientras envían los datos, debido a que el nodo no puede contar con su receptor mientras transmite.

Una de las cosas que la especificación 802.11 hace para ayudar a compensar esta condición es lograr que el nodo receptor envíe un paquete de reconocimiento (Acknowledgement Packet, ACK, por sus siglas en inglés) al dispositivo transmisor. Este paquete se envía cuando no existen errores en el paquete; si el paquete ACK no es recibido por el nodo transmisor en un periodo suficiente debido a la interferencia o alguna otra razón, el nodo transmisor volverá a enviar el paquete.

Cuando la WLAN está intentando transportar tráfico sensible a la latencia baja, como el de video o voz, la especificación 802.11 permite la función PCF, como ya mencionamos en esta sección. PCF otorga el acceso a un nodo después de que la raíz AP escoge uno entre todos los clientes de un dominio de colisión. El tráfico PCF se permite dentro de los periodos de contención DCF.

4.14.1. Las funciones principales de la capa MAC

Para ayudar a clarificar lo que hace la capa MAC, y para resumir las funciones esenciales de esta capa, en este momento consideraremos las funciones principales de la capa MAC:

- Exploración
- Autenticación
- Asociación
- Seguridad
- RTS/CTS
- Modo de ahorro de energía
- Fragmentación.

5.- REDES DE ÁREA METROPOLITANA INALÁMBRICAS (WMAN)

WiMAX, la evolución del mundo inalámbrico de banda ancha

Durante los últimos cuatro años las expectativas y realidades en torno al acceso de última milla de banda ancha por medio inalámbrico han creado una ventana de oportunidad para fabricantes, integradores y prestadores de servicios difícil de ignorar. Hoy por hoy los dos términos asociados con esta tecnología son IEEE 802.16 y WiMAX.

5.1. IEEE 802.16.

Lo que en su momento inició como el estándar 802.16 de la IEEE y que definía soluciones para acceso en los rangos de frecuencia de los 2 a los 60 GHz, recientemente ha sido ratificado en su última versión, la 802.16-2004 (antes 802.16d, y que reemplaza a la versión 802.16a), para los rangos de 2 a 6 GHz. El estándar IEEE 802.16-2004 define los parámetros de la interfase inalámbrica para acceso de banda ancha a nivel físico y de acceso al medio (MAC). Las principales diferencias que existen con la versión anterior, el 802.16a, se relacionan con el consumo de potencia en los sistemas. Como siguiente fase se prevé la adición de movilidad bajo la versión 802.16e, la cuál se espera se materialice para el año 2006.

Los cuatro años de trabajo en torno a este estándar han definido los siguientes parámetros, entre los más importantes, para la transmisión inalámbrica:

A nivel físico:	A nivel de acceso al medio (MAC):
Frecuencias entre 2 y 6 GHz	Multiplexaje TDMA dinámico
Canalización reducida, 5 y 10 MHz	Duplexaje TDD y FDD
Anchos de banda de más de 10 Mbps	ARQ (retransmisión inalámbrica)
Codificación adaptiva	Ajuste dinámico del tamaño del paquete
Modulación adaptiva	Calidad de servicio
Ecualización adaptiva	Servicios punto-multipunto y de malla
Diversidad de antena	Uso de DHCP y TFTP para el
Control de potencia de transmisión	aprovisionamiento de usuarios
Portadora única u OFDM	Encriptación DES
	Modulación y codificación adoptivos

Un efecto adicional que se ha dado a raíz de este estándar es la participación de fabricantes de chips, como es el caso de Intel, Fujitsu, Wavesat y Sequans communications. Estas empresas están en el proceso de implementar lo

definido bajo el estándar 802.16- 2004 en sus chipsets para proveer de estos a los fabricantes de equipos. Empresas como Alvarion, Airspan y Aperto Networks se encuentran colaborando con Intel, mientras que Wi-LAN trabaja con Fujitsu y otras como WaveRider o ZTE con Wavesat. Actualmente se espera que los chips 802.16-2004 estén disponibles durante el último cuarto del 2004. Una vez liberados, los fabricantes de equipos tendrán la opción de utilizarlos dentro de sus propios sistemas.

La ventaja de esta evolución de mercado se traduce en economías de escala, lo cual conlleva una reducción de costos en infraestructura. Una ventaja adicional de tener un estándar y chipsets que lo implementen es la de interoperabilidad de equipos.

5.1.1 El Foro WiMAX.

A raíz de los avances hechos bajo este estándar y en realidad debido también a el grado de madurez alcanzado por la tecnología, a la mayor participación de fabricantes y vendedores, a las necesidades del mercado de disponer de equipamientos estándar y de menor costo y a los avances regulatorios en materia de espectro radioeléctrico en diferentes partes del mundo, en 2003 se fundó el Foro WiMAX. Basándose en los lineamientos definidos por el estándar 802.16, el Foro WiMAX se enfoca en promover la interoperabilidad entre diferentes marcas para soluciones de última milla. Haciendo una analogía, WiMAX es al estándar 802.16 lo que Wi-Fi es al estándar 802.11.

El Foro WiMAX integra hoy en día a más de 100 miembros entre los cuáles se tienen fabricantes de chips, fabricantes de equipos y prestadores de servicios. En particular, el Grupo de Trabajo de Certificación (Certification Working Group) tiene como tarea definir las pruebas de interoperabilidad necesarias para alcanzar la certificación WiMAX en equipos. Se espera que estas pruebas se terminen de definir a principios del próximo año y serán específicas a ciertos perfiles de operación. Consecuentemente, la primera fase de certificación involucra equipos en 5.8 y en 3.5 GHz, mientras que una segunda fase involucra equipos en 2.5 GHz. Es importante recalcar que el concepto de WiMAX se basa en la interoperabilidad. Por lo mismo, para que un equipo pueda ser certificado como WiMAX debe de haber pasado pruebas de interoperabilidad con otros. Los lineamientos actuales definen que deben ser al menos tres las empresas con equipos estándar dispuestas a hacer pruebas antes de que estas se puedan iniciar.

El Forum WiMAX también está trabajando en la elaboración de notas técnicas que definan y aclaren algunos de los conceptos que han sido mal interpretados recientemente en torno a la operación sin línea de vista, el rango de cobertura de los equipos y la interoperabilidad.

Definitivamente la industria inalámbrica está viviendo un momento único. La disponibilidad de tecnología probada, la creación de estándares y grupos de trabajo y la gran necesidad de llevar el acceso multiservicios a zonas no abastecidas hacen de esta tecnología no sólo un mecanismo de competitividad sino una herramienta social, la cuál puede ser implementada en relativamente cualquier parte del mundo.

5.2. Introduciendo la nueva era de banda ancha inalámbrica

Durante muchos años los sistemas de banda ancha inalámbricos estaban basados en tecnologías propietarias de las compañías que las instalaban, tenían un rendimiento limitado y en muchos casos eran demasiados caras para ser instaladas de manera masiva. La introducción de la tecnología WiMAX cambiará todo esto. La nueva generación de productos certificados por el WiMAX Forum ofrecerán redes de gran capacidad para aplicaciones que no requieren línea de vista (None line-of-sight o NLOS por sus siglas en inglés) entre equipos a precios mucho menores.

Esto será posible debido a las ventajas técnicas del estándar IEEE 802.16-2004, la disponibilidad masiva de chips y componentes WiMAX, y el alto volumen esperado de dispositivos y equipos certificados por el WiMAX Forum. Otra capacidad única de la tecnología WiMAX es su aceptación a nivel global. La tecnología puede funcionar en las bandas con licencia 3.5GHz y 2.5GHz, así como en la banda sin licencia 5.8GHz. Otras bandas estarán incluidas según la demanda y regulación en las diferentes regiones alrededor del mundo.

Mientras el estándar 802.16-2004 está enfocado en las especificaciones del Media Access Control (MAC) y Physical (PHY) layers, el objetivo del WiMAX Forum es facilitar el desarrollo de un completo ecosistema alrededor de la tecnología.

La organización WiMAX Forum está estructurada y muy bien posicionada para hacer exactamente esta función con un diverso grupo de empresas, que incluye grandes operadores y proveedores de servicio, integradores de sistemas, fabricantes de componentes y radio, y proveedores de contenido y aplicaciones.

Además, ya que los MAC y PHY layers están estandarizados basados en IEEE 802.16-2004 y disponibles como componentes integrados por un grupo de compañías de chips, y fabricantes de sistemas pueden ahora pasar su dedicación del diseño básico de radio a desarrollar tecnologías avanzadas de red y una arquitectura de red completa.

Esto irá ganando en importancia a medida que las redes de acceso de banda ancha inalámbrico consiguen mayor penetración en las ciudades principales y áreas más extensas.

5.2.1. La importancia de la interoperabilidad.

El objetivo principal del WiMAX Forum es acelerar la introducción de servicios de acceso inalámbrico de banda ancha de una manera eficiente y baja en costos. Con soluciones basadas en estándares interoperables se crearán las economías de escala y fomentarán un precio y un desempeño que jamás se podrían encontrar a través de soluciones propietarias.

Estándares únicamente no son suficientes para iniciar la adopción masiva de una tecnología. Para impactar y ofertar banda ancha de la manera que ambicionamos, la industria necesita una organización como el WiMAX Forum para promover y certificar que los productos puestos en el mercado cumplen con la promesa de interoperabilidad conforme a unas especificaciones comunes. Como tal, el WiMAX Forum conducirá funciones de testeo y etiquetará a los vendedores de sistemas como "WiMAX Forum Certified", proveyendo y garantizando que los productos han sido independientemente verificados para que cumplan con el estándar y la interoperabilidad con los equipos de otros fabricantes.

Estos sistemas serán escalables hasta miles de usuarios y gracias a su interoperabilidad, los proveedores de servicio serán capaces de comprar equipos de más de un fabricante reduciendo el riesgo de la inversión y creando un mercado con precios competitivos.

5.2.2. La evolución de WiMAX.

Como muchos otros ejemplos en el pasado, la tecnología WiMAX evolucionará con el tiempo. La primera generación de productos certificados WiMAX se espera estén disponibles en el mercado en el 2005. Los primeros productos serán unidades exteriores que podrán funcionar en aplicaciones con línea de vista entre equipos (Line-of sight o LOS por sus siglas en inglés) o sin. La segunda generación será para unidades interiores, con modems auto instalables similares a los modems de cable o DSL.

Para entonces, las redes WiMAX ofrecerán portabilidad, permitiendo el uso nómada, donde los clientes serán capaces de llevar su modem WiMAX o su computadora portátil con uno incorporado a cualquier lugar donde haya cobertura por parte de la red.

El grupo IEEE 802.16e está actualmente trabajando de manera agresiva en una extensión del estándar 802.16-2004 que añadirá la oferta de aplicaciones móviles. Una vez que el proceso de estandarización esté completado, la movilidad pasará a ser el paso natural para la tecnología WiMAX. En este sentido, la visión del WiMAX Forum es que la tecnología WiMAX no reemplazará las redes existentes 3G y Wi-Fi sino que será construida como una extensión u superposición de esas redes.

Las redes WiMAX pueden ser extendidas para alcanzar a los hot spots y pueden extender la capacidad de las redes 3G con un énfasis en la oferta de servicios de datos y aplicaciones.

Podemos esperar que la evolución de la tecnología irá de la mano con un incremento en la demanda de redes de mayor capacidad que apoyen QoS (ej, voz y vídeo) y una amplia gama de aplicaciones corporativas y móviles. Los servicios evolucionarán de la simple oferta de Internet a ofertas más sofisticadas y diversas.

Los miembros del WiMAX Forum están muy ilusionados de ser parte de la revolución que supone permitir acceso en cualquier lugar y tenemos razones para creer que WiMAX será la tecnología que va a jugar un papel clave en su formación en los años venideros.

