

Redes inalámbricas: IEEE 802.11



Enrique de Miguel Ponce (endemi@eui.upv.es)
Enrique Molina Tortosa (enmotor@eui.upv.es)
Vicente Mompó Maicas (vimommai@eui.upv.es)

INDICE

1. Introducción	3
1.1 Redes inalámbricas.	3
1.2 Orígenes.	4
1.3 Ámbito de aplicación.	5
1.4 Posibilidades de expansión.	6
2. Implantación: Topologías y Configuraciones.....	7
2.1 Peer to peer	7
2.2 Punto de Acceso	7
2.3 Otras configuraciones. Interconexión de redes.....	8
2.4 Conclusiones	9
3. Capa Física	10
3.1 Radiofrecuencia.	10
Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS)	11
Espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS)	13
3.2 Tecnología de Infrarrojos.	15
Clasificación.....	15
Capas y protocolos.	17
4. La Capa MAC	19
4.1 Mecanismos de Acceso	19
Protocolos con arbitraje	19
Protocolos de acceso por contienda	20
4.2 Seguridad.....	23
4.3 Funcionalidad Adicional	23
5. Productos Comerciales Existentes	25
5.1 Apple Airport	25
Punto Acceso.....	25
Tarjeta Pc Card.....	26
5.2 Zoom.....	27
Punto Acceso.....	27
Tarjeta PCMCIA.....	27
Tarjeta PCI.....	28
Software ZoomAir Punto de Acceso	29
Antenas Repetidoras.	30
5.3 3com Airconnect	31
Enlaces a Webs de dispositivos 802.11.....	31
6. Bibliografía	33

1. Introducción

Al igual que las redes tradicionales cableadas vamos a clasificar a las redes inalámbricas en tres categorías.

- WAN/MAN (Wide Area Network/Metropolitan Area Network)
- LAN (Local Area Network)
- PAN¹ (Personal Area Network)

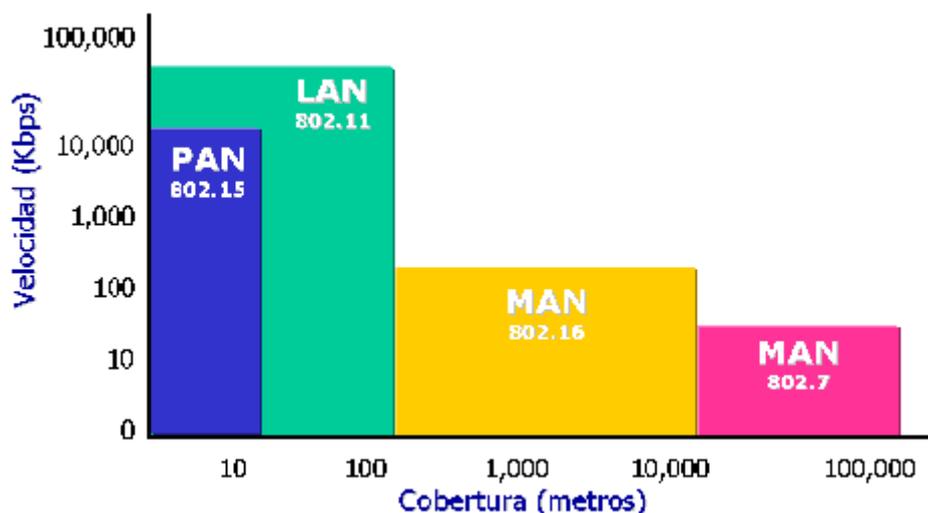


Figura 1: Comparativa Distancia/Velocidad de tipos de redes

En la primer categoría WAN/MAN, pondremos a las redes que cubren desde decenas hasta miles de kilómetros. En la segunda categoría LAN, pondremos las redes que comprenden de varios metros hasta decenas de metros. Y en la última y nueva categoría PAN, pondremos a las redes que comprenden desde metros hasta 30 metros.

La norma IEEE 802.11 estableció en **junio de 1997** el estándar para redes inalámbricas. Una red de área local inalámbrica puede definirse como a una red de alcance local² que tiene como medio de transmisión el aire. Siendo su finalización definitiva para la introducción y desarrollo de los sistemas WLAN en el mercado.

El estándar 802.11 es muy similar al 802.3 (Ethernet) con la diferencia que tiene que **adaptar todos sus métodos al medio NO GUIADO de transmisión**. En este estándar se encuentran las especificaciones tanto físicas como a nivel MAC.

1.1 Redes inalámbricas.

Una red de área local o WLAN (Wireless LAN) utiliza **ondas electromagnéticas** (radio e infrarrojo) para enlazar (mediante un adaptador) los equipos conectados a la red, en lugar de los cables coaxiales o de fibra óptica que se utilizan en las LAN convencionales cableadas (Ethernet, Token Ring, ...).

¹ El concepto de red inalámbrica de área personal o WPAN (Wireless Personal Area Network) se refiere a una red sin cables que se extiende a un espacio de funcionamiento personal o POS (Personal Operating Space) con un radio de 10 metros.

² Red que cubre un entorno geográfico limitado, con velocidad de transferencia mayor o igual a 1 Mbps



Figura 2: Ejemplo de red inalámbrica sencilla

Las redes locales inalámbricas más que una sustitución de las LANs convencionales son una **extensión** de las mismas, ya que permite el intercambio de información entre los distintos medios en una forma transparente al usuario.

En este sentido el objetivo fundamental de las redes WLAN es el de proporcionar las facilidades no disponibles en los sistemas cableados y formar una red total donde coexistan los dos tipos de sistemas. Enlazando los diferentes equipos o terminales móviles asociados a la red.

Este hecho proporciona al usuario una gran **movilidad** sin perder conectividad. El atractivo fundamental de este tipo de redes es la **facilidad de instalación** y el ahorro que supone la supresión del medio de transmisión cableado. Aún así sus prestaciones son menores en lo referente a la velocidad de transmisión que se sitúa entre los 2 y los 10 Mbps frente a los 10 y hasta los 100 Mbps ofrecidos por una red convencional.

Las redes inalámbricas son la alternativa ideal para hacer llegar una red tradicional a lugares donde el cableado no lo permite. En general las WLAN se utilizarán como complemento de las redes fijas.

1.2 Orígenes.

El origen de las LAN inalámbricas (WLAN) se remonta a la publicación en **1979** de los resultados de un experimento realizado por ingenieros de IBM en Suiza, consistente en utilizar enlaces infrarrojos para crear una red local en una fábrica. Estos resultados, pueden considerarse como el punto de partida en la línea evolutiva de esta tecnología.

Las investigaciones siguieron adelante tanto con infrarrojos como con microondas,. En mayo de 1985 el FCC³ (Federal Communications Commission) asignó las bandas IMS⁴ (Industrial, Scientific and Medical) 902-928 MHz, 2,400-2,4835 GHz, 5,725-5,850 GHz a las redes inalámbricas basadas en spread spectrum.

³ Agencia federal del Gobierno de Estados Unidos encargada de regular y administrar en materia de telecomunicaciones

⁴ IMS es una banda para uso comercial sin licencia

La asignación de una banda de frecuencias propició una mayor actividad en el seno de la industria: ese respaldo hizo que las WLAN empezaran a dejar ya el laboratorio para iniciar el camino hacia el mercado. Desde 1985 hasta 1990 se siguió trabajando ya más en la fase de desarrollo, hasta que en mayo de 1991 se publicaron varios trabajos referentes a WLAN operativas que superaban la velocidad de 1 Mbps, el mínimo establecido por el IEEE 802 para que la red sea considerada realmente una LAN.

Hasta ese momento las WLAN habían tenido una aceptación marginal en el mercado por dos razones fundamentales: falta de un estándar y los precios elevados de una solución inalámbrica.