5.3. Historia y Evolución del Estándar 802.16

	802.16	802.16a/d	802.16e
Completado	Dic 2001	802.16a: Ene 2003 802.16d: Mar '04	Estimado Oct'04
Espectro	10 - 66 GHz	2-11 GHz: 2.5, 3.5 GHz licenciado 5.8 GHz exento de licencia	2-6 GHz
Condiciones del Canal	Solo Línea de Vista	Sin Línea de Vista	Sin Línea de Vista
Ancho de Banda del Canal	20, 25 y 28 MHz	Ancho de banda del canal flexible entre 1.25 y 20 MHz	Lo mismo como 802.16a con más "sub-canales" de baja potencia
Velocidad de Bit	32 - 134 Mbps en canalización de 28MHz	Hasta 75 Mbps en canalización de 20MHz	Hasta 15 Mbps en canalización de 5 MHz

Mobilidad	Fija	Fija (instalación exterior e interior)	Portátil / Móvil
Radio de la Celda Típico	1-3 millas	3 a 5 millas; Rango máximo de 30 millas basado en la altura de la torre y la topología	1-3 millas
Duplexión UL/DL	TDD/FDD	TDD/FDD	TDD/FDD
Modulación	QPSK, 16QAM, 64QAM Portadora Simple	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM Portadora Simple OFDM 256 Sub-portadora OFDMA 2048 Sub-portadora	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM Portadora Simple OFDM 256 Sub-portadora OFDMA 2048 Sub-portadora

Más allá de la Interfaz Aérea

IEEE 802.16 sólo direccionado a las capas 1 & 2
 Interfaz Aérea = MAC, PHY y radio

IEEE 802.21

Común, arquitectura roaming y handoff sin igual para todos los estándares 802 (incluyendo 802.11, 802.16 y aún 3G)

Necesita un sistema extremo a extremo para conseguir interoperabilidad "real"
 Para aplicaciones como VoIP, roaming, movilidad de sesión IP
 WiMAX Forum considerará dirección de interoperabilidad de capa 3+

El proposito de WiMAX:

Asegurar conformidad e interoperabilidad de sistemas 802.16 (complementa para Wi-Fi en 802.11)

Proporciona herramientas para OEMs

Puede ser usado durante el proceso de desarrollo OEM's para asegurar la interoperabilidad del sistema

Conformidad de Contribuir, Especificación de Prueba para estándar IEEE 802.16c y 802.16d

Dos años, proceso multi-compañía para el desarrollo del Perfil del Sistema PICS Pro Forma, Estructura del juego de prueba y protocolos de prueba ISO/IEC 9646 conforme a especificaciones de prueba

- Define PHY, MAC, RF Perfil
- WiMAX más de 70 miembros y creciendo

802.16a/d/e: Designado para Espectro Licenciado y Exento de Licencia

UHF	0.75 - 0.8	Canales 60-69, llamado el 700 MHz superior, son por estatuto congregacional para ser reclamados para nuevos servicios
ISM	0.9 - 0.93	Banda Industrial, Científica y Médica – banda exenta de licencia
UPCS	1.91 - 1.93	Servicio de Comunicaciones Personales exento de licencia Servicio de Comunicaciones Inalámbrico
ISM	2.4 - 2.48 5.725-5.825	Banda Industrial, Científica y Médica
MMDS	2.5 - 2.7	Servicio de Distribución Multi-canal Multipunto
Internacional	3.4 - 3.7 4.8 - 5	Bandas Licenciadas - Europa, Latín América, Asia - Japón
U-NII	5.15 - 5.35, 5.725 - 5.85	Banda de infraestructura de Información Nacional exenta de licencia
Nuevo espectro	5.470- 5.725	FCC NPRM 03-110 Parte 15

talles Técnicos de WiMAX

- Capa PHY
- RF interfaz & AAS
- Capa MAC
- Ambiente de Propagación
- Planeación de Celdas

5.4. Opciones de 802.16d PHY

	Aplicabilidad	Opciones	Duplex alternativa
Inalámbrica MAN-SC	10–66 GHz		TDD FDD
Inalámbrica MAN-SCa	2–11GHz bandas licenciadas	AAS - ARQ - STC	TDD FDD
Inalámbrica MAN-OFDM	2–11 GHz bandas licenciadas	AAS – ARQ – Mesh - STC	TDD FDD
Inalámbrica MAN-OFDMA	2–11 GHz bandas licenciadas	AAS ARQ STC	TDD FDD
Inalámbrica HUMAN	2–11 GHz bandas exentas de licencia	AAS ARQ Mesh STC	TDD

Tx/Rx Descomposición

Un algoritmo de Corrección de Errores – Forward Error Correction (FEC) consiste de un código exterior Reed-Solomon y una razón compatible, código interior convolucional.

La codificación es desempeñada, primero pasa por a través del codificador Reed-Solomon y entonces al codec convolucional.

El tamaño del bloque de datos para todos estos codecs trabaja como una función de la modulación usada, con QPSK usando el tamaño del bloque menor y 64-QAM usando el mayor.

Todos los bits codificados son bloques intercalados para asegurar que bits codificados adyacentes son mapeados en portadoras no adyacentes

Tamaño del bloque de un intercalado depende del metodo de modulación usado.

Después de la codificación, bits de datos son mapeados en la constelación para la modulcación en particular

4 posiciones para QPSK, 16 posiciones para 16-QAM y 64 posiciones para for 64-QAM.

Portadoras piloto son usadas para desempeñar ciertas medidas en la interoperación entre el SS y el BS.

Insertado en cada ráfaga de datos en orden para constituir el símbolo y ellos son modulados de acuerdo a su locación de portadora en el símbolo OFDM.

Pre ambulo y estructura de la trama son creadas antes que el IFFT es aplicado.

Las bandas de guardia son adicionadas a cada símbolo, símbolos de instrucción insertados al flujo y finalmente el resultado es filtrado y amplificado.

La ruta de recepción es esencialmente lo inverso de la ruta de transmisión, con la circuitería esencial requerida para la demodulación exacta de la portadora entrante.

802.16d PHY características que entregan desempeño NLOS robusto

Perfil de ráfaga adaptiva

seguimiento de corrección de errores con codificación Reed-Solomon y Convencional conchado

•DFS (selección de frecuencia dinámico – dynamic frequency selection) obligatorio para operación en bandas no licenciadas

•Codificación de Tiempo Espacio opcional en enlace descendente basado en algoritmo Alamouti's

•Sistema de Antena Avanzado

–Antenas de formación del Haz

Modulación adaptiva & esquema de señalización OFDM

5.5. Corrección de Errores

Codificador RS - Codificación Convencional

Código	Razón
QPSK	1/2
QPSK	3/4
16 QAM	1/2
16 QAM	3/4
64 QAM	2/3
64 QAM	3/4

Codificador Reed-Solomon

- N = 255, K = 239, T = 8

Codificador Convencional Razón 1/2

- K = 7
- G1 = 171 OCT
- G2 = 133 OCT

Otras Razones

Velocidad de Datos de la Interfaz Aérea (Mbps)

Modulación / Razón de Código	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16 QAM 1/2	16 QAM 3/4	64 QAM 2/3	
1.75 MHz	1.04	2.18	2.91	4.36	5.94	6.55
3.5 MHz	2.08	4.37	5.82	8.73	11.88	13.09
7.0 MHz	4.15	8.73	11.64	17.45	23.75	26.18
10.0 MHz	8.31	12.47	16.63	24.94	33.25	37.40
20.0 MHz	16.62	24.94	33.25	49.87	66.49	74.81

5.6. 802.16 MAC

- Accesa al medio 802.16 compartido, previene transmisiones simultaneas de de Estaciones de Abonados separados

Consiste de tres sub capas:

- Sub capa de Convergencia de Servicio Especifico – Service Specific Convergence Sub-layer (SSCS) proporciona una interfaz para las entradas de la capa superior a través de CS SAP (Punto de Acceso de Servicio – Service Access Point)

- La MAC CPS (Sub-capa de la Parte Común – Commun Part Sublayer) proporciona funciones MAC principales, incluyendo planeación del enlace ascendente, ancho de banda solicitado y garantizado, control de conexión, ARQ, y duración.

- Sub-capa de Privacidad (PS) proporciona funciones de autenticidad y encriptión

5.7. Servicio Especifico

- Clasificación de capa superior protocolo PDU en la connexion apropiada, (lo cual también crea una asociación con las características del flujo de servicio [SF] (es decir, parametros QoS de esa conexión)

Supresión de información del encabezado de la carga útil (opcional).

- Entrega de los resultados CS PDU a la MAC SAP asociado con el SF para transporte al par MAC SAP.

- Recepción del CS PDU desde el par MAC SAP

- Reconstrucción de cualquier información de encabezado de carga útil suprimida (opcional)

Sub-capa parte Común

- Servicios de planeación. El trafico DL planeado esta basado en arquitectura punto a muitipunto, difusión de paquetes BS a todos los SSs. El ancho de banda UL es

compartido entre SSs basado en arquitectura TDMA (Time Division Multiple Access)

•Mecanismo de ancho de banda solicitado / garantizado. IEEE 802.16 define los siguientes mecanismos de SS para solicitud de ancho de banda para el tráfico del enlace ascendente. Cada uno es apto para requerimientos de QoS en particular.

- Requerimiento implícito

Mensaje de solicitud de ancho de banda

Mensaje de ancho de banda garantizado

Sondeo – Polling

•Fluctuación. Fluctuación es un proceso de ajuste del avance del tiempo del transmisor de SSs tal como la ráfaga del enlace ascendente arribando al BS son alineados al límite de la mini ranura requerida

•Petición de Repetición Automática – Automatic Repeat Request [ARQ]. El mecanismo de control de error en el cual una petición para re-transmisión es generada por el receptor cuando un error en la transmisión es detectado. ARQ reduce el retraso que las capas superiores pueden observar debido a la pérdida de datos.

5.8. 802.16a MAC: Ofreciendo QoS Flexible

•Servicios Otorgados no Solicitados – Unsolicited Grant Services (UGS): UGS está diseñado para soportar velocidad de bit constante – constant bit rate (CBR) o CBR como SFs, tal como emulación T1/E1, VoIP sin supresión de silencio. UGS SF está creado por especificaciones Tamaño Otorgado no Solicitado – Unsolicited Grant Size, Intervalo Otorgado Nominal – Nominal Grant Interval, Fluctuación Otorgada Tolerada – Tolerated Grant Jitter, y Política de Solicitud/ Transmisión.

•Servicio de Sondeo de Tiempo Real – Real-Time Polling Services (rtPS): rtPS está diseñado para soportar SF en tiempo real SF que genera paquetes de datos de tamaño variable en una base periódica, tal como vídeo MPEG.

•Servicio de Sondeo No en Tiempo Real – Non-Real-Time Polling Services (nrtPS): nrtPS está diseñado para soportar SF no en tiempo real que requiere datos de tamaño variable tipo de ráfaga otorgada en una base regular, tal como FTP.

•Servicio de Gestión Mejor – Best Effort Services (BE): Los servicios de gestión mejor son típicamente proporcionados por el Internet actual para la web.

Arquitectura Sub-capa de privacidad

•Privacidad tiene dos componentes de protocolo como sigue:

Un protocolo de encapsulación para encriptación de paquetes de datos. Este protocolo define (1) un juego de criptografía soportada, y (2) las reglas para aplicar estos algoritmos a la carga útil MAC PDU.

b) Un protocolo de administración clave – key management protocol [PKM] proporciona la distribución segura de datos claves de BS a SS; en adición BS usa este protocolo para acceso condicional vigoroso para servicios de red.

5.9. 802.16a MAC Sumario

Beneficio	
Conexión orientada	Por conexión QoS Paquetes más rápidos ruteo / envío
Soporta QoS Otorgado Continuo Otorgado no Solicitado Velocidad de Bits Variable en Tiempo Real Velocidad de Bits Variable en Tiempo no Real Mejor Esfuerzo	Latencia baja de servicio sensible al retardo (TDM Voz, VoIP) Transporte optimo para trafico VBR (es decir, vídeo) Prioritización de datos
ARQ	Mejor desempeño extremo a extremo
TDM/TDMA tramas programadas UL/DL	Eficientar el ancho de banda
Control de Potencia	Reduce la Interferencia
Soporta Modulación Adaptiva	Mejora la capacidad del sistema habilitando velocidades de datos mayores permitidas por la condición del canal
Seguridad e incipción (3-DES)	Protege la privacidad del usuario
Ancho de Banda en Demanda	Capacidad de asignación Trama por Trama

5.10. Cual es la mejor opción para que funcione en el futuro con WiMAX

Mientras las redes se están construyendo con los productos WiMAX en el horizonte, todavía hay debate sobre cuando las redes WiMAX serán por primera vez implementadas con éxito. Hay tres temas que están apuntalando este debate:

1. No hay productos WiMAX certificados por el WiMAX Forum todavía. La primera certificación de interoperabilidad no estará disponible hasta mediados del 2005.
2. La primera generación de perfiles WiMAX únicamente definen las capacidades mínimas de WiMAX. Los fabricantes deben implementar muchas de las capacidades opcionales de WiMAX para conseguir el rendimiento que se acerca a lo que hoy es posible con tecnologías propietarias.
3. La industria debe avanzar con cautela con los lanzamientos iniciales de WiMAX dadas las dificultades que frenaron en su día la adopción de Wi-Fi (IEEE 802.11) que duraron dos años y crearon un número de interoperabilidades para todos los involucrados.

Los gerentes de las operadoras latinoamericanas que estén leyendo este artículo y que tienen interés en el emergente Internet inalámbrico tienen el derecho a saber: ¿Cuál es el WiMAX real y que debo elegir mientras se desarrolla?

El deseo de acelerar la puesta en marcha de WiMAX es fuerte. WiMAX tiene la intención de proveer estándares definitivos para soluciones para los operadores que pueden ser escalables para apoyar miles de usuarios con una sola estación base y proveer diferentes niveles de servicios desde voz hasta aplicaciones de banda ancha tales como video, en bandas espectrales con o sin licencia.

Al permitir productos basados en estándares con menos variantes y mayores volúmenes de producción, WiMAX puede impulsar una reducción en el costo de los equipos y hacer la banda ancha inalámbrica un competidor con las otras tecnologías de acceso existentes.

Pronto una sola estación base proveerá suficiente velocidad de datos para ofrecer simultáneamente a más de 60 negocios con conectividad del tipo T1 y cientos de hogares con conectividad tipo DSL.

Esto representa un cambio radical en el modelo de negocio de acceso inalámbrico con el beneficio para los fabricantes y operadores involucrados. Es importante, de todas maneras, mencionar que el cambio está lejos de haberse producido completamente. El rol de WiMAX ha sido magnificado considerablemente en el último año por la prominencia de Wi-Fi.

El potencial de WiMAX para dramáticamente mejorar el potencial de Wi-Fi con servicios de backhaul para los hotspots y extendiendo la red unas 30 millas en algunas condiciones le ha dado a WiMAX un mercado mucho más amplio.

Ahora el IEEE está trabajando en la mejora del estándar 802.16e con la intención de tomar ventaja de la inherente movilidad de los datos inalámbricos. La enmienda 802.16, que también es llamada red metropolitana inalámbrica (MAN, por sus siglas en inglés), permitirá a una sola estación base ofrecer banda ancha móvil y fija. WiMAX intenta rellenar el hueco entre las redes WLAN y las redes celulares. En otras palabras, WiMAX está evolucionando en una gran variedad de perfiles para una gran variedad de necesidades.

Sabemos que en general las características para un producto WiMAX totalmente funcional incluirán la capacidad de funcionamiento fuera del campo de visión (Non-Line-Of-Sight o NLOS por sus siglas en inglés), una capa física OFDM, TDD y FDD duplexing y un protocolo inteligente MAC para el uplink/downlink para reducir la latencia y el temblor.

Aún así los productos pre WiMAX no incorporan muchas de las técnicas avanzadas de la conexión de radio requeridas para poder ofrecer lo que WiMAX promete sobre el papel.

Lo mismo será verdad para los primeros productos certificados por el WiMAX Forum que se esperan estén en el mercado a mediados de 2005. Como resultado los operadores deben elegir equipos pre WiMAX con cuidado para asegurarse que les incluya las capacidades y desempeño que les permita desarrollar su red de una manera efectiva en cuanto a costos.

De hecho, la elección puede ser algo más complicada. El WiMAX Forum ha apoyado la capa física OFDM256 con 802.16 para la primera generación de productos WiMAX. Aún así, ya que el análisis muestra que el volumen será impactado por la portabilidad/movilidad apoyo dentro del IEEE para OFDM ha ido en aumento. De hecho, OFDM está siendo mejorada para 802.16e y se le llama Scalable OFDM (SOFDMA).

En Corea, la Asociación de Tecnologías de telecomunicaciones (TTA, por sus siglas en inglés) ha decidido recientemente alinear su estándar de Internet de alta velocidad conocido como WiBRO con la variante OFDM 802.16.

Intel también ha anunciado en una conferencia de la industria que SOFDMA será la capa física elegida para el futuro de las aplicaciones WiMAX fijas y móviles. Y, es importante mencionar, que SOFDMA no es compatible hacia atrás con OFDM256.

6. REDES DE AREA PERSONAL INALAMBRICA (WWAN) “GSM,3G”

Sistemas Celulares

¿Cuál ha sido la razón de la evolución de los sistemas celulares? Sin duda la razón fundamental ha sido la evolución tecnológica de los sistemas de telefonía móvil. La aparición de los sistemas celulares, al permitir una capacidad de abonados muy superior, ha dado pie a que la telefonía móvil se convierta en una aplicación de consumo a las que pueden acceder no solamente las personas que necesitan específicamente este tipo de aplicación, sino también otras que lo consideran una comodidad más de las proporcionadas por los avances de la tecnología.

Como consecuencia, las terminales son cada vez más pequeñas, más baratas y con más autonomía, y los sistemas ofrecen cada día más servicios (similares a los que ofrece la telefonía fija). Ello ha provocado que este tipo de servicio esté alcanzando índices de crecimiento increíbles, hasta el punto de que en los próximos años el teléfono móvil será un bien más de consumo, como el ordenador o la cámara de vídeo. Es más, a medio plazo se considera que puede llegar a convertirse en una alternativa real a la telefonía fija.

Además, en el caso europeo, la telefonía móvil celular está sirviendo, por sus propias características técnicas, para arrancar los procesos de liberalización en el sector de las telecomunicaciones (es mucho más fácil tener dos operadores en un sistema celular que en uno de telefonía fija). Este hecho también ayuda a que el crecimiento de los citados servicios sea más rápido de lo habitual.

Se eligió el método de acceso TDMA para los sistemas celulares, y así se firmó un MoU (Memorandum of Understanding) que permitirá que el sistema sea paneuropeo «roaming» internacional dentro de los países firmantes). La especificación posterior realizada por el Groupe Special Mobile (GSM) consolidó las interfaces abiertas y la gran capacidad del sistema.

Es de señalar que, en paralelo con el GSM, se han definido otros dos sistemas de telefonía móvil digital, uno en Estados Unidos, el ADC, y otro en Japón, el JDC. Sin embargo, también es de destacar que GSM está más avanzado que los otros, y que se está imponiendo en otros países importante (Australia, países árabes, sudeste asiático, etc.), lo que hace que haya cambiado el significado de sus siglas, convirtiéndose en «Global System for Mobile communications».

6.1. Descripción

La telefonía móvil consiste en ofrecer un acceso «vía radio» a un abonado de telefonía, de tal forma que pueda realizar y recibir llamadas dentro del radio de cobertura del sistema (área dentro de la cual el terminal móvil puede conectarse con el sistema de radio para llamar o ser llamado).

La diferencia entre un sistema móvil celular y uno «cordless» o «sin hilos», es que mientras el primero se supone que tiene una cobertura amplia (normalmente cobertura nacional), en el caso de un sistema «cordless» se supone que la cobertura es limitada (un área de oficinas o los alrededores de un área residencial).

Los sistemas celulares incorporan la ventaja de dividir el área de cobertura en células, lo cual, limitando convenientemente la potencia con que se emite cada frecuencia, permite la reutilización de las mismas a distancias bastante cortas y, por lo tanto, aumentar tremendamente la capacidad de los sistemas.

Por lo tanto, un sistema celular consta de una serie de células, cubiertas cada una por un sistema de radio que permite la conexión de los terminales móviles al sistema (estación base), y un sistema de conmutación (centro de servicios móviles) que permite la interconexión entre las estaciones base y la conexión del sistema a la red de conmutación pública (fig. 6.1).

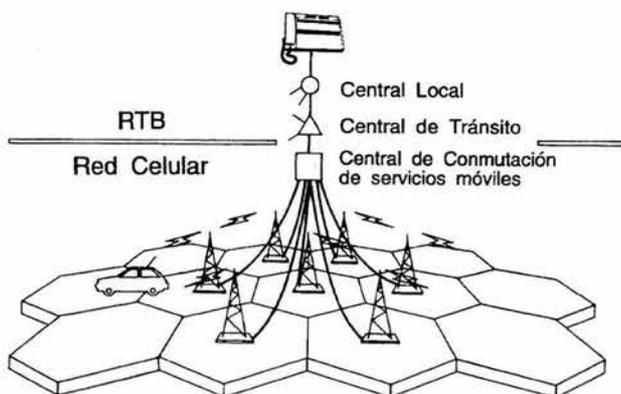


Figura 6.1. Sistema celular.

Las estaciones base (BTS) controlan la conexión radio de los terminales móviles, y permiten tener permanentemente localizados a los distintos abonados (siempre que el terminal móvil esté encendido).

La central de conmutación de móviles (MSC) realiza la conexión entre los distintos abonados o entre éstos y la red telefónica fija. Además, es la responsable de las funciones de operación y mantenimiento y de tarificación.

El nuevo sistema GSM, del que hablaremos posteriormente, define un elemento intermedio, el controlador de estaciones base (BSC), del que se definirán posteriormente sus funciones.

6.1.1. GSM/DCS-1800

Como ya hemos comentado en el punto anterior, la capacidad de los sistemas analógicos no es la suficiente para dar servicio al número creciente de abonados. Hay casos concretos de ciudades que ofrecen un servicio deficiente debido a la existencia de mayor número de abonados de los que puede atender el sistema. Los sistemas digitales en general y el GSM en particular se contemplan como una solución a este problema. El aumento de la capacidad ofrecida por el sistema se basa en la posibilidad de una mejor planificación celular con una mayor reutilización de las frecuencias, así como en la futura existencia de canales codificados a velocidad mitad, que permitirá duplicar la capacidad del sistema con idéntica ocupación del espectro radioeléctrico.

El GSM, particularmente, tiene también como objetivo prioritario el poder ofrecer «roaming» internacional. Esto se debe a la particular situación en la que se encuentra Europa en este momento, con multitud de sistemas celulares en operación incompatibles entre sí, exceptuando el sistema NMT 450 y el NMT 900 en los Países Nórdicos. Este objetivo concreto es específico del GSM, puesto que ésta no es la situación que se da por ejemplo en Estados Unidos, donde existen acuerdos entre diferentes operadores AMPS para dar servicio a abonados de otros operadores.

Por supuesto que también existen razones como mejora de la calidad, confidencialidad de la información y de la identidad de los abonados, seguridad frente a usos fraudulentos del sistema y la introducción de nuevos servicios, entre los que caben destacar los servicios de datos y el de mensajes cortos (mensajes alfanuméricos visualizables por el abonado en su propio terminal).

6.1.2.1. Sistema de conmutación

El sistema de conmutación realiza todas las funciones normales en telefonía, como la gestión de llamadas, control de tráfico, análisis de numeración,

tarificación y estadísticas de llamadas. Incluye las siguientes unidades funcionales o nodos de la red GSM:

- Central de conmutación de móviles (MSC).
- Registro de posiciones base (HLR).
- Registro de posiciones visitado (VLR).
- Centro de autenticación (AUC)
- Registro de identificación de estaciones móviles (EIR).

6.1.2.2. Sistema de estaciones base

El sistema de estación base, fundamentalmente, es responsable de las funciones de radio en el sistema GSM: gestión de las comunicaciones radio, manejo del traspaso de llamadas entre células en el área bajo su control, control del nivel de potencia de la señal tanto de las estaciones base como de las estaciones móviles etc.

Incluye las siguientes unidades funcionales:
Controlador de estaciones base (BSC).
Estaciones base (BTS).

6.1.2.3. Sistema de operación y mantenimiento

El sistema de operación y mantenimiento, centralizado y remoto, proporcionará los medios necesarios para poder llevar a cabo una eficiente gestión de la red tanto de la parte de conmutación como de la de radio.

Las principales tareas a realizar por este sistema son: gestión de la red celular, administración de abonados, gestión de averías y medidas de funcionamiento de la red de conmutación y de radio.

6.1.3. Interfaz radio

Interfaz Radio es el nombre con el que se conoce la conexión entre la estación móvil (MS) y la estación base (BTS). Para el envío de la señal de radio, se utiliza modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), con las siguientes bandas de frecuencias:

-Enlace as cedente 890-915 MHz (de la MS a la BTS).

- Enlace descendente 935-960 MHz (de la BTS a la MS).
- El espacio entre portadoras de radio es de 200 kHz que permite un número total de canales GSM de 992 (124 portadoras con 8 canales cada una).
- Otra variante la constituye el DCS 1800, con la siguiente asignación de frecuencias:
- Enlace ascendente 1710-1785 MHz (de la MS a la BTS).
- Enlace descendente 1805-1880 MHz (de la BTS a la MS) (374 portadoras).
- Para los casos en los que se precise mayor capacidad en la banda de los 900 MHz podría usarse la banda extendida:
- Enlace ascendente 880-890 MHz (de la MS a la BTS).
- Enlace descendente 925-935 MHz (de la BTS a la MS).

El uso de la banda normal así como de la extendida resulta complicado en muchos países por coincidir exactamente con la banda usada por otros sistemas celulares analógicos. Este es el caso del TACS (Total Access Communication System) en España.