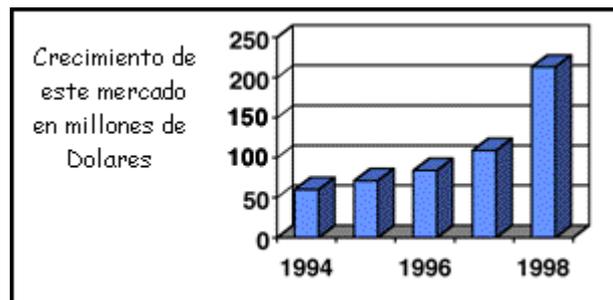


Figura 3: Crecimiento del mercado

Sin embargo, se viene produciendo estos últimos años un crecimiento explosivo en este mercado (de hasta un 100% anual). Y esto es debido a distintas razones:

- El desarrollo del mercado de los equipos portátiles y de las comunicaciones móviles.
- La conclusión de la norma IEEE 802.11 para redes de área local inalámbricas que ha establecido un punto de referencia y ha mejorado en muchos aspectos de estas redes.

1.3 Ámbito de aplicación.

Las aplicaciones más típicas de las redes de área local que podemos encontrar actualmente son las siguientes:

- Implementación de redes de área local en **edificios históricos**, de difícil acceso y en general en entornos donde la solución cableada es inviable.
- Posibilidad de **reconfiguración de la topología** de la red sin añadir costes adicionales. Esta solución es muy típica en entornos cambiantes que necesitan una estructura de red flexible que se adapte a estos cambios.
- Redes locales para **situaciones de emergencia o congestión de la red cableada**.
- Estas redes permiten el acceso a la información mientras el usuario se encuentra en **movimiento**. Habitualmente esta solución es requerida en hospitales, fábricas, almacenes...

- Generación de **grupos de trabajo eventuales** y **reuniones ad-hoc**. En estos casos no valdría la pena instalar una red cableada. Con la solución inalámbrica es viable implementar una red de área local aunque sea para un plazo corto de tiempo.
- En **ambientes industriales** con severas condiciones ambientales este tipo de redes sirve para interconectar diferentes dispositivos y máquinas.
- Interconexión de redes de área local que se encuentran en **lugares físicos distintos**. Por ejemplo, se puede utilizar una red de área local inalámbrica para interconectar dos o más redes de área local cableadas situadas en dos edificios distintos.

1.4 Posibilidades de expansión.

Los productos de red local sin cables, que fueron tan caros, lentos y propietarios, son ahora razonablemente rápidos, estándar y económicos para que se generalice su uso en la empresa. Los usuarios pueden permanecer conectados incluso si van de su despacho a la sala de conferencias con sus portátiles.

En este sentido, las redes locales sin cables le permiten extender su red a cada rincón de su empresa, edificio o domicilio. Los nuevos servicios de redes locales sin cables le proporcionan también acceso a Internet en aeropuertos u hoteles.

Ahora, un **nuevo estándar, denominado IEEE 802.11b**, y un consorcio de fabricación, el **Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA)**, han creado nuevos productos que rompen el techo de la velocidad, garantizan la interoperatividad entre fabricantes y ofrecen precios más bajos. La conectividad sin cables es una forma práctica de extender la red cableada. Para muchos usuarios puede ser la única conexión de red y de Internet que necesitan.

Existen también otros estándares para redes de área local inalámbricas como el ETSI Hiperlan que trabajan en el mismo sentido que el estándar IEEE 802.11.

Sin embargo, las redes inalámbricas con este estándar todavía deben superar un pequeño **problema técnico**: el estándar *802.11b* utiliza la banda de radio correspondiente a los 2,4 GHz, la misma frecuencia utilizada actualmente por millones de teléfonos inalámbricos, hornos microondas y hasta por los mecanismos que regulan el apagado y encendido de las luces públicas en calles y avenidas.

Esto es lo mismo que confesar que si bien multiplico por doscientos la velocidad del módem más veloz, también multiplico por doscientos la vulnerabilidad de mi sistema frente al ataque de cualquier intruso cibernético. En pocas palabras: hay que invertir mucho en **seguridad** antes de plantearse costear una red de datos inalámbrica con este atractivo estándar.

2. Implantación: Topologías y Configuraciones

La versatilidad y flexibilidad de las redes inalámbricas es el motivo por el cual la complejidad de una LAN implementada con esta tecnología sea tremendamente variable. Esta gran variedad de configuraciones ayuda a que este tipo de redes se adapte a casi cualquier necesidad.

Estas configuraciones se pueden dividir en dos grandes grupos, las *redes peer to peer* y las que utilizan *Puntos de Acceso*.

2.1 Peer to peer

También conocidas como **redes ad-hoc**, es la configuración más sencilla, ya que en ella los únicos elementos necesarios son terminales móviles equipados con los correspondientes adaptadores para comunicaciones inalámbricas.

En este tipo de redes, el único requisito deriva del rango de cobertura de la señal, ya que es necesario que los terminales móviles estén dentro de este rango para que la comunicación sea posible. Por otro lado, estas configuraciones son muy sencillas de implementar y no es necesario ningún tipo de gestión administrativa de la red.

Un ejemplo sencillo de esta configuración se muestra en la siguiente ilustración.



Figura 4 – Conexión *peer to peer*

2.2 Punto de Acceso

Estas configuraciones utilizan el **concepto de celda**, ya utilizado en otras comunicaciones inalámbricas, como la telefonía móvil. Una *celda* podría entenderse como el área en el que una señal radioeléctrica es efectiva. A pesar de que en el caso de las redes inalámbricas esta celda suele tener un tamaño reducido, mediante el uso de varias fuentes de emisión es posible combinar las celdas de estas señales para cubrir de forma casi total un área más extensa.

La estrategia empleada para aumentar el número de celdas, y por lo tanto el área cubierta por la red, es la utilización de los llamados *Puntos de acceso*, que funcionan como repetidores, y por tanto son capaces de doblar el alcance de una red inalámbrica, ya que ahora la distancia máxima permitida no es entre estaciones, sino entre una estación y un punto de acceso.

Los *Puntos de acceso* son colocados normalmente en alto, pero solo es necesario que estén situados estratégicamente para que dispongan de la cobertura necesaria para dar servicio a los terminales que soportan.

Un único punto de acceso puede soportar un pequeño grupo de usuarios y puede funcionar en un rango de al menos treinta metros y hasta varios cientos de metros.



Figura 5 – Utilización de un *Punto de acceso*

La técnica de *Punto de acceso* es capaz de dotar a una red inalámbrica de muchas más posibilidades. Además del evidente aumento del alcance de la red, ya que la utilización de varios puntos de acceso, y por lo tanto del empleo de varias celdas que colapsen el lugar donde se encuentre la red, permite lo que se conoce como *roaming*, es decir que los terminales puedan moverse sin perder la cobertura y sin sufrir cortes en la comunicación. Esto representa una de las características más interesantes de las redes inalámbricas.

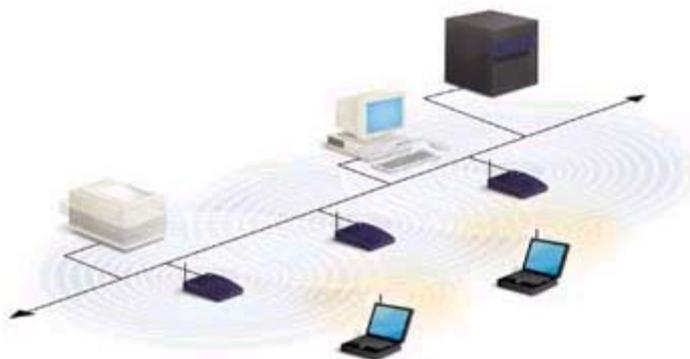


Figura 6 – Utilización de varios Puntos de acceso. Terminales con capacidad de *roaming*

2.3 Otras configuraciones. Interconexión de redes

Las posibilidades de las redes inalámbricas pueden verse ampliadas gracias a la interconexión con otras redes, sobre todo con redes no inalámbricas. De esta forma los recursos disponibles en ambas redes se amplían.

Mediante el uso de antenas (direccionales o omnidireccionales) es posible conectar dos redes separadas por varios cientos de metros, como por ejemplo dos redes locales situadas en dos edificios distintos. De esta forma, una LAN no inalámbrica se beneficia de la tecnología inalámbrica para realizar interconexiones con otras redes, que de otra forma serían más costosas, o simplemente imposibles

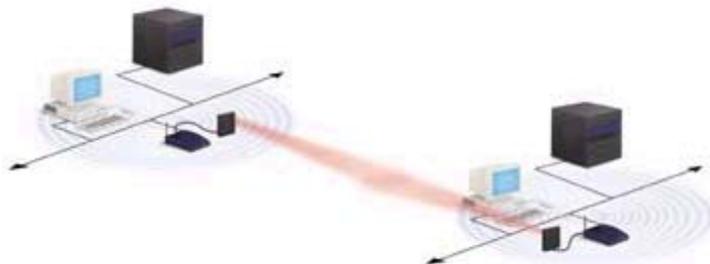


Figura 7 - Interconexión de LAN mediante antenas direccionales

2.4 Conclusiones

Tras observar detenidamente las topologías de las redes inalámbricas, se descubre cual es la verdadera potencia de este tipo de redes. Su **flexibilidad** y **versatilidad** justifican perfectamente su existencia, ya que en circunstancias muy concretas (características de edificios, situación geográfica de otras redes o terminales, necesidad de desplazamiento continuo...) las redes inalámbricas son casi la única solución, permitiendo además una gran variedad de configuraciones, desde la más simple (*peer to peer*) hasta otras más complejas y con más posibilidades (*punto de acceso*)

3. Capa Física

La Capa Física de cualquier red define la modulación y la señalización características de la transmisión de datos.

IEEE 802.11 define tres posibles opciones para la elección de la capa física:

- Espectro expandido por secuencia directa o **DSSS** (Direct Sequence Spread Spectrum),
- Espectro expandido por salto de frecuencias o **FHSS** (Frequency Hopping Spread Spectrum) -ambas en la banda de frecuencia 2.4 GHz ISM-
- y luz **infrarroja** en banda base -o sea sin modular-.

En cualquier caso, la definición de tres capas físicas distintas se debe a las sugerencias realizadas por los distintos miembros del comité de normalización, que han manifestado la necesidad de dar a los usuarios la posibilidad de elegir en función de la relación entre costes y complejidad de implementación, por un lado, y prestaciones y fiabilidad, por otra. No obstante, es previsible que, al cabo de un cierto tiempo, alguna de las opciones acabe obteniendo una clara preponderancia en el mercado. Entretanto, los usuarios se verán obligados a examinar de forma pormenorizada la capa física de cada producto hasta que sea el mercado el que actúe como árbitro final.

3.1 Radiofrecuencia.

Aunque existen dos tipos de tecnologías que emplean las radiofrecuencias, la banda estrecha y la banda ancha, también conocida espectro ensanchado, ésta última es la que más se utiliza.

En mayo de 1985, y tras cuatro años de estudios, el FCC (Federal Communications Commission), la agencia Federal del Gobierno de Estados Unidos encargada de regular y administrar en materia de telecomunicaciones, asignó las bandas IMS (Industrial, Scientific and Medical) 902-928 MHz, 2,400-2,4835 GHz, 5,725-5,850 GHz a las redes inalámbricas basadas en espectro ensanchado. Entre ellas, el IEEE 802.11 incluyó en su especificación las frecuencias en torno a 2,4 GHz que se habían convertido ya en el punto de referencia a nivel mundial, la industria se había volcado en ella y está disponible a nivel mundial.

La tecnología de espectro ensanchado, utiliza **todo el ancho de banda disponible**, en lugar de utilizar una portadora para concentrar la energía a su alrededor. Tiene muchas características que le hacen sobresalir sobre otras tecnologías de radiofrecuencias (como la de banda estrecha, que utiliza microondas), ya que, por ejemplo, posee excelentes propiedades en cuanto a inmunidad a interferencias y a sus posibilidades de encriptación. Esta, como muchas otras tecnologías, proviene del sector militar.

Existen dos tipos de tecnología de espectro ensanchado:

Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS)

En esta técnica se genera un patrón de bits redundante (señal de chip) para cada uno de los bits que componen la señal. Cuanto mayor sea esta señal, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias. El estándar IEEE 802.11 recomienda un tamaño de 11 bits, pero el óptimo es de 100. En recepción es necesario realizar el proceso inverso para obtener la información original.

La secuencia de bits utilizada para modular los bits se conoce como secuencia de Barker (también llamado código de dispersión o *PseudoNoise*). Es una secuencia rápida diseñada para que aparezca aproximadamente la misma cantidad de 1 que de 0. Un ejemplo de esta secuencia es el siguiente:

+1 -1 +1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1 -1 -1

Solo los receptores a los que el emisor haya enviado previamente la secuencia podrán recomponer la señal original. Además, al sustituir cada bit de datos a transmitir, por una secuencia de 11 bits equivalente, aunque parte de la señal de transmisión se vea afectada por interferencias, el receptor aún puede reconstruir fácilmente la información a partir de la señal recibida.

Esta secuencia proporciona 10.4dB de aumento del proceso, el cual reúne los requisitos mínimos para las reglas fijadas por la FCC.

A continuación podemos observar como se utiliza la secuencia de *Barker* para codificar la señal original a transmitir:

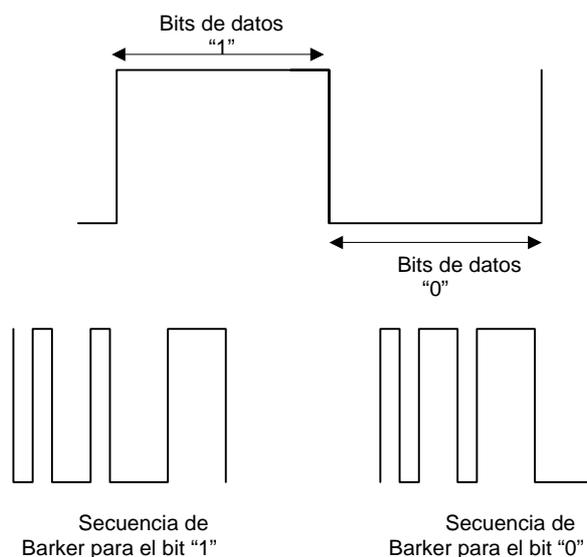


Figura 8: Codificación de Barker

Una vez aplicada la señal de chip, el estándar IEEE 802.11 ha definido dos tipos de modulación para la técnica de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS), la modulación **DBPSK** (Differential Binary Phase Shift Keying) y la modulación **DQPSK** (Differential Quadrature Phase Shift Keying), que proporcionan una velocidad de transferencia de 1 y 2 Mbps respectivamente.

Recientemente el IEEE ha revisado este estándar, y en esta revisión, conocida como 802.11b, además de otras mejoras en seguridad, aumenta esta velocidad hasta los 11Mbps, lo que incrementa notablemente el rendimiento de este tipo de redes.

En el caso de Estados Unidos y Europa la tecnología DSSS utiliza un rango de frecuencias que va desde los 2,4 GHz hasta los 2,4835 GHz, lo que permite tener un ancho de banda total de 83,5 MHz. Este ancho de banda se subdivide en canales de 5 MHz, lo que hace un total de 14 canales independientes. Cada país está autorizado a utilizar un subconjunto de estos canales. En el caso de España se utilizan los canales 10 y 11, que corresponden a una frecuencia central de 2,457 GHz y 2,462 GHz.

En configuraciones donde existan más de una celda, estas pueden operar simultáneamente y sin interferencias siempre y cuando la diferencia entre las frecuencias centrales de las distintas celdas sea de al menos 30 MHz, lo que reduce a tres el número de canales independientes y funcionando simultáneamente en el ancho de banda total de 83,5 MHz. Esta independencia entre canales nos permite aumentar la capacidad del sistema de forma lineal

La técnica de DSSS podría compararse con una multiplexación en frecuencia

Canal	Frec. U.S.A	Frec. Europa	Frec. Japón
1	2412 MHz	N/A	N/A
2	2417 MHz	N/A	N/A
3	2422 MHz	2422 MHz	N/A
4	2427 MHz	2427 MHz	N/A
5	2432 MHz	2432 MHz	N/A
6	2437 MHz	2437 MHz	N/A
7	2442 MHz	2442 MHz	N/A
8	2447 MHz	2447 MHz	N/A
9	2452 MHz	2452 MHz	N/A
10	2457 MHz	2457 MHz	N/A
11	2462 MHz	2462 MHz	N/A
12	N/A	N/A	2484 MHz

Tabla de frecuencias DSSS

Espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS)

La tecnología de espectro ensanchado por salto en frecuencia (FHSS) consiste en transmitir una parte de la información en una **determinada frecuencia durante un intervalo de tiempo** llamada *dwell time* e inferior a 400 ms. Pasado este tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo a otra frecuencia. De esta manera cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un **intervalo muy corto de tiempo**.