El sistema de acceso utilizado por el GSM es el TDMA (Acceso Múltiple por División en el Tiempo), con una trama TDMA por cada portadora de radio. Cada trama consta de ocho intervalos de tiempo (time slots) y cada uno de ellos se conoce con el nombre de canal físico, por el que se transmite una «ráfaga» de información (fig. 6.1.3.1.). Cada intervalo de tiempo dura $3/5200$ segundos (= 577 fE) y, por lo tanto, una trama dura unos 4,62 ms.

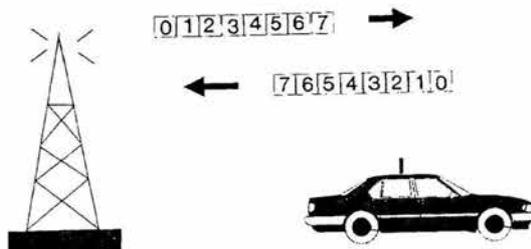


Figura 6.1.3.1. forma de ráfaga al transmitir

A través de esta interfaz se puede enviar una gran variedad de información (datos de abonado, señalización de control, etc.). Dependiendo del tipo de

información transmitida hablamos de diferentes canales lógicos que se envían a través de los canales físicos.

En cuanto a los diferentes tipos de canales lógicos podemos distinguir: Canales de tráfico (TCH), que contienen la información del usuario, o sea, voz codificada o datos. En un principio se utilizan canales de 22,8 kbits/s (full rate), de los cuales 13 kbits/s se utilizan para la codificación de la voz y el resto como bits de corrección de error. En el futuro está prevista la utilización de canales a velocidad mitad (half rate) que permitirán doblar la capacidad del sistema, aunque a costa de una ligera pérdida de calidad. Otra modalidad será también el «Enhanced Full Rate», codificación que con 13 kbits/s logrará una calidad comparable a la que en la actualidad logra la red fija con 64 kbits/s. Todos estos canales podrán mezclarse de forma dinámica sobre los propios TRX (transceptores).

-Canales de control, que contienen la señalización o datos de sincronización. Se dividen a su vez en:

- Canales de Radiodifusión (BCCH). Transmiten de la BTS hacia varias MS información sobre correcciones de frecuencia, sincronización, etc.

- Canales Comunes de Control (CCCH). Transmiten punto a punto (de la BTS a un único MS y viceversa) información para localización del móvil, petición de acceso, etc.

-Canales de Control Dedicados (DCCH). Sirven para la iniciación de las llamadas, envío de informes sobre medidas de potencia o señalizaciones especiales como en el caso de un «handover» o traspaso entre células.

Un ejemplo de cómo los canales lógicos se envían a través de los canales físicos aparece en la figura 6.1.3.2.

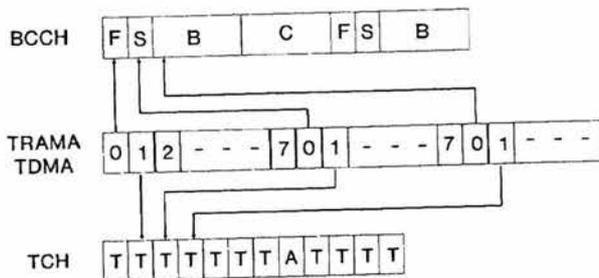


Figura 6.1.3.2. Multiplexado de canales lógicos en físicos

Como ya hemos comentado, la información que va por uno de los intervalos de tiempo se conoce como ráfaga. Hay varios tipos de ráfagas: normal (para los Canales de Tráfico y la mayoría de los Canales de Control), de corrección de frecuencia, de sincronización, de acceso y de falsa trama (esta última no contiene información). La relación entre las ráfagas y la trama TDMA se muestra en la figura 6.1.3.3.

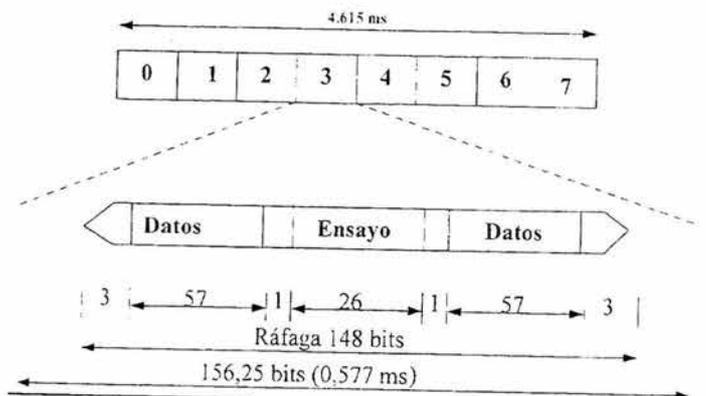


Figura 6.1.3.3. Relación entre las ráfagas y la trama TDMA

Para minimizar en lo posible los errores en recepción provocados por los devanecimientos de la señal de radio, se emplean varios métodos que afectan directamente a la interfaz radio: el «interleaving» que consiste en intercalar los bits de diferentes ráfagas, la codificación de canal que introduce bits de corrección de errores y los saltos de frecuencia que hacen que el móvil utilice intervalos de tiempo de diferentes transceptores siguiendo unos determinados algoritmos.

6.1.4. Conexión a redes e interfaces

Red telefónica básica (PSTN) y Red digital de servicios integrados (ISDN)

Los sistemas de señalización usados entre una MSC y la red telefónica básica (PSTN) o la red digital de servicios integrados (ISDN) están individualmente diseñados para cumplir los requerimientos de las centrales a las cuales las MSC están conectadas. Los sistemas de señalización están basados en el sistema de señalización CCITT No. 7 (señalización por canal común).

La MSC está integrada dentro de la red fija y tiene, para el establecimiento de llamadas, la misma interfaz que utilizan las centrales de la red fija.

La señalización hacia la red telefónica básica se realiza a través de la parte de usuario de telefonía (TUP), y hacia las centrales ISDN a través de la parte de usuario de servicios integrados (ISUP), todo ello dentro del sistema de señalización CCITT No 7.

Para llamadas desde la red fija hacia un abonado móvil, la llamada tiene que ser enrutada hacia una MSC «cabecera» (GMSC), que efectúa la interrogación a los registros de posición para localizar al móvil. Cualquier MSC de la red de móviles puede asumir las funciones de GMSC.

Señalización dentro del sistema de conmutación

La señalización dentro del sistema de conmutación de GSM está basada en las recomendaciones del CCITT para los sistemas de señalización por canal común (CCITT No 7).

Un nuevo esquema de señalización ha sido desarrollado especialmente para las redes GSM. La parte de aplicación de móviles (MAP), elaborada por el ETSI (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación), corresponde a los niveles más altos de señalización entre la MSC y las siguientes entidades: los registros de posición (HLR y VLR), el AUC, el EIR y otras MSC. Los niveles de bajos de la señalización son gestionados por la parte de transferencia de mensajes (MTP) dentro del sistema de señalización CCITT No 7. Entre MAP y MTP se utilizan la parte de aplicación de las capacidades transaccionales (TCAP) y la parte de control de la conexión de señalización (SCCP).

La señalización debe operar internacionalmente entre las redes GSM y los registros de posición. Esta señalización es adicional al tráfico telefónico convencional, puesto que el GSM ha introducido nuevas características tales como el seguimiento internacional y la autenticación. Además de los dos mencionados, otros procedimientos gestionados por la MAP son:

- Traspaso de llamada (cambio de radiocanal en el transcurso de la llamada).
- Transferencia de información de abonado y actualización de la posición del abonado móvil en los registros de localización.
- Gestión de los servicios de abonado.
- Transferencia de datos de seguridad.

6.2. Transmisión De Datos En Sistemas Móviles

Las aplicaciones de transmisión de datos, en las que el usuario utiliza un terminal móvil o un portátil, se están extendiendo rápidamente. En este capítulo se describen diferentes posibilidades para la transmisión de datos utilizando sistemas móviles. Se consideran tanto los sistemas desarrollados específicamente para datos, como los basados en GSM y TETRA.

6.2.1. Aplicaciones Móviles De Datos

Los sistemas móviles han sido desarrollados fundamentalmente para telefonía, tanto en sus aplicaciones públicas (sistemas celulares) como privadas (sistemas PMR). No obstante, cada vez surgen más casos de aplicaciones «no telefónicas». Ejemplo de este tipo de aplicaciones son las siguientes:

-Gestión de flotas de vehículos:

La gestión de flotas de vehículos se ha realizado hasta el momento utilizando sistemas móviles para telefonía. Los sistemas orientados a transmisión de datos presentan en este campo muchas ventajas y permiten la utilización de aplicaciones informáticas específicas. Un caso de particular interés es el que incorpora un sistema de Localización Automática de Vehículos (sistema LAV) asociado al sistema móvil, permitiendo automatizar completamente la gestión de la flota.

-Sistemas de distribución de información

Destinados a la distribución de información «de interés general» hacia los usuarios: económica, tráfico, meteorológica, deportiva, etc.

-Formalización de pedidos

Un sistema de datos permite solicitar ofertas, elaborar presupuestos y formalizar pedidos en "tiempo real" aunque el valor de las partidas dependa de factores complejos o que varían frecuentemente. El cálculo se realizaría en las dependencias de los clientes. Adicionalmente, el pedido se formalizaría también en "tiempo real", reduciendo los tiempos de entrega drásticamente.

-Oficinas móviles

Para trámites bancarios, venta de billetes, etc., utilizando terminales móviles situados en ubicaciones temporales (ferias, congresos, acontecimientos deportivos, etc.).

-Dispositivos de cobro a distancia

-Dispositivos de gestión de tarjetas de crédito, cajeros automáticos, etc., que deban ser usados en ubicaciones temporales o móviles.

-Mensajería bidireccional
Envío de textos cortos entre dos usuarios.

-Correo electrónico
Aplicaciones de correo electrónico para usuarios móviles.

-Consultas y actuaciones relativas a bases de datos

-Mediante un terminal móvil transportable pueden efectuarse consultas y actuaciones para diferentes aplicaciones: consultas clínicas, acceso a fichas técnicas durante reparaciones, actualización de lecturas de contadores en «tiempo real» (gas, electricidad, etc.)

-Sistemas de recolección de datos, telemando y telemedida
En ciertos casos existe la necesidad de recopilar en un punto centralizado medidas efectuadas por lectores remotos (intensidad de tráfico, temperatura, caudal de ríos, velocidad del viento, radiactividad, etc.). El tráfico medio de estos dispositivos es extremadamente bajo, y no justifica la utilización de circuitos de datos convencionales.

-Transferencia de archivos
Volcado de relativamente grandes cantidades de información. Por ejemplo, ciertas aplicaciones de reparación de ordenadores y aplicaciones de transmisión de documentos gráficos.

Del análisis de estas aplicaciones, se derivan las siguientes conclusiones:

- La mayoría de las aplicaciones suelen ser de tipo interactivo y están basadas en reducidos intercambios de datos entre los usuarios móviles y un sistema informático fijo.

- Suelen dominar las aplicaciones de despacho tipo «grupo cerrado de usuarios».

- Son pocas las aplicaciones que requieren el intercambio de archivos, o grandes cantidades de datos, entre ambas partes.

- Un sistema móvil de transmisión de datos debe actuar como una «plataforma» que proporciona un servicio de transporte. Sobre este servicio de transporte se desarrollarán las oportunas aplicaciones.

6.2.2. Posibilidades De Transmitir Datos En Los Sistemas Móviles

Actualmente existen las siguientes posibilidades para transmitir datos mediante sistemas móviles:

-Sistemas de radiomensajería

Estos sistemas pueden considerarse como sistemas móviles para transmisión de datos, en tanto que permiten el envío de un mensaje (numérico o caracteres) hacia un terminal móvil, comportándose como un sistema que opera en modo paquete. Sin embargo, su carácter unidireccional descarta que puedan ser utilizados para cualquier tipo de aplicación transaccional. Existen algunos operadores de radiomensajería que han indicado su deseo de convertir sus redes en bidireccionales.

-Sistemas de radiotelefonía privada de tipo «convencional» y tipo «trunking»

Diseñados para la aplicación telefónica, pueden ser utilizados para ciertas aplicaciones de datos. Los sistemas «trunking» permiten el envío de mensajes de estado y datos cortos, a través del canal de control, y también la utilización de los canales de tráfico de forma transparente mediante la utilización de módems. Al utilizar estos sistemas deben aceptarse las limitaciones derivadas de que los protocolos de control del enlace radio han sido diseñados para la aplicación telefónica.