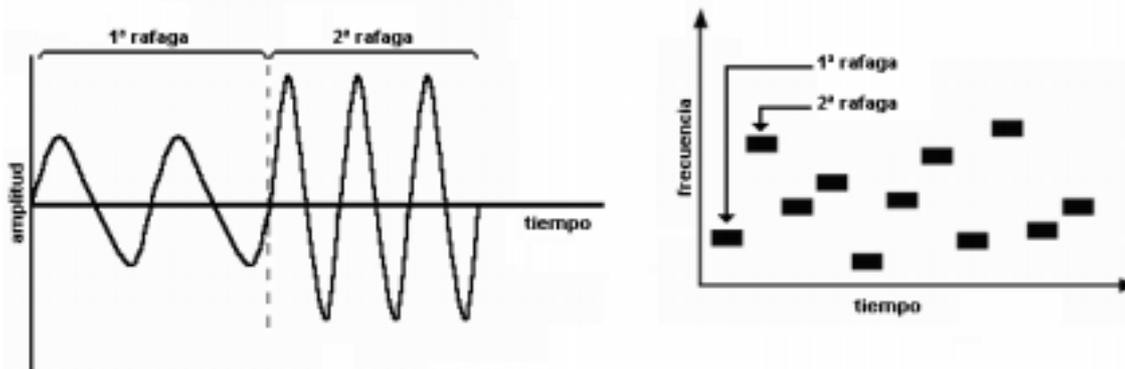


Figura 9: Gráfica de Codificación con Salto en Frecuencia

El orden en los saltos en frecuencia se determina según una secuencia pseudoaleatoria almacenada en unas tablas, y que tanto el emisor y el receptor deben conocer.

Si se mantiene la sincronización en los saltos de frecuencias se consigue que, aunque en el tiempo se cambie de canal físico, a nivel lógico se mantiene un solo canal por el que se realiza la comunicación.

Esta técnica también utiliza la zona de los 2.4GHz, la cual organiza en 79 canales con un ancho de banda de 1MHz cada uno. El número de saltos por segundo es regulado por cada país, así, por ejemplo, Estados Unidos fija una tasa mínima de saltos de 2.5 por segundo.

El estándar IEEE 802.11 define la modulación aplicable en este caso. Se utiliza la modulación en frecuencia *FSK* (Frequency Shift Keying), con una velocidad de 1Mbps ampliable a 2Mbps.

En la revisión del estándar, la 802.11b, esta velocidad también ha aumentado a 11Mbps.

La técnica FHSS sería equivalente a una multiplexación en frecuencia

Límite inferior	Límite superior	Rango regulatorio	Área geográfica
2.402 GHz	2.480 GHz	2.400-2.4835 GHz	América del Norte
2.402 GHz	2.480 GHz	2.400-2.4835 GHz	Europa
2.473 GHz	2.495 GHz	2.471-2.497 GHz	Japón
2.447 GHz	2.473 GHz	2.445-2.475 GHz	España
2.448 GHz	2.482 GHz	2.4465-2.4835 GHz	Francia

Rango de frecuencias centrales empleadas en FHSS

Canal	Valor	Canal	Valor	Canal	Valor
2	2.402	28	2.428	54	2.454
3	2.403	29	2.429	55	2.455
4	2.404	30	2.430	56	2.456
5	2.405	31	2.431	57	2.457
6	2.406	32	2.432	58	2.458
7	2.407	33	2.433	59	2.459
8	2.408	34	2.434	60	2.460
9	2.409	35	2.435	61	2.461
10	2.410	36	2.436	62	2.462
11	2.411	37	2.437	63	2.463
12	2.412	38	2.438	64	2.464
13	2.413	39	2.439	65	2.465
14	2.414	40	2.440	66	2.466
15	2.415	41	2.441	67	2.467
16	2.416	42	2.442	68	2.468
17	2.417	43	2.443	69	2.469
18	2.418	44	2.444	70	2.470
19	2.419	45	2.445	71	2.471
20	2.420	46	2.446	72	2.472
21	2.421	47	2.447	73	2.473
22	2.422	48	2.448	74	2.474
23	2.423	49	2.449	75	2.475
24	2.424	50	2.450	76	2.476
25	2.425	51	2.451	77	2.477
26	2.426	52	2.452	78	2.478
27	2.427	53	2.453	79	2.479
				80	2.480

Requisitos norteamericanos y europeos
(Valores especificados en GHz)

Canal	Valor	Canal	Valor	Canal	Valor
47	2.447	56	2.456	65	2.465
48	2.448	57	2.457	66	2.466
49	2.449	58	2.458	67	2.467
50	2.450	59	2.459	68	2.468
51	2.451	60	2.460	69	2.469
52	2.452	61	2.461	70	2.470
53	2.453	62	2.462	71	2.471
54	2.454	63	2.463	72	2.472
55	2.455	64	2.464	73	2.473

Requisitos españoles
(Valores especificados en GHz)

3.2 Tecnología de Infrarrojos.

La verdad es que IEEE 802.11 no ha desarrollado todavía en profundidad esta área y solo menciona las características principales de la misma:

- Entornos muy localizados, un aula concreta, un laboratorio, un edificio.
- Modulaciones de 16-PPM y 4-PPM que permiten 1 y 2 Mbps de transmisión.
- Longitudes de onda de 850 a 950 nanómetros de rango.
- Frecuencias de emisión entre $3,15 \cdot 10^{14}$ Hz y $3,52 \cdot 10^{14}$ Hz.

Las WLAN por infrarrojos son aquellas que usan el rango infrarrojo del espectro electromagnético para transmitir información mediante ondas por el espacio libre. Los sistemas de infrarrojos se sitúan en **altas frecuencias**, justo por debajo del rango de frecuencias de la luz visible. Las propiedades de los infrarrojos son, por tanto, las mismas que tiene la luz visible. De esta forma los infrarrojos son susceptibles de ser interrumpidos por cuerpos opacos pero se pueden reflejar en determinadas superficies.

Para describir esta capa física seguiremos las especificaciones del IrDA⁵ organismo que ha estado desarrollando estándares para conexiones basadas en infrarrojos.

Para la capa infrarroja tenemos las siguientes velocidades de transmisión:

- 1 y 2 Mbps Infrarrojos de modulación directa.
- 4 Mbps mediante Infrarrojos portadora modulada.
- 10 Mbps Infrarrojos con modulación de múltiples portadoras.

Clasificación

De acuerdo al ángulo de apertura con que se emite la información en el transmisor, los sistemas infrarrojos pueden clasificarse en sistemas de corta apertura, también llamados de rayo dirigido o de línea de vista (line of sight, LOS) y en sistemas de gran apertura, reflejados o difusos (diffused).

- Los sistemas infrarrojos de corta apertura, están constituidos por un cono de haz infrarrojo altamente direccional y funcionan de manera similar a los controles remotos de las televisiones: el emisor debe orientarse hacia el receptor antes de empezar a transferir información, limitando por tanto su funcionalidad. Resulta muy complicado utilizar esta tecnología en dispositivos móviles, pues el emisor debe reorientarse constantemente. Este mecanismo solo es operativo en enlaces punto a punto exclusivamente. Por ello se considera que es un sistema inalámbrico pero no móvil, o sea que esta más orientado a la portabilidad que a la movilidad.

⁵Constituido en 1993, IRDA (Infrared Data Association) para promover el desarrollo de las WLAN basadas en enlaces por infrarrojos.