-Sistemas celulares analógicos

Adolecen de las mismas limitaciones que los sistemas «trunking», agravadas por el mayor tiempo empleado para el establecimiento de la llamada, si bien como contrapartida ofrecen el beneficio derivado de una mejor cobertura. Algunos operadores de sistemas celulares analógicos, principalmente en los EE.UU., han implantado sistemas que utilizan los canales que deja libres el tráfico de telefonía para cursar tráfico de datos. Esta solución requiere una modificación de las estaciones base, y la incorporación de unos centros de control específicos. Por su complejidad, su implantación ha sido bastante limitada.

-Sistema GSM/DCS

Desde el principio de la definición del estándar, el GSM incorporó facilidades específicas para transmisión de datos, que reducen algunas de las dificultades inherentes a los sistemas celulares analógicos. Posteriormente, se han incorporado al estándar técnicas específicas que lo convierten en una alternativa muy interesante para todo tipo de aplicaciones.

-Sistemas «sólo datos»

Aunque de forma limitada, se han implantado sistemas móviles diseñados específicamente para aplicaciones de datos transaccionales en entornos móviles. Estos sistemas incorporan una interfaz radio eléctrica y unos protocolos diseñados

para el tráfico de paquetes de datos. Normalmente estos sistemas constituyen una plataforma de transporte de paquetes entre usuarios móviles y puntos de acceso de usuarios fijos, sobre la que pueden desarrollarse aplicaciones específicas para cada tipo de usuario.

-Sistema TETRA

El sistema «trunking» digital TETRA constituye una alternativa para las aplicaciones de datos, tanto en su versión «voz+datos», como en la de «sólo datos». Este sistema, definido por el ETSI, ha sido optimizado para comunicaciones móviles de tipo profesional (por ejemplo, aplicaciones de grupos cerrados de usuarios).

6.2.3. Tipos De Sistemas Móviles Exclusivos Para Datos

Al igual que en las redes fijas, la transferencia de datos en un sistema móvil puede realizarse mediante dos técnicas diferentes:

- Transmisión en modo circuito.
- Transmisión en modo paquete.

Los sistemas que utilizan la transmisión en modo circuito asignan un recurso de transmisión durante toda la sesión de trabajo, independientemente de que se transmitan o no realmente datos. En estos sistemas, las interfaces de acceso tendrán especificados sólo los niveles físico y de control de enlace.

Los sistemas que utilizan la transmisión en modo paquete utilizan los recursos de transmisión exclusivamente cuando se envían datos, estando éstos estructurados como paquetes de información de la misma forma que en las redes convencionales de paquetes. En estos sistemas las interfaces de acceso tendrán especificado además el nivel de red o nivel 3.

De igual manera que en las redes fijas de conmutación de paquetes, los sistemas móviles de datos en modo paquete pueden pertenecer a dos categorías.

- Sistemas sin conexión, donde cada paquete se encamina independiente mente hacia el destinatario. Equivale a servicio de datagrama, cada paquete es autónomo e incluye información sobre su destino.

- Sistemas con conexión, donde se prepara el sistema al inicio del envío de una serie de paquetes. Equivale al servicio de llamada virtual. En estos sistemas el proceso de transmisión de los datos se divide en tres fases: establecimiento de la llamada, transferencia de los datos y liberación de la llamada.

6.2.4. Comparación Entre Transmisión En Modo Circuito Y En Modo Paquete

Los sistemas de transmisión en modo circuito presentan principalmente la ventaja de su mayor sencillez, pudiendo aprovecharse fácilmente los sistemas diseñados para telefonía. La eficiencia de estos sistemas es muy baja salvo en el caso de aplicaciones de volcado de archivos.

Por otra parte, los sistemas de transmisión en modo paquete tienen las siguientes ventajas:

- Mayor eficiencia en el uso del espectro radio eléctrico (un circuito radioeléctrico puede dar servicio a unos 1000 usuarios, asumiendo unos valores de tráfico y grado de servicio normales).
- Mayor facilidad para implantar aplicaciones punto-multipunto.
- Permiten aplicar tarifas basadas en el volumen de datos transmitidos, en lugar de en el tiempo de asignación de un circuito.
- Permiten la aplicación de nuevas posibilidades como la utilización de niveles de prioridad, entrega diferida de los mensajes, etc.

6.2.5. Características Generales De Los Sistemas Móviles Para Datos En Modo Paquete

Se identifican seguidamente algunas de las características más importantes de los sistemas móviles basados en una técnica de paquetes.

6.2.5.1. Parámetros del sistema

En un sistema móvil de datos en modo paquete pueden ser distinguidos los siguientes parámetros de interés general:

- Tiempo de tránsito: Es el tiempo que transcurre desde que un paquete es entregado en el punto de origen del sistema hasta que aparece en el punto de destino. Este tiempo depende del factor de carga del sistema.
- Tiempo de establecimiento de la llamada: En un sistema con conexión es el tiempo transcurrido en la fase de establecimiento de la llamada, anterior al envío del primer paquete de datos.
- Tiempo de reposición de una llamada: Análogo al anterior para el caso de la reposición.

-Flujo máximo de transmisión: Capacidad neta máxima en términos de bits, octetos u otro tipo de unidad de volumen de información que puede transmitir un usuario en la hora cargada sin que el tiempo de tránsito sobrepase el límite prefijado.

-Longitud máxima de los paquetes: Número máximo de unidades de información (bits, octetos, etc.) que puede tener un paquete.

-Tiempo máximo de almacenamiento: Período máximo de almacenamiento de un mensaje en caso de que el destinatario no pueda ser alcanzado.

6.2.5.2. Funciones

Un sistema móvil de datos en modo paquete debe incorporar las siguientes funciones.

-Función de «itinerancia»: Los sistemas deben soportar la facilidad de seguimiento de los móviles cuando éstos se desplazan entre las distintas células radio, actualizando automáticamente su posición, de forma que puedan recibir cualquier transmisión de datos, independientemente de su localización.

-Función de «traspaso»: En sistemas con conexión, la función de «traspaso» debe entenderse como la que asegura que una llamada virtual establecida no es interrumpida cuando el usuario cambia de célula.

-Seguridad: Es necesario proteger al sistema frente a accesos de usuarios no autorizados. Esto puede conseguirse mediante la utilización de palabras clave para el acceso, y la posibilidad de que el sistema pueda denegado a ciertos terminales, por ejemplo cuando éstos han sido robados.

Además el sistema puede incluir algoritmos de cifrado para impedir la «escucha» ilegal de las transmisiones. En otros casos, este cifrado de la información de usuario puede realizarse por la propia aplicación, independizando esta función del sistema de radio.

-Capacidad de almacenamiento de mensajes: Capacidad para poder almacenar los mensajes y retransmitidos cuando sea posible, evitando de esta manera el envío de mensajes de forma repetitiva a móviles que están situados fuera de cobertura.

-Ahorro de energía en terminales móviles: El principal consumo de batería en los terminales portátiles se produce al tener que alimentar continuamente el receptor para que pueda recibir cualquier paquete de datos enviado por la red. Los sistemas de datos en modo paquete pueden incorporar la posibilidad de que el

receptor «despierte» exclusivamente en determinados momentos (recepción discontinua), reduciendo de esta manera el consumo de energía.

6.2.6. Características De Los Sistemas Exclusivos Para Datos

En un sistema móvil dedicado exclusivamente al tráfico de datos y basado en técnicas de paquetes pueden identificarse las siguientes características.

6.2.6.1. Arquitectura

La función de un sistema móvil de datos es permitir la comunicación de datos entre un conjunto de terminales fijos y móviles a través de su infraestructura.

La infraestructura de un sistema móvil de datos se compone fundamentalmente de tres subsistemas, tal como se muestra en la figura 6.2.6.1.1:

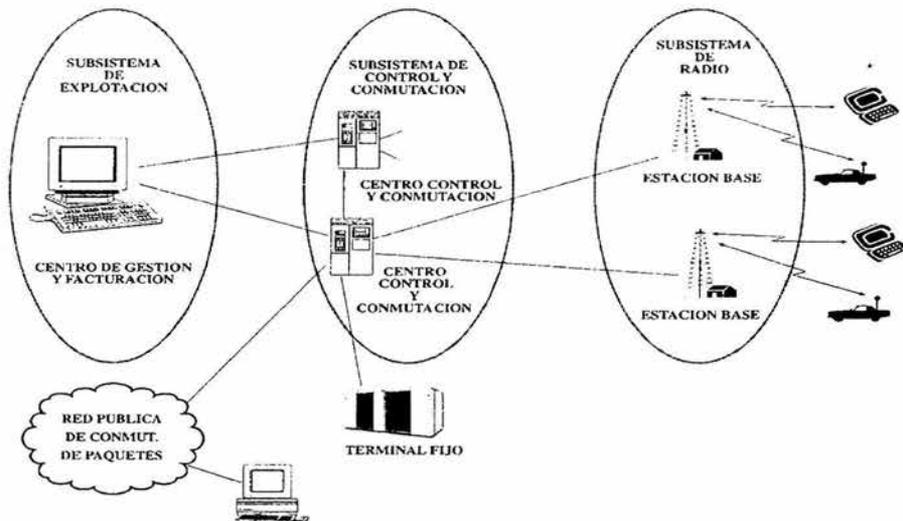


Figura 6.2.6.1.1 Arquitectura

- El subsistema de control y conmutación.
- El subsistema de explotación.
- El subsistema radio.

El subsistema de control y conmutación está constituido por un conjunto de centros de control y conmutación unidos entre sí, y conectados a su vez con las redes públicas de datos y con los terminales fijos.

La conexión entre los centros de control y conmutación se realiza en algunos sistemas mediante enlaces dedicados, mientras que otros utilizan para esa conexión las redes públicas de transmisión de datos en modo paquete.

En algunos casos se utiliza una estructura jerárquica para la interconexión de los centros de control y conmutación.

En la figura 6.2.6.1.2. se representan de manera esquemática las diferentes posibilidades de conexión entre los centros de control y conmutación.

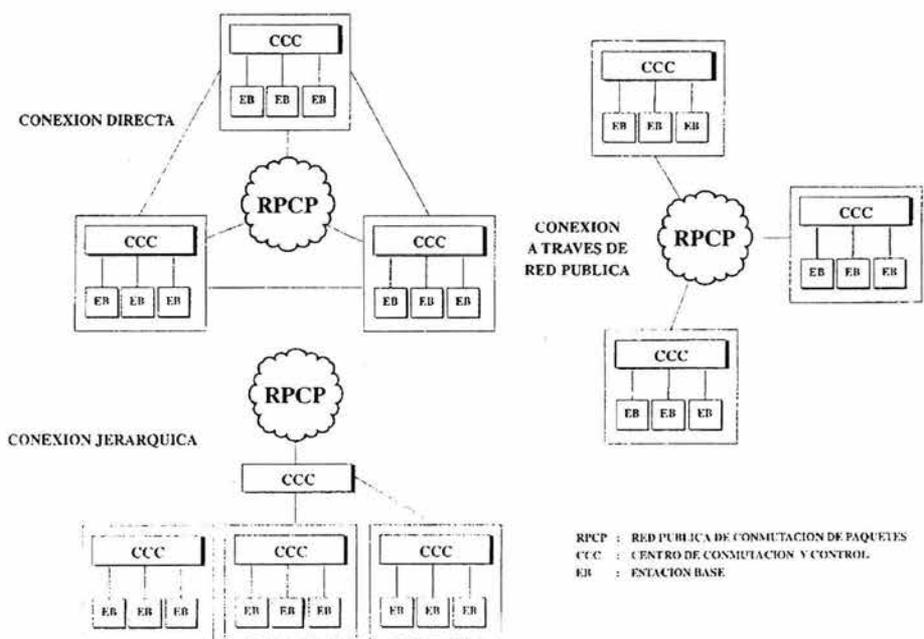


Figura 6.2.6.1.2 Diferentes Posibilidades de Conexión entre los Centros de Control y Conmutación.

El subsistema de explotación integra el centro de gestión, que está conectado a todos los centros de conmutación, y el centro de facturación.

El subsistema radio está formado por un conjunto de estaciones base que proporcionan la cobertura radioeléctrica del sistema.

Por otra parte, los terminales pueden ser móviles, en cuyo caso se conectan al sistema a través de las estaciones base, o fijos. La conexión a la red de los terminales fijos puede efectuarse por diferentes procedimientos, tal como se describe más adelante.

6.2.6.2. Elementos del sistema

Un sistema de este tipo consta de los elementos que se describen a continuación.

6.2.6.2.1. Centros de control y conmutación

Los centros de control y conmutación son los encargados del encaminamiento de los mensajes a los distintos puntos terminales de la red.