- Los sistemas de gran apertura permiten la información en ángulo mucho más amplio por lo que el transmisor no tiene que estar alineado con el receptor. Una topología muy común para redes locales inalámbricas basadas en esta tecnología, consiste en colocar en el techo de la oficina un nodo central llamado punto de acceso, hacia el cual dirigen los dispositivos inalámbricos su información, y desde el cual ésta es difundida hacia esos mismos dispositivos.

La dispersión utilizada en este tipo de red hace que la señal transmitida rebote en techos y paredes, introduciendo un efecto de interferencia en el receptor, que limita la velocidad de transmisión (la trayectoria reflejada llega con un retraso al receptor). Esta es una de las dificultades que han retrasado el desarrollo del sistema infrarrojo en la norma 802.11.

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



Figura 10: Transmisión por infrarrojos

Entre las **limitaciones** principales que se encuentran en esta tecnología se pueden señalar las siguientes: es sumamente sensible a objetos móviles que interfieren y perturban la comunicación entre emisor y receptor; las restricciones en la potencia de transmisión limitan la cobertura de estas redes a unas cuantas decenas de metros; la luz solar directa, las lámparas incandescentes y otras fuentes de luz brillante pueden interferir seriamente la señal.

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

Capas y protocolos.

El principio de funcionamiento en la capa física es muy simple y proviene del ámbito de las comunicaciones ópticas por cable: un LED (Light Emitting Diode), que constituye el dispositivo emisor, emite luz que se propaga en el espacio libre en lugar de hacerlo en una fibra óptica, como ocurre en una red cableada. En el otro extremo, el receptor, un fotodiodo PIN recibe los pulsos de luz y los convierte en señales eléctricas que, tras su manipulación (amplificación, conversión a formato bit -mediante un comparador- y retemporización) pasan a la UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) del ordenador, de forma que para la CPU todo el proceso luminoso es absolutamente transparente. En el proceso de transmisión los bits viajan mediante haces de pulsos, donde el cero lógico se representa por existencia de luz y el uno lógico por su ausencia. Debido a que el enlace es punto a punto, el cono de apertura visual es de 30 y la transmisión es half duplex, esto es, cada extremo del enlace emite por separado.

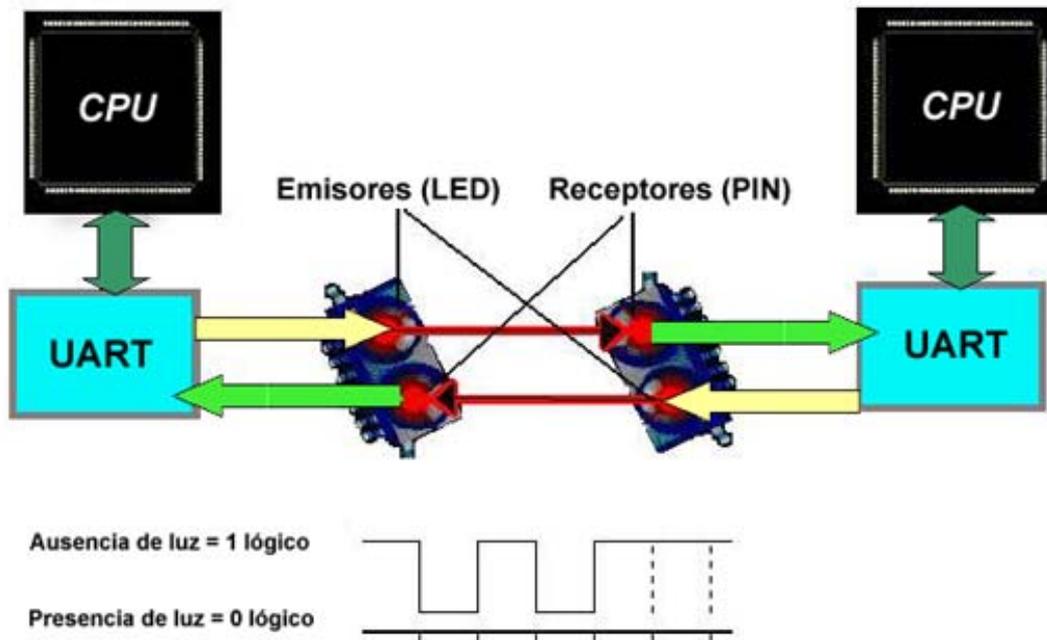


Figura 11: Dispositivos necesarios para una transmisión Full-Duplex

- Tras la **capa física** se encuentra la capa de enlace, conocida como IrLAP, (Infrared Link Access Protocol) que se encarga de gestionar las tareas relacionadas con el establecimiento, mantenimiento y finalización del enlace entre los dos dispositivos que se comunican. IrLAP constituye una variante del protocolo de transmisiones asíncronas HDLC (Half Duplex Line Control) adaptada para resolver los problemas que plantea el entorno radio. El enlace establece dos tipos de estaciones participantes, una actúa como maestro y otra como esclavo. El enlace puede ser punto a punto o punto a multipunto, pero en cualquier caso la responsabilidad del enlace recae en el maestro, todas las transmisiones van a o desde ella.
- La **capa de red** esta definida por el protocolo IrLMP (Infrared Link Management Protocol), la capa inmediatamente superior a IrLAP, se encarga del seguimiento de los servicios (como impresión, fax y módem), así como de los recursos disponibles por otros equipos, es decir, disponibles para el enlace.
- Finalmente, la **capa de transporte**, IrTP (Infrared Transport Protocol) se ocupa de permitir que un dispositivo pueda establecer múltiples haces de datos en un solo enlace, cada uno con su propio flujo de control. Se trata, pues, de multiplexar el flujo de datos, lo cual permite, por ejemplo, el spool de un documento a la impresora mientras se carga el correo electrónico del servidor. Este software, de carácter opcional -dado que no es necesario para la transferencia básica de ficheros- resulta útil cuando se ha de establecer un enlace, por ejemplo, entre un PDA (Personal Digital Assistant) y la LAN.

4. La Capa MAC

Diseñar un protocolo de acceso al medio para las redes inalámbricas es mucho más complejo que hacerlo para redes cableadas. Ya que deben de tenerse en cuenta las dos topologías de una red inalámbrica:

- ad-hoc: redes peer-to-peer. Varios equipos forman una red de intercambio de información sin necesidad de elementos auxiliares. Este tipo de redes se utilizan en grupos de trabajo, reuniones, conferencias...
- basadas en infraestructura: La red inalámbrica se crea como una extensión a la red existente basada en cable. Los elementos inalámbricos se conectan a la red cableada por medio de un punto de acceso o un PC Bridge, siendo estos los que controlan el tráfico entre las estaciones inalámbricas y las transmisiones entre la red inalámbrica y la red cableada.

Además de los dos tipos de topología diferentes se tiene que tener en cuenta:

- Perturbaciones ambientales (**interferencias**)
- Variaciones en la **potencia** de la señal
- **Conexiones y desconexiones** repentinas en la red
- **Roaming**. Nodos móviles que van pasando de celda en celda.

A pesar de todo ello la norma IEEE 802.11 define una única capa MAC (divida en dos subcapas) para todas las redes físicas. Ayudando a la fabricación en serie de chips.

4.1 Mecanismos de Acceso

Hay de dos tipos:

- Protocolos con arbitraje (FDMA - Frequency Division Multiple Access, TDMA - Time Division Multiple Access)
- Protocolos de contienda (CDMA/CA - Carrier-Sense, Múltiple Access, Collision Avoidance), CDMA (Code Division, Multiple Access) y el CDMA/CD (detección de colisión).

Aunque también se han diseñado protocolos que son una mezcla de ambos.

Protocolos con arbitraje

La multiplexación en frecuencia (FDM) divide todo el ancho de banda asignado en distintos canales individuales. Es un mecanismo simple que permite el acceso inmediato al canal, pero muy ineficiente para utilizarse en sistemas informáticos, los cuales presentan un comportamiento típico de transmisión de información por breves períodos de tiempo (ráfagas).