Estos centros están constituidos fundamentalmente por una unidad de control, una unidad de conmutación y un conjunto de interfaces que les permiten conectarse a los terminales fijos, a las estaciones base y a las redes públicas de datos.

Los sistemas organizados según estructura jerárquica utilizan más de un nivel de centros de conmutación, con el fin de reducir el costo de las conexiones de estos centros, y disminuir la carga de tráfico que circula entre ellos

6.2.6.2.2. Centro de gestión de red

El centro de gestión es el elemento utilizado por el operador del sistema para realizar las funciones de configuración, supervisión, control y gestión de la red. Este centro contiene normalmente toda la información particular relativa a los usuarios y también es el encargado de recopilar la información de tarificación.

6.2.6.2.3. Estaciones base

Las estaciones base están constituidas por una interfaz de línea para su conexión al centro de control y conmutación del que dependen, una parte de

control, un grupo de transceptores y un conjunto de elementos de radiofrecuencia (combinadores, multiacopladores, antenas...).

Las estaciones base constituyen los puntos de enlace del sistema con los terminales móviles, realizando, por lo tanto, la conversión del protocolo utilizado en la radio al protocolo de línea usado en su conexión con el centro de control y conmutación.

6.2.6.2.4. Equipos móviles

Los equipos móviles se constituyen por dos partes que están claramente diferenciadas: el terminal de datos, y radiomódem. A partir de esta definición puede entenderse fácilmente que existirán dos tipos de equipos móvil:

Los terminales compuestos, que son aquellos constituidos por un terminal de datos, y un radiomódem separad. En este caso, el terminal de datos se conecta al radiomódem utilizando la interfaz móvil definida en el sistema.

Los terminales integrados, que son aquellos que contienen en el mismo equipo el terminal de datos y el radiomódem. En estos casos la interfaz móvil no es accesible externamente, existiendo sólo desde el punto de vista lógico

6.2.6.2.5. Terminales fijos

Los terminales fijos serán sistemas informáticos más o menos complejos equipados con capacidad para utilizar la interfaz fija del sistema. Su potencia dependerá del tipo de aplicación y variará desde un ordenador personal hasta un complejo sistema informático.

6.2.6.3. Interfaces

En la figura 6.2.6.3. están representadas todas las interfaces que existen en el sistema.

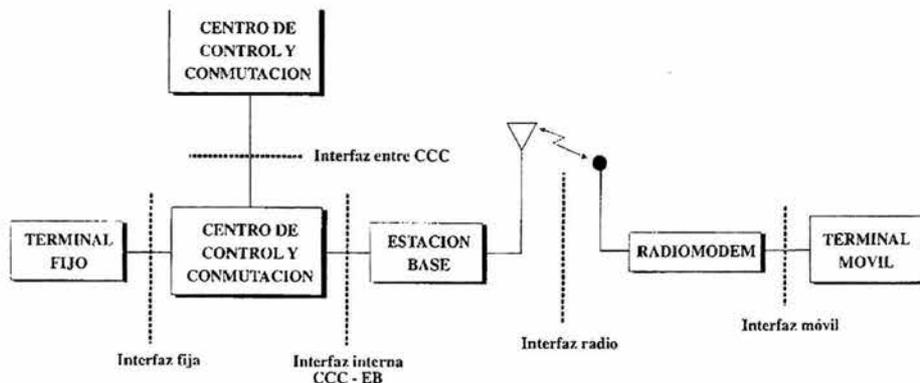


Figura 6.2.6.3. Interfaces que Existen en el Sistema.

A continuación se describen las más importantes: la interfaz radio y las interfaces de acceso de los terminales móviles y fijos.

6.2.6.3.1. Interfaz radio

La interfaz radio hace posible el intercambio de paquetes de datos entre los terminales móviles y los órganos de control del sistema, desde donde son transmitidos (o recibidos) hacia (o desde) los usuarios fijos. Esta interfaz debe asegurar la siguiente funcionalidad:

- Gestión y control de la conexión «extremo a extremo» en sus dos modos: datagrama y/o llamada virtual.
- Corrección y control de los errores producidos en el trayecto radio.
- Control del flujo de transmisión.
- Facilidades de diagnóstico (información sobre causas de funcionamiento anormal)..

- Esta interfaz debe tener además las siguientes propiedades:
- Posibilitar una operación multicanal en zonas de alto tráfico.
- Asegurar una alta eficacia en la utilización del espectro.
- Facilitar el seguimiento «roaming» de los terminales.
- Asegurar una tasa muy baja de paquetes erróneos y perdidos.
- Asegurar un mínimo retardo en la transmisión de los paquetes.
- Tener capacidad para detectar terminales no alcanzables (p.e., fuera de cobertura), y poder almacenar y retransmitir posteriormente los mensajes destinados hacia estos terminales.
- Permitir el ahorro de batería, básicamente en los terminales portátiles.

La interfaz radio puede o no ser abierta. Una interfaz abierta permite liberalizar el mercado de los radiomódems, mientras que, por el contrario, una interfaz propietaria obliga a que dicho elemento sea del mismo fabricante que el resto del sistema.

La interfaz se estructura en 3 niveles: nivel físico (nivel 1), nivel de enlace (nivel 2) y nivel de red (nivel 3). La funcionalidad asignada a estos tres niveles se describe seguidamente.

6.2.6.3.1.1. Nivel físico/nivel 1

Este nivel se encarga de la transmisión de los «paquetes de bits» por la interfaz radio.

Las principales funciones que se incluyen en este nivel son las siguientes:

- Modulación y demodulación.
- Transmisión y recepción radioeléctrica (incluida la diversidad).
- Control de potencia.
- Recepción discontinua.
- Criptografía (caso de utilizarla).

- Corrección de errores hacia adelante (FEC) cuando se usan determinadas técnicas (caso de codificación Tels).

Este nivel define, por tanto, las características asociadas con la técnica utilizada para la transmisión/recepción de los datos: banda de frecuencia, canalización de la banda de frecuencia, parámetros de radiofrecuencia, etc.

6.2.6.3.1.2. Nivel de enlace/nivel 2

Este nivel tiene encomendada la gestión y el control del flujo de información en la interfaz radio, utilizando para ello los recursos de transmisión que le son ofrecidos por el nivel 1.

Los sistemas actuales utilizan una técnica de multiplexado por división en el tiempo del canal radio (MDT-AMDT), si bien en sistemas de alto tráfico pueden utilizarse varios canales radio mediante una técnica mixta AMDT/AMDF.

Las principales funciones que se incluyen dentro de este nivel son las siguientes:

- Acceso múltiple.
- Control del acceso de los terminales móviles al sistema. Normalmente se utilizan técnicas ALORA o CSMA.
- Entrelazado de bits.
- Control de los errores de transmisión, mediante la utilización de técnicas de corrección de errores hacia adelante (FEC), detección y retransmisión (ARQ) y entrelazado.
- Recuperación del canal en caso de bloqueo.
- Construcción e interpretación de la trama.

El control de las peticiones de acceso de los diferentes terminales móviles al sistema es una de las tareas clave incluidas dentro del nivel de enlace. Los sistemas actuales utilizan normalmente dos tipos de técnicas de acceso:

- Técnicas de tipo ALOHA. En este caso las estaciones móviles transmiten de forma aleatoria en el canal ascendente. Para evitar en lo posible las colisiones se utilizan procedimientos adicionales como: ranurar el canal (ALORA ranurado), establecer tramas de acceso (ALOHA ranurado con trama de acceso), e incluso, hacer que el número de intervalos de la trama de acceso sea variable (ALOHA ranurado con longitud de trama de acceso variable).

- Técnica de acceso por detección de portadora (CSMA/DSMA). En este tipo de técnica, cuando un móvil desea enviar datos, tiene en cuenta una señal transmitida por la estación base que le indica si el canal está o no siendo utilizado por otra estación móvil. De esta forma se consigue una mayor eficiencia que utilizando una técnica ALOHA. Para evitar también en lo posible las colisiones, esta técnica básica se complementa también con otros procedimientos como ranurar el canal.

Los protocolos incorporados en este nivel están dotados de los adecuados mecanismos de temporización para evitar el bloqueo del enlace en caso de funcionamiento anormal por problemas de transmisión radio eléctrica en el enlace radio.

6.2.6.3.1.3. Nivel de red/nivel 3

El nivel de red gestiona el tránsito de los paquetes entre puntos terminales, lo que en estos sistemas significa entre el terminal móvil y el centro de conmutación y control. En el centro de control se efectúa la oportuna conversión a los protocolos utilizados para la comunicación con los terminales hijos.

Las funciones encomendadas a este nivel pueden dividirse en dos grupos: funciones destinadas al intercambio de datos y funciones destinadas a gestionar la movilidad de los usuarios móviles.

Dentro del primer grupo se encuentran las siguientes funciones:

- Estructuración de los paquetes de datos.
- Encaminamiento de los paquetes.
- Gestión de colas, control de flujo y gestión de niveles de prioridad.
- Establecimiento y reposición de llamadas (en el caso de sistemas con conexión).

Dentro del segundo grupo se incorporan las siguientes funciones:

- Selección de sistema y estación base (sólo para terminales móviles).
- Registro.

- Traspaso (en sistemas con conexión).
- Control de móviles apagados
- Detección de móviles fuera de cobertura.

6.3. Acceso Múltiple En Sistemas De Comunicaciones Personales

En cualquier sistema de radio celular, o de comunicaciones personales en general, un cierto número de usuarios se comunica con una estación de base que, a su vez, da acceso a la red fija mediante portadores adecuados (fibra o cable).

El despliegue de los sistemas celulares y de los teléfonos sin cordón domésticos comenzó en la década de los ochenta. Todas las normas que soportaban estos sistemas eran analógicas, utilizaban modulación de frecuencia, con acceso FDMA, ocupando un ancho de banda de 12,5 a 30 kHz y señalización en banda de base. A medida que fueron extendiéndose e incrementándose el número de usuarios, fue necesario desarrollar sistemas digitales capaces de soportar nuevos servicios y facilidades ofreciendo, además, una mejora en la calidad de las comunicaciones y, sobre todo, incrementando su capacidad. Así surgieron los llamados «sistemas de segunda generación».

El diseño de cualquier sistema de comunicaciones personales está muy condicionado por la interfaz radio eléctrica que utilice. En realidad, la capacidad de los componentes y elementos de la red fija, o de la red de transmisión, no suele ser una limitación ni un problema fundamental en el diseño de los sistemas de comunicaciones móviles. La interfaz radioeléctrica, sin embargo, ejerce una considerable influencia en el diseño de todo el sistema, pudiendo llegar a condicionar su costo e incluso muchas cualidades operacionales, entre ellas la eficiencia espectral (Erlangs/MHz/km²) determinando el grado de aprovechamiento del espectro disponible.

Los sistemas de comunicaciones móviles y personales se basan en un concepto básico: la reutilización. Se comparten las frecuencias portadoras, los intervalos de tiempo, los códigos, etc., que se asignan a los usuarios en una célula, asignando los mismos recursos en otra célula suficientemente alejada, de acuerdo con el procedimiento de acceso múltiple elegido.

6.3.1. Esquemas Básicos De Acceso Múltiple

Normalmente, los esquemas de acceso múltiple que utilizan los sistemas reales hacen uso simultáneamente de varias técnicas básicas, aprovechando las ventajas de cada una de ellas y tratando de minimizar sus inconvenientes.

Los principales métodos para conseguir acceso múltiple son:

-Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA). Atiende a las llamadas en diferentes frecuencias. Es útil tanto en sistemas analógicos de primera generación como en los sistemas digitales de segunda generación.

-Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA). Atiende a las llamadas en diferentes intervalos de tiempo «time slot» dentro de una misma frecuencia. Sólo es aplicable en comunicaciones digitales y en los sistemas actuales se usa en combinación con el FDMA.

-Acceso Múltiple por División de Código (CDMA). Los usuarios comparten todo el espectro pero usan diferentes secuencias de código, para separar las comunicaciones, como se describe más adelante.

-Acceso Múltiple por División Espacial (SDMA). Se atiende a las llamadas mediante antenas de haces puntuales. Las llamadas que se cursan desde puntos diferentes pueden soportarse en la misma frecuencia.

-Acceso Múltiple por División de Polarización (PDMA). Se atiende a diferentes llamadas con canales radio eléctricos con diferentes polarizaciones. No es aplicable a las comunicaciones móviles por razones obvias.

-Acceso Múltiple por Reserva de Paquete (PRMA). Permite cursar un número de llamadas superior al de «time slot» disponibles en los sistemas TDMA convencionales. Se puede considerar como una combinación de un TDMA convencional y un ALOHA ranurado. Los canales inactivos en un instante dado, se ponen a disposición de otros usuarios, activos en ese instante, que los ocupan. Es evidente que bajo determinadas situaciones de tráfico, la calidad de las comunicaciones soportadas por algunos canales puede verse severamente degradada.