Una alternativa a este sería asignar todo el ancho de banda disponible a cada nodo en la red durante un breve intervalo de tiempo de manera cíclica. Este mecanismo, se llama multiplexación en el tiempo (TDM) y requiere mecanismos muy precisos de sincronización entre los nodos participantes para evitar interferencias. Este esquema ha sido utilizado con cierto éxito sobre todo en las redes inalámbricas basadas en infraestructura, donde el punto de acceso puede realizar las funciones de coordinación entre los nodos remotos.

Protocolos de acceso por contienda

Tienen similitudes al de Ethernet cableada de línea normal 802.3.

CSMA (Code-division multiple access = Acceso múltiple por división de tiempo).

Se aplica específicamente a los sistemas de radio de banda esparcida basados en una secuencia PN. En este esquema se asigna una secuencia PN distinta a cada nodo, y todos los nodos pueden conocer el conjunto completo de secuencias PN pertenecientes a los demás nodos. Para comunicarse con otro nodo, el transmisor solo tiene que utilizar la secuencia PN del destinatario. De esta forma se pueden tener múltiples comunicaciones entre diferentes pares de nodos.

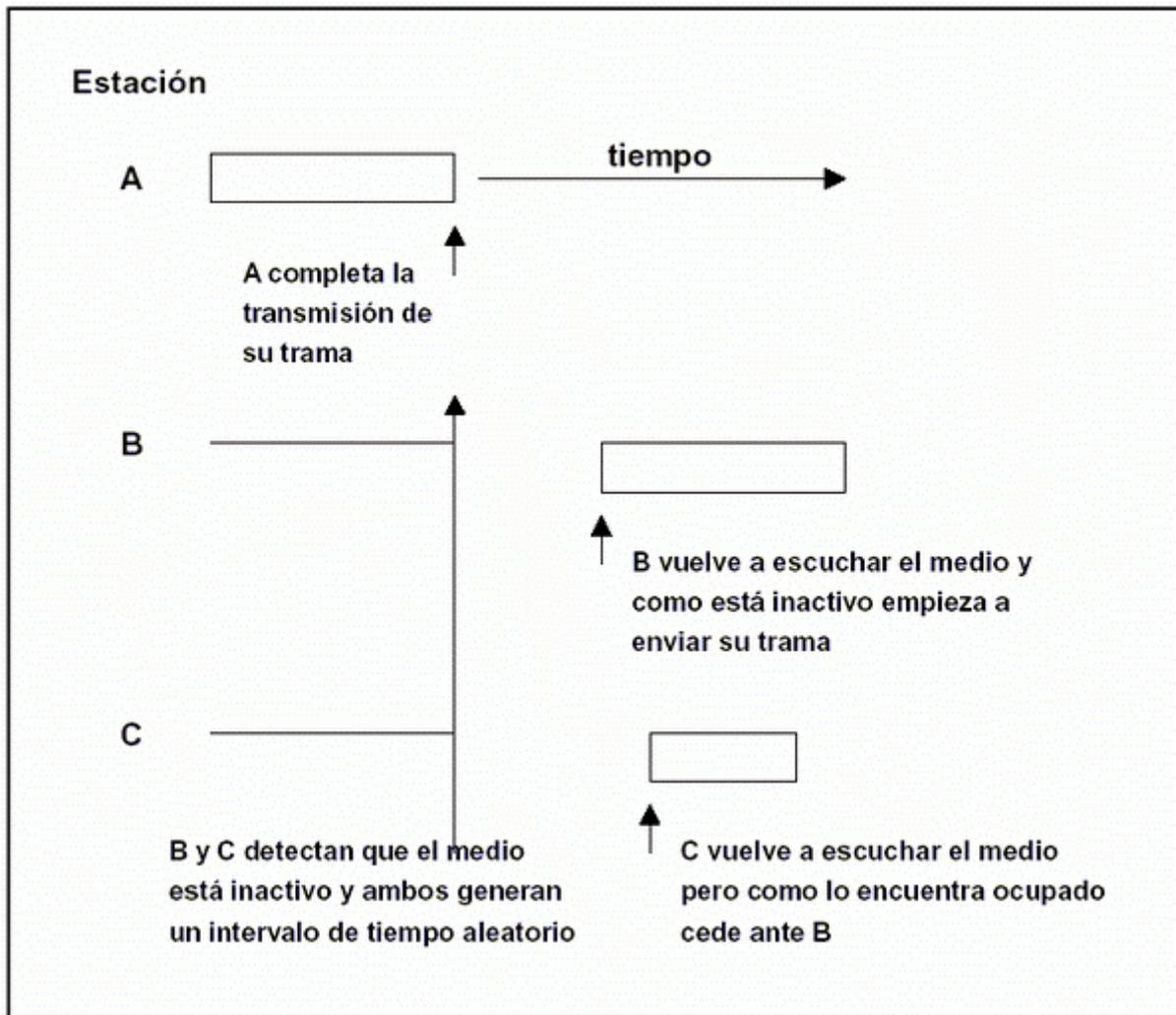
CSMA/CD (Carrier Sense, Multiple Access, Collision Detection)

Como en estos medios de difusión (radio, infrarrojos), no es posible transmitir y recibir al mismo tiempo, la detección de errores no funciona en la forma básica que fue expuesta para las LAN alámbricas. Se diseñó una variación denominada detección de colisiones (peine) para redes inalámbricas. En este esquema, cuando un nodo tiene una trama que transmitir, lo primero que hace es generar una secuencia binaria pseudoaleatoria corta, llamada peine la cual se añade al preámbulo de la trama. A continuación, el nodo realiza la detección de la portadora si el canal está libre transmite la secuencia del peine. Por cada 1 del peine el nodo transmite una señal durante un intervalo de tiempo corto. Para cada 0 del peine, el nodo cambia a modo de recepción. Si un nodo detecta una señal durante el modo de recepción deja de competir por el canal y espera hasta que los otros nodos hayan transmitido su trama.

La eficiencia del esquema depende del número de bits de la secuencia del peine ya que si dos nodos generan la misma secuencia, se producirá una colisión.

El que más se utiliza es el CSMA/CA (Carrier-Sense, Múltiple Access, Collision Avoidance). Este protocolo evita colisiones en lugar de descubrir una colisión, como el algoritmo usado en la 802.3.

En una red inalámbrica es difícil descubrir colisiones. Es por ello que se utiliza el CSMA/CA y no el CSMA/CD debido a que entre el final y el principio de una transmisión suelen provocarse colisiones en el medio. En CSMA/CA, cuando una estación identifica el fin de una transmisión espera un tiempo aleatorio antes de transmitir su información, disminuyendo así la posibilidad de colisiones.



La capa MAC opera junto con la capa física probando la energía sobre el medio de transmisión de datos. La capa física utiliza un algoritmo de estimación de desocupación de canales (CCA) para determinar si el canal está vacío. Esto se cumple midiendo la energía RF⁶ de la antena y determinando la fuerza de la señal recibida. Esta señal medida es normalmente conocida como RSSI.

Si la fuerza de la señal recibida está por debajo de un umbral especificado, el canal se considera vacío, y a la capa MAC se le da el estado del canal vacío para la transmisión de los datos. Si la energía RF está por debajo del umbral, las transmisiones de los datos son retrasadas de acuerdo con las reglas protocolares.

El Standard proporciona otra opción CCA que puede estar sola o con la medida RSSI. El sentido de la portadora puede usarse para determinar si el canal está disponible. Esta técnica es más selectiva ya que verifica que la señal es del mismo tipo de portadora que los transmisores del 802.11.

En comunicaciones inalámbricas, este modelo presenta todavía una deficiencia debida al problema conocido como de la terminal oculta (o nodo escondido)

⁶ RF = RadioFrecuencia

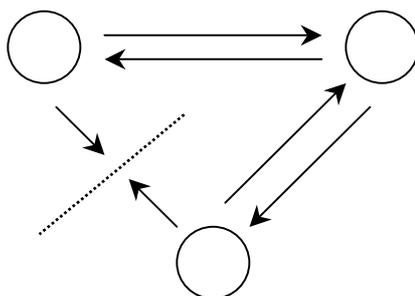
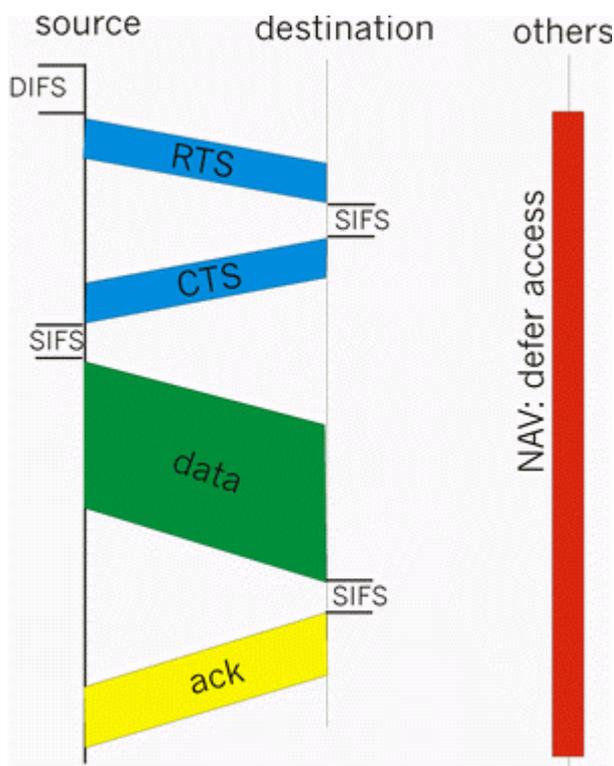


Figura 12: Ejemplo de Nodo Escondido

Un dispositivo inalámbrico puede transmitir con la potencia suficiente para que sea escuchado por un nodo receptor, pero no por otra estación que también desea transmitir y que por tanto no detecta la transmisión. Para resolver este problema, la norma 802.11 ha añadido al protocolo de acceso CSMA/CA un mecanismo de intercambio de mensajes con reconocimiento positivo, al que denomina Reservation-Based Protocol, que es la 2ª subcapa MAC.

Cuando una estación está lista para transmitir, primero envía una solicitud (destino y longitud del mensaje) al punto de acceso (RTS – “request to send”) quien difunde el NAV (Network Allocation Vector) - un tiempo de retardo basado en el tamaño de la trama contenido en la trama RTS de solicitud- a todos los demás nodos para que queden informados de que se va a transmitir (y que por lo tanto no transmitan) y cuál va a ser la duración de la transmisión. Estos nodos dejarán de transmitir durante el tiempo indicado por el NAV más un intervalo extra de backoff (tiempo de retroceso) aleatorio. Si no encuentra problemas, responde con una autorización (CTS – “clear to send”) que permite al solicitante enviar su trama (datos). Si no se recibe la trama CTS, se supone que ocurrió una colisión y los procesos RTS empiezan de nuevo.



Después de que se recibe la trama de los datos, se devuelve una trama de reconocimiento (ACK - ACKnowledged) notificando al transmisor que se ha recibido correctamente la información (sin colisiones).

Aún así permanece el problema de que las tramas RTS sean enviadas por varias estaciones a la vez, sin embargo estas colisiones son menos dañinas ya que el tiempo de duración de estas tramas es relativamente corto.

Este mismo protocolo también puede utilizarse si no existen dispositivos auxiliares en las redes ad-hoc, en este caso no aparecería la trama NAV.

4.2 Seguridad

En el standard se dirigen suministros de seguridad como una característica optativa para aquellos afectados por la escucha secreta, es decir, por el "fisgoneo". Incluye dos aspectos básicos: autenticación y privacidad.

La seguridad de los datos se realiza por una compleja técnica de codificación, conocida como **WEP** (Wired Equivalent Privacy Algorithm). WEP se basa en proteger los datos transmitidos en el medio RF, usando clave de 64 bits y el algoritmo de encriptación RC4 (desarrollado por RSA Security Inc.).

La clave se configura en el punto de acceso y en sus estaciones (clientes wireless), de forma que sólo aquellos dispositivos con una clave válida puedan estar asociados a un determinado punto de acceso.

WEP, cuando se habilita, sólo protege la información del paquete de datos y no protege el encabezamiento de la capa física para que otras estaciones en la red puedan escuchar el control de datos necesario para manejar la red. Sin embargo, las otras estaciones no pueden distinguir las partes de datos del paquete. Se utiliza la misma clave de autenticación para encriptar y desencriptar los datos, de forma que solo las estaciones autorizadas puedan traducir correctamente los datos.

4.3 Funcionalidad Adicional

En las LAN inalámbricas la capa de MAC, además de efectuar la función de controlar el acceso al medio, desempeña otras funciones:

- Fragmentación
- Control de flujo
- Manejo de múltiples tasas de transmisión
- Gestión de potencia

En los diferentes tipos de LAN por cable es posible usar tramas grandes gracias a errores de bit bajos bajo (10^{-9} a 10^{-11}). En las LAN inalámbricas, el multicamino y las interferencias pueden elevar considerablemente los valores de errores de bit (10^{-3} a 10^{-5}).

Para poder transmitir eficientemente por estos medios, hay que reducir el tamaño de las tramas. La capa MAC se encarga de fragmentar las tramas en otras más pequeñas antes de transmitir las por el medio inalámbrico. De la misma manera deberá ensamblar las tramas para obtener la trama original antes de entregarla a la capa superior.

También debe cumplir un control de flujo, cada vez que un segmento sea pasado a la capa física, deberá esperar que este sea transmitido antes de enviar el próximo segmento.

La gestión de la potencia se apoya en el nivel MAC para esas aplicaciones que requieren movilidad bajo el funcionamiento de la pila. Se hacen provisiones en el protocolo para que las estaciones portátiles pasen a "modo dormido" durante un intervalo de tiempo definido por la estación base.

5. Productos Comerciales Existentes

Los productos se dividen en el tipo de capa física que utilizan. El cual puede ser DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum - Espectro Ensanchado por Secuencia Directa) o FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum - Espectro Ensanchado por Salto en Frecuencia).

Hace tiempo la mayoría de productos eran propietarios y con velocidades de 1,5Mbps y estaban pensados para aplicaciones concretas (inventarios...) y también eran bastante caros.

Pero hace poco ha aparecido un **nuevo estándar 802.11b** y un consorcio de *fabricación Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA)*.

Esta organización ha establecido un estándar llamado **Wi-Fi** que certifica la interoperatividad (compatibilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes) y otros aspectos (como la facilidad de configuración).

Todo ello ha hecho que muchos fabricantes proporcionen sus soluciones y se acojan a este estándar. Llevando ello a competitividad en este tipo de productos y la consiguiente disminución de precios.

Podemos observar la gran cantidad de dispositivos compatibles con este estándar en la siguiente web:

http://www.wi-fi.com/certified_products.asp

Entre estos vamos a comentar 2 equipamientos de diferentes fabricantes.

5.1 Apple Airport

Los dispositivos de Apple son los más baratos del mercado.

Debido a que funcionan solo con Macintosh y que todos los equipos nuevos incluyen la antena necesaria para la comunicación.



Características:

Hasta 11MB

Certificado Wi-Fi

Frecuencia de funcionamiento: 2.4Ghz

Distancia máxima entre Punto Acceso y dispositivo: 150 pies (304mm) -> 45.6 metros [varía por la construcción del edificio]

IEEE 802.11HR Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) 11 Mbps and 5.5 Mbps standard

IEEE 802.11 DSSS 1 and 2 Mbps standard noncondensing

Se puede montar en pared o en liso

Recomendado para 10 usuarios.

Dimensiones:

Diámetro: 15,7 cm

Altura: 8 cm

Peso (sin enganche de pared): 750 gramos

Conexión a red Ethernet y Modem.

Tarjeta Pc Card



\$99.00 ≈ 17.820 ptas.

Solo compatible con Mac y equipos preparados para AirPort.
32Mb de Ram y Mac Os 8.6 (o superior)

5.2 Zoom

Punto Acceso



120.300 ptas

Seguridad:

- Tecnología DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) y por el propio hardware Access Point.
- DSSS resistente a corrupciones, interferencias, atascos y detecciones desautorizadas.
- ZoomAir AP11 añade niveles adicionales de seguridad a través de la identificación de los usuarios y encriptación.