6.3.1.1. Combinación FDMA / TDMA

La técnica más usada en los sistemas de comunicaciones móviles digitales es una combinación de FDMA y TDMA, de modo que la comunicación se soporta sobre un canal físico constituido sobre una portadora, elegida entre las disponibles, que se utiliza para una comunicación concreta sólo durante un cierto intervalo de tiempo, estando el resto del tiempo disponible para otros usuarios. De este modo se consigue un cierto número de canales por portadora, normalmente del orden de ocho. Esto constituye una clara ventaja de la combinación TDMA/FDMA frente a su predecesor en los sistemas analógicos, el FDMA puro, porque dado un cierto número de portadoras el número de canales soportado es mucho mayor. Además se logra una cierta economía ya que los equipos transceptores y módems de la estación de base se comparten entre un cierto número de usuarios. Su utilización implica suponer que la transmisión es en ráfagas.

El principal inconveniente del TDMA/FDMA es que el ancho de banda se incrementa al usar la combinación TDMA/FDMA frente a la que se necesita en un FDMA puro.

Las interferencias entre usuarios se previenen mediante un estricto control de los «time slot» asignados, tiempos de guarda y procedimientos muy estrictos de control de tiempos, por ejemplo para evitar solapamientos debido a diferentes retardos de propagación.

La complejidad de los transceptores TDMA/FDMA no es muy alta, comparada con otros métodos de acceso múltiple. La envolvente de la potencia radiada es pulsada, lo que debe tenerse en cuenta en el diseño de las etapas de RF; una velocidad de transmisión elevada puede exigir una ecualización para prevenir el desvanecimiento multitrayecto, si bien al ser la transmisión en ráfagas cortas, puede considerarse que el canal es prácticamente invariante durante ellas.

6.3.1.2. Combinación CDMA/FDMA

En un sistema CDMA no es necesario utilizar la división de frecuencia o de tiempo. Solamente se separan las bandas del enlace ascendente y del descendente mediante una técnica de FDD.

En los sistemas que se han propuesto en la actualidad se distinguen dos tendencias: la utilización del CDMA de banda estrecha, como hace la norma IS-95, y el CDMA de banda ancha. Este último expande los datos sobre un ancho de banda de 10 MHz, mientras que el primero lo hace en un ancho de banda de 1,25 MHz. En este caso se ha puesto de manifiesto, en alguna ocasión, que resulta

ventajoso operar en un modo FDMA/CDMA en situaciones en las que se dispone de un cierto ancho de banda, pero no en forma de una única banda continua.

El CDMA de banda ancha exhibe una cualidad importante: es posible solapar células cubiertas con estos sistemas y, simultáneamente, con sistemas de banda estrecha como el AMPS, provocando simplemente una reducción en la capacidad del sistema CDMA. Esta propiedad permite la migración de los sistemas actuales a los sistemas de CDMA de banda ancha con cierta facilidad.

6.3.2. Capacidad Y Eficiencia Espectral

Establecer una comparación entre los sistemas TDMA y CDMA en términos de su eficiencia espectral es casi imposible, dado que es difícil tener hipótesis de partida similares. Además, la mayor parte de los análisis publicados establecen comparaciones entre sistemas, que pueden encontrarse en diferentes estados evolutivos, y no entre tecnologías.

Las comparaciones entre la capacidad de estos sistemas que se han publicado parten normalmente de hipótesis distintas. Debido a las grandes diferencias entre estas técnicas, resulta difícil incluso imponer las mismas condiciones de partida; de hecho, hay que tener en cuenta también las técnicas de modulación, de compresión y de codificación.

Cuando se habla de capacidades, es necesario precisar si se considera la capacidad del sistema, expresada en $E_r/\text{MHz}/\text{km}^2$, o bien la capacidad celular, expresada en $E_r/\text{MHz}/\text{célula}$. Esta última depende, fundamentalmente, de las características del enlace radio eléctrico, en particular de su comportamiento frente a una interferencia de un nivel dado y también de la eficiencia de la modulación ($\text{bits}/\text{s}/\text{Hz}$). La capacidad del sistema depende de la capacidad celular y de las facilidades que incorpore el sistema para soportar pequeñas células. A la vista de lo anterior, un elemento que también influye en la capacidad de un sistema de comunicaciones móviles, y que los estudios normalmente no contemplan, es la velocidad para la ejecución del traspaso de llamadas que, siendo suficientemente alta, como es el caso del DECT, permite reducir el tamaño de las células drásticamente con lo cual se logra una reutilización de las frecuencias superiores que permite aumentar significativamente la capacidad de los sistemas.

6.4.1. Sistemas Clásicos

Son los sistemas en los que no se efectúa una reutilización apreciable de las frecuencias. En el dominio privado, son sistemas radiomóviles de despacho y

en el público se trata de las primeras soluciones para telefonía móvil en vehículos, caracterizadas por la utilización de una estación base potente y de gran altura y recepción con receptores satélites. Son sistemas analógicos con señalización primitiva mediante C.c. y tonos. Pueden ubicarse en torno a las décadas de los años cincuenta y sesenta. La cobertura era fundamentalmente rural y se empleaban las bandas de VHF baja y alta.

La metodología de cálculo de la pérdida básica de propagación para estos sistemas es de naturaleza fundamentalmente empírica.

Fueron muy utilizados en esta época para los cálculos los ábacos de Bullington], basados en modelos sencillos de difracción. Apenas se disponía de modelos para la propagación en medios urbanos. Quizá el de mayor interés fue el propuesto por Young, sobre la base de medidas efectuadas en Nueva York. Se establecía con este trabajo la línea directriz para la elaboración de modelos en estos medios tan complejos, esto es, la realización de campañas de medidas y ajuste de métodos empíricos a las mismas.

Además de los ábacos, se propusieron también curvas normalizadas de propagación. Una de las primeras familias de curvas fue las de la Recomendación 370 del CCIR (ahora UITR), que se habían utilizado en los años sesenta para la planificación de los servicios de Radiodifusión y Televisión. La primera versión de esta Recomendación presenta las curvas de propagación como aplicables a los servicios de radiodifusión y móviles. Posteriormente, el CCIR elaboró un texto separado, el informe 567 dedicado expresamente a la propagación para servicio móviles, en el que presentaban curvas para medio rural derivadas de las curvas de la Recomendación 370 y adaptadas a las características del servicio móvil.

6.4.2. Sistemas De Primera Generación

Están Incluidos aquí, para el sector privado, los sistemas de señalización digital y concentración de enlaces (trunking) y los sistemas móviles de datos con despacho asistido por ordenador (CADS).

En el sector público, se consideran los sistemas analógicos de telefonía celular. Estos sistemas se desarrollan desde el final de la década de los setenta y llegan a nuestros días. Son típicos del decenio de los ochenta. Subsiste la necesidad de evaluar la pérdida básica de propagación, pero ahora ha de hacerse con mayor precisión, puesto que todos estos sistemas deberán reutilizar las frecuencias.

Además, deben realizarse cálculos de dimensionamiento, con el fin de efectuar la asignación de radio canales a las celdas para atender la demanda de tráfico, con un grado de servicio determinado.

6.4.3. Sistemas De Segunda Generación

Se contemplan aquí los sistemas que están aflorando en la década de los años noventa, cuyos representantes más típicos pueden ser, en el sector público, los sistemas digitales GSM y DCS-1800 para telefonía y ERMES para radiomensajería, los sistemas privados de «trunking digital», como el TETRA, y los de comunicaciones inalámbricas (wireless), como el DECT

Como los tamaños de las celdas son cada vez más reducidos, pasando de miniceldas de 2 km (GSM) a microceldas de unos 500 m (DCS-1800) y picoceldas de 50 m (DECT), es necesario mejorar la precisión de las predicciones. En efecto, un error de cálculo de cobertura de 100 m puede ser admisible en una minicelda pero no en una picocelda. Por otra lado, se exige la cobertura en entornos especiales: túneles viarios, aparcamientos subterráneos, interiores de edificios, etc., lo que conlleva la caracterización de estos nuevos entornos. También adquiere cada vez más importancia la caracterización del canal en banda ancha para la optimización de la operación. Debe subrayarse que los operadores, una vez superada la fase de despliegue de la red móvil, deben consolidar sus objetivos de calidad-cobertura, con un análisis más detallado de las perturbaciones para compensar sus efectos y mejorar la calidad de las comunicaciones.

Una solución que se está estudiando activamente es la que emplea la Teoría Geométrica de la Difracción (GTD) y Teoría Uniforme de la Difracción (UTD), tanto en forma bidimensional (2 D) como tridimensional (3 D) combinada con modelos de dispersión radar y linealización de perfiles. Son de destacar también los nuevos métodos de predicción basados en redes neuronales combinados con medidas. Asimismo, se empiezan a utilizar bases de datos digitales de ciudades para aplicar los más detallados modelos urbanos, tanto en banda estrecha, para el cálculo de la pérdida básica de propagación, como en banda ancha.

6.4.4. Sistemas De Tercera Generación

Podemos incluir en este grupo los sistemas móviles avanzados, y aparecieron en los últimos años del siglo. Se caracterizan por coberturas de microceldas (radio celular de unos 300 m) y picoceldas (radio de unos 30 m) para comunicaciones tanto en exteriores como en interiores.

La planificación y el proyecto de estos sistemas, conocidos generalmente como PCN (Personal Communication Networks) y UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems) e IMT2000, exigen métodos de cálculo de cobertura de 1500 a 2000 MHz y más adelante para 20 y 60 GHz tal vez, y en

recintos reducidos pero con numerosos obstáculos, algunos de los cuales (personas, máquinas) pueden encontrarse en movimiento.

Se dispone ya de los primeros modelos de propagación para radiocomunicaciones en interiores, de entre los que podemos destacar los propuestos por Keenan y Ruiz-Boqué.

Es necesario disponer de modelos de banda ancha para los sistemas de comunicaciones de espectro ensanchado, lo que constituye uno de los objetivos del proyecto RACE R2020 «CODIT».

Se utiliza además con estos sistemas una reutilización «volumétrica» de las frecuencias, por lo cual deben efectuarse estudios de propagación en tres dimensiones.

Se aplican modelos digitales de terreno urbano en plenitud así como tecnologías de GTD-3D para una mayor precisión. Debe subrayarse que cuanto menor es el tamaño de la celda, también lo es la tolerancia o el error admisible en las predicciones, por lo que deben utilizarse métodos cada vez más precisos.

También es necesario efectuar la caracterización de los perfiles de retardo de potencia. De entre los diversos trabajos publicados a este respecto, podemos destacar el de Takeuchi y otros. En estos sistemas avanzados se utiliza ya la asignación dinámica de frecuencias. Deben disponerse de herramientas de simulación para la elección de la estrategia de asignación más conveniente, habida cuenta de las repercusiones que ello tiene sobre el conjunto de los cálculos. Una buena referencia sobre este tema es la de Zhang y otros.

CONCLUSIONES

La evolución del proceso de cálculo de los sistemas de radiocomunicaciones móviles ha seguido una línea paralela al desarrollo de los propios sistemas, siguiendo un proceso de creciente sofisticación.

La ingeniería de los nuevos servicios móviles, particularmente de los de tipo público, debe tender a optimizar los recursos radioeléctricos y la relación calidad/precio, con miras a la adecuada atención a la gran demanda de tráfico que es previsible.

Debe ser una ingeniería «a la medida», a nivel de celda, que incida especialmente en la asignación dinámica de las frecuencias, la precisión en los cálculos de cobertura, la caracterización del canal y su acondicionamiento.

Esta ingeniería debe hacer uso de herramientas informáticas basadas en modelos digitales del terreno, teorías modernas, trayectografía y simulación del canal, en todas las fases del proyecto, desde la planificación hasta la explotación y gestión de la red y del servicio, es decir, más que metodologías de predicción de propagación únicamente, serán necesarias herramientas de planificación. Se abre así un amplio campo a los ingenieros de sistemas radio eléctricos en las áreas de simulación y análisis de los modernos sistemas de comunicaciones digitales y técnicas de diversidad y equalización digital.

Ciertamente los modelos que se elaboren y simulen han de validarse mediante mediciones de campo y de laboratorio, preferentemente en los marcos en tiempo establecidos para este medio.

BIBLIOGRAFÍA

REDES DE COMPUTADORAS,

Protocolos Normas e Interfaces

Uyless Black

Macrobit

REDES DE COMPUTADORAS.

Tanenbaum Andrew

3^{era} Edición Prentice Hall

SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS.

Wayne Tomasi

Prentice Hall

DATA AND COMPUTER COMMUNICATIONS.

Stallings William

Mc. Millan, 4^{ta} Edición.

INTERCONEXION DE REDES: TERMINOS Y ACRONISMOS

Cisco systems

NEWTON´S TELECOM DICTIONARY

Harry Newton

19th updated, CMP books

NETWORKING AND INTERNETWORKING terms

Paul Simoneau

American research group

THE IEEE 802.11 HAND BOOK

Bob O'Hara, Al Petrick

IEEE press

802.11 (Wi*Fi) manual de redes inalambricas

Neir Reid, Ron Seide

Mc Graw Hill

TELECOMUNICACIONES MOVILES

Eugenio Rey

Alfaomega.

REFERENCIA Y PAGINAS UTILIZADAS DE INTERNET

www.intel.com

www.jalercom.com

www.ieee.com

www.bluetooth.com

www.wirelessnetwork.com

www.thefuture.com

www.telecom.gob.mx

www.wireless.uk

www.3g.ar

www.wimax.com

www.altacalidadinalambrica.com.ve

GLOSARIO Y ACRONISMO DE TERMINOS

A.

Activador de LAN.- Tarjeta adaptadora necesaria para realizar la conexión entre una computadora de sobremesa y una red de área local.

Ancho de banda (bandwidth).- Capacidad máxima de transmisión de un enlace. Usualmente se mide en bits por segundo (bps). Es uno de los recursos más caros de toda la red pues el ancho de banda es una limitante para el desarrollo de aplicaciones que requieren transferir grandes cantidades de información a muchos puntos diferentes (multimedia, por ejemplo).

ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network: Red avanzada de agencias para proyectos de investigación).- Red precursora de la actual Internet. Fue desarrollada en la década de 1960 por el Departamento de Defensa de Estados Unidos.

ASK.- Modulación en amplitud.

ATM.- Modo de transferencia asíncrono.

Autenticación.- Proceso mediante el cual se comprueba la identidad de un usuario en la red.

B.

Backbone (Espina dorsal de red).- Es la infraestructura de conexión principal de una red y está constituida por los enlaces de mayor velocidad dentro de dicha red. También es una red de banda ancha para conexiones entre conmutadores.

Banda amplia.- Ruta/circuito de comunicaciones de capacidad media. Suele indicar una velocidad de 64,000 bps a 1,544 Mbps.

Banda ancha.- Ruta /circuito de comunicaciones de gran capacidad. Normalmente implica una velocidad superior a 1,544 Mbps.

Baud (Baudio).- Es el número de elementos de señalización que pueden transmitirse por segundo en un circuito, por ello es la unidad de medida que indica el número de veces que una señal portadora cambia de valor. Su uso más común es en la industria de los módems y las comunicaciones seriales. No debe ser confundido con la velocidad en bps pues, aunque en los primeros módems el número de bauds correspondía a los bps, actualmente los módems de alta

velocidad logran transferencias de hasta 57,400 bps sin que ello signifique que trabajan a 57,400 bauds.

Bit.- Cantidad de información más pequeña que puede transmitirse.

Bps (Bits per second: Bits por segundo).- Unidad de medida que indica los bits por segundo transmitidos por un equipo. Es la medida de velocidad de un módem.

Byte. – Un byte equivale a ocho bits, y un bit corresponde a un 0 ó a un 1 del sistema binario de Base2.

C.

Cableado.- Columna vertebral de cualquier sistema de red, ya que lleva la información de un nodo a otro.

Cable Coaxial.- Cable consistente en un conducto cilíndrico externo hueco que cubre a un alambre conductor único. Suelen emplearse dos tipos de cable coaxial para las redes locales: cable de 50 Ohms, para señales analógicas y para señales de alta velocidad.

Cable telefónico. - Cable formado principalmente por dos alambres de cobre que se encuentran aislados por una cubierta plástica y torcidos uno contra el otro, por lo que también se les llama de par torcido (twisted pair). Son sumamente económicos, flexibles y permiten manipular una señal a una distancia máxima de 110 metros sin el uso de amplificadores.

Canal.- Vía (canalización) de telecomunicaciones con una determinada capacidad (velocidad) entre dos ubicaciones de una red.

Capacidad.- La mayor velocidad de transmisión posible que puede darse en un canal, un circuito o una pieza de equipo. La capacidad puede expresarse como la velocidad bruta o como el rendimiento neto.

D.

Datagrama.- Red no orientada a conexión

Decodificador.- Cualquier dispositivo de hardware o programa de software que convierte una señal codificada a su forma original.

Demodular.- Reconvertir una señal modulada a su forma original, extrayendo los datos de la frecuencia portadora.

Digital.- Dispositivo o método que utiliza variaciones discretas en voltaje, frecuencia, amplitud, ubicación, etc. Para cifrar, procesar o transportar señales binarias (0 ó 1) para datos informáticos, sonido, vídeo u otra información.

Dirección.- Código exclusivo asignado a la ubicación de un archivo almacenado, un dispositivo en un sistema o red, o cualquier origen de datos de una red.

Dirección IP (Internet Protocol: Protocolo Internet).- Dirección única de un dispositivo en una red TCP/IP. Consiste en cuatro números entre 0 y 255 separados por puntos (por ejemplo 200.30.26.67).

E.

E1.- Ancho de Banda hasta 2 Mbps.

E3.- Ancho de Banda hasta 34 Mbps.

Encriptación.- Procedimiento para codificar información a fin de que pueda transmitirse sin peligro de ser interceptada o alterada antes de que llegue a sus destinatarios.

Enrutadores (routers). Los enrutadores determinan la trayectoria más eficiente de datos entre dos segmentos de red.

Ethernet.- Red local desarrollado en forma conjunta por Xerox, Intel y Digital Equipment Corporation que utiliza el protocolo de contención CSMA/CD y que tienen una velocidad de transferencia de 10 Mbps.

F.

FDDI (Fiber Distributed Data Interface: Interfase de datos distribuidos por fibra). - Estándar para transmisión por medio de fibra óptica a velocidades de hasta 100 Mbps.

Fibra óptica.- Un filamento de vidrio sumamente delgado diseñado para la transmisión de la luz. Las fibras ópticas poseen capacidades de transmisión enormes, del orden de miles de millones de bits por segundo.

G.

Gigabyte. 1,000 megabytes.

H.

Hardware. Parte física de la computadora y los diversos periféricos o productos asociados que hacen posible la ejecución de programas. Entre los distintos componentes de hardware podemos mencionar un CPU, un monitor externo o una impresora láser.

HDLC.- (High level data link control) Control de enlace de alto nivel.

I.

IP (Internet Protocol: Protocolo Internet). Protocolo que provee las funciones básicas de direccionamiento en Internet y en cualquier red TCP/IP.

IPX (internetworking Packet Exchange: Intercambio de paquetes entre redes). Protocolo de comunicaciones de NetWare de Novell utilizado para la transferencia de datos entre los nodos de una red.

ISDN (Red digital de servicios integrados, también llamada RDSI). Juego de normas de la transmisión simultánea a gran velocidad de voz, datos e información a través de menos canales de los que serían necesarios de otro modo, mediante el uso de la señalización fuera de banda.

Internet. La llamada "red de redes" creada de la unión de muchas redes TCP/IP en el ámbito internacional y cuyos antecedentes están en la ARPANET. También se llama así a la conexión entre dos o más redes.

Intranet. Red de uso privado que emplea los mismos estándares y herramientas de Internet. Es uno de los segmentos del mercado de computación que más impulso está cobrando.

J.

Java. Lenguaje de programación independiente de la plataforma creado Por Sun Microsystems. Está pensado expresamente para una arquitectura cliente/servidor en la que sólo es necesario intercambiar pequeñas porciones de código (llamadas Applets) que son ejecutados por el cliente.

K.

Kbps. Kilo bits por segundo.

KBps. Kilo bytes por segundo.

Kilobyte. Un kilobyte equivale a 1.024 bytes

L.

LAN (Local Area Network- Red de área local). Conjunto de computadoras y otros dispositivos comunicados entre sí dentro de un área relativamente pequeña. También es un tipo de conectividad que conecta entre sí todas las computadoras personales situadas dentro de la misma planta de un edificio o departamento de una empresa, a fin de que los usuarios puedan compartir archivos y recursos, y enviar o recibir correo electrónico.

M.

MAC. Media Access Control control de acceso medio

Megabyte. Un megabyte equivale a 1,000 kilobytes.

Módem (Modulador-Demodulador). Dispositivo de comunicaciones que convierte los datos digitales de una computadora (ceros y unos) en señales analógicas transmisibles a través de la red telefónica.

Multimedia. Sistemas informáticos que integran audio, video y datos.

Multiusuario. Característica informática a través del cual un sistema operativo o aplicación de software da apoyo a más de un usuario simultáneamente. Las Redes de Área local, son ejemplos de sistemas informáticos multiusuarios.

P.

PPDU.- Protocolo de Datagrama de Usuario en la capa de Presentación.

PPP (Point to Point Protocol: Protocolo punto a punto). Protocolo empleado para realizar conexiones TCP/IP a través de enlaces seriales.

Su uso más común es en las cuentas dial up en las que el usuario se conecta a la red de su ISP por medio de un módem y una línea telefónica.

Protocolo. Conjunto de normas de comunicación. En un contexto informático, se refiere al conjunto de reglas para llevar a cabo una sesión de comunicación en-línea, como por ejemplo, la descarga de un archivo.

Puentes (bridges). Los puentes son dispositivos que tienen usos definidos. Pueden interconectar segmentos de red a través de medios físicos diferentes y adaptar distintos protocolos de bajo nivel (capa de enlace de datos y física de modelo OSI).

R.

RAM (random-access memory: Memoria de Acceso Aleatorio). Facilita el almacenamiento temporal de archivos, siempre y cuando haya un fluido constante de energía eléctrica a través de microprocesadores de silicio. Medido en kilobytes o megabytes.

Red. Sistema de elementos interrelacionados que se conectan mediante un vínculo dedicado o conmutado para proporcionar una comunicación local o remota (de voz, video, datos, etc.) y facilitar el intercambio de información entre usuarios con intereses comunes.

S.

Señal. Cambio de estado orientado a eventos (por ejemplo un tono, cambio de frecuencia, valor binario, alarma, mensaje, etc.).

Software. Se trata de los programas que ejecuta una computadora. Un término sinónimo de programa de software es aplicación.

SPDU.- Protocolo de Datagrama de Usuario en la capa de Sesión.

SYSOP (System Operator: Operador del sistema). Es el responsable de la operación cotidiana de una computadora o un dispositivo de la red.

T.

T1. Conexión dedicada de alta velocidad (1.54 Mbps).

T3. Conexión dedicada de alta velocidad (44 Mbps).

TCP/IP (Transmission Control Protocol / Protocol/Internet: Protocolo de control de comunicaciones / Protocolo Internet). Conjunto de protocolos de comunicaciones desarrollado por la ARPA (Advanced Research Projects Agency: Agencia de proyectos de investigación avanzados) a finales de 1970. Su principal función es comunicar sistemas diferentes.

TDM.- Multiplexaje por división de tiempo.

TDMA.- Acceso múltiple por división de tiempo

Throughput (Transferencia Real)- Cantidad de datos que son transmitidos a algún punto de la red.

Topología. Protocolo de red de comunicaciones que incluye el diseño físico y trazado del esquema de cableado.

Topología de Red. Se refiere a como se establece y se cablea la red. La elección de la topología afectará la facilidad de la instalación, el costo del cable y la confiabilidad de la red. Tres de las topologías básicas de red son la estrella, el bus y el anillo.

Topologías de Anillo. Topología en donde las estaciones de trabajo se conectan físicamente en un anillo, terminando el cable en la misma estación de donde se origina.

Topología de Bus. También llamadas lineales, todas las estaciones se conectan a un cable central llamado "bus". Este tipo de topología es fácil de instalar y requiere menos cable que la topología de estrella.

Topología de Estrella. Topología de red en donde cada estación se conecta con su propio cable a un dispositivo de conexión central, bien sea un servidor de archivo, un concentrador o repetidor.

TPDU.- Protocolo de Datagrama de Usuario en la capa de Transporte.

W.

WAIS (Wide Area information Server: Servidores de información de área amplia). Potente sistema para buscar grandes cantidades de información en forma rápida en Internet, patrocinado por Apple, Thinking Machines and Dow Jones, Inc.

WAN (Wide Area Network- Red de área amplia). Conjunto de computadoras y otros dispositivos comunicados entre sí colocados dentro de un espacio geográfico de amplias dimensiones.