Compatible con el estándar IEEE 802.11b DSSS 11Mbps.

Incluye el software WebManage para gestión remota de la red a través de un navegador.

Tarjeta PCMCIA.



36.700 ptas

Tarjeta PC Card compatible PCMCIA 3.3v y 5v.

Incorpora WEP (Wired Equivalent Privacy) con multivisión 40 y 128-bit.
Incluye software de acceso a Internet compartido Sybergen SyGate.
"Zoom Air Installation Wizard" automatiza todos los ajustes en la instalación.

Su circuitería le protege contra subidas de tensión.
Requerimientos mínimos de recursos del PC.

Certificación de interoperabilidad de la WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance)

Especificaciones técnicas:

Índice de datos: hasta 11Mbps envío/recepción

Alcance:

300 metros -sin obstáculos

100 metros -en edificios con estructuras tabicadas

Soporte: Interoperable con IEEE 2Mbps y 11Mbps 802.11b DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) y 10BaseT o 100BaseT

Seguridad: Soporta estándar de seguridad 802.11 WEP (Wired Equivalency Privacy)

Soporte OS: NDIS (para Windows 95/98/2000 y NT 4.0)

Canales:

11 US/Canada y 13 ETSI, canales totalmente independientes utilizables simultáneamente en un puesto.

Según las demandas de ancho de banda, cada canal puede acomodarse hasta 30 usuarios

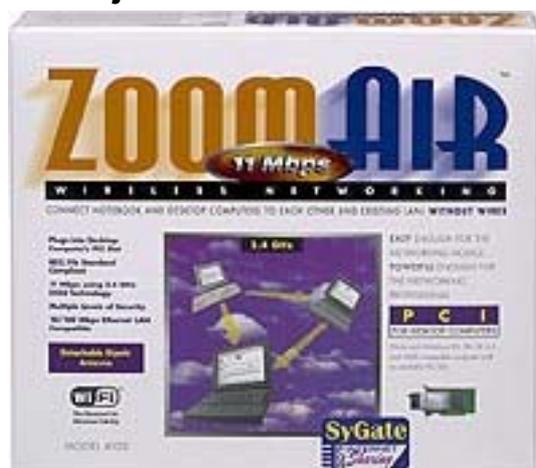
Antena: externa dipolar 2.2 dBi incluida

Potencia de transmisión: 25mW (típico) Frecuencia: 2.4 a 2.4835 GHz

Tipo Tarjeta: PC Card Tipo II

Regulaciones: FCC Parte 15B; Parte 15C, IC RSS-210, CE, ETS 300 328, 300 826, C-Tick

Tarjeta PCI



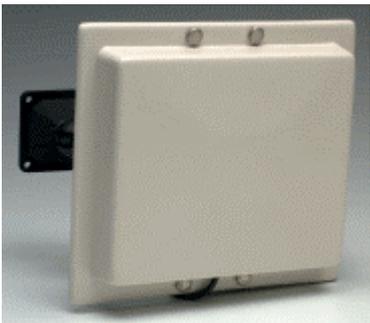
49.600 ptas.

Soporta todas las aplicaciones de red de área local, incluida la compartición de datos, impresión por red y acceso a Internet

Incorpora WEP (Wired Equivalent Privacy) con multivisión 40 y 128-bit

Incluye software de acceso a Internet compartido Sybergen SyGate

Antenas Repetidoras.

<p>Antena OmniDireccional</p>  <p>16.300 ptas</p>	<p>Puede ser colocada en el techo para utilizarla como antena Omnidireccional.</p> <p>Se puede conectar a una tarjeta de red o a un Punto de Acceso mediante un cable coaxial (cuya extensión no será superior a 6 metros)</p> <p>Especificaciones: Rango de Frecuencia 2.4-2.484 GHz Aumento 4.0 dBic (circular) Polarización Circular Derecha Impedancia nominal 50 ohms Dimensiones 7,6 x 7,6 x 3,8 cm Peso 85 gr</p>
<p>Antena Direccional</p> 	<p>Diseñada para funcionar tanto en interiores como en exteriores.</p> <p>Se puede conectar a una tarjeta de red o a un Punto de Acceso mediante un cable coaxial (cuya extensión no será superior a 6 metros)</p> <p>Especificaciones: Rango de Frecuencia 2.3-2.500 GHz Aumento 13.0 dBi Polarización Lineal Impedancia nominal 50 ohms Dimensiones 22,1 x 20,1 x 3,6 cm Peso 0,35 Kg</p>
<p>Antena Dipolar</p> 	<p>Suministrada junto a equipamiento de gama alta, proporcionando una cobertura más uniforme y un 30% de rango superior.</p> <p>Se conecta directamente al jack del dispositivo.</p> <p>Es OmniDireccional.</p> <p>Especificaciones: Rango de Frecuencia 2.4-2.483 GHz Aumento 2.2 dBi Polarización Lineal Impedancia nominal 50 ohms Dimensiones 8,2 x 7 cm Peso <14 gr</p>

5.3 3com Airconnect

<p>Punto de Acceso</p>  <p>\$825.00 ≈ 148.500</p>	<p>Gateway</p>  <p>\$331≈59.580</p>
<p>Tarjeta de Red</p>  <p>\$240≈43.200</p>	<p>Pc Card antena XJACK</p>  <p>\$179 ≈ 32.220</p>
<p>Pc Card</p>  <p>\$165 ≈ 29.700</p>	

Enlaces a Webs de dispositivos 802.11

Apple - AirPort 1.2

<http://www.apple.com/airport/>

Dell - TrueMobile Wireless LAN Adapter

http://www.dell.com/us/en/k12/topics/products_truemobile_latit_truemobile.htm

Cisco - Aironet 340 Series Wireless PC Card

<http://www.cisco.com/warp/public/44/jump/wireless.shtml>

IBM 802.11bWireless Lan Card

<http://www.networking.ibm.com/prodguide/wireless.html>

Lucent - ORINOCO PC Card - Gold and ORINOCO PC Card - Silver

<http://www.wavelan.com/>

3Com - AirConnect 11Mbps Wireless LAN PC Card

<http://www.3com.com/wireless>

Compaq - WL100 11 Mbps Wireless LAN PC Card and WL200 11 Mbps Wireless LAN PCI Card

<http://www.compaq.com/products/wireless/index.html>

Enterasys - (Cabletron) RoamAbout 802.11b DS High Rate PC Card

<http://www.enterasys.com/roamabout/>

Proxim – (Harmony y RangeLan2)

<http://www.proxim.com/>

Symbol - Spectrum24® High Rate 11Mbps Wireless LAN PC Card

http://www.symbol.com/products/wireless/wireless_sp24_infrastructure_o.html

Xircom Wireless Ethernet Adapter

http://www.xircom.com/cda/page/1,1298,0-0-1_1-1626,00.html

Zoom Telephonics - ZoomAir Wireless PC Card

<http://www.zoom.com/zoomair/>

Precios de más dispositivos:

<http://store1.europe.yahoo.com/microwarehouse/datacomm-networking-wireless.html>

Otras Direcciones de interés:

<http://www.mobilestar.com/>

<http://www.wayport.com/>

<http://www.imasde.com/>

Web Oficial del Estándar 802.11

<http://www.ieee802.org/11>

Web del Estándar Wi-Fi (WECA) 802.11b

<http://www.wi-fi.com>

6. Bibliografía



<http://www.lanacion.com.ar/suples/infor/0104/nota.asp?pag=p04.htm>

<http://www.timagazine.net/magazine/0798/wireless.cfm>
<http://www.timagazine.net/magazine/0898/wireless2.cfm>

<http://www.zdnet-es.com/pcmagazine/2000/junio.html?c=informe4>

http://www.latinotek.com/especiales/cont_espec/010120-Panoramica2.shtml#uno

<http://www.arrakis.es/~sergilda/wlan/>

<http://citel.upc.es/users/buran/buran14/wlan.pdf>

<http://www.vnunet.es/redestelecom/detalle.asp?id=20001115145>

<http://www.ieee802.org/11>

<http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>

<http://www.wlana.com/learn/80211.htm>

<http://www.appred.com>