CAPÍTULO 4: APLICACIÓN EMPLEANDO LA NORMA IEEE 802.11a

4.1 Introducción

Un red WLAN (Wireless Local Area Network) o red de área local inalámbrica es aquella que emplea ondas de radio de alta frecuencia en lugar de cables para comunicar cada nodo. La utilización de redes inalámbricas se ha extendido enormemente en los últimos años, debido principalmente a su utilización en entornos en que es costoso o está prohibido extender cables y en instalaciones temporales.

Hasta el momento, se habían desarrollado tecnologías inalámbricas de larga distancia a bajas velocidades. Pero las redes de área local actuales cubren justamente el caso opuesto: se encargan de comunicaciones a alta velocidad (hasta 54 Mbps) en distancias relativamente cortas (interior de un edificio, pequeño área residencial/urbana o campus universitario).

Existen varios estándares para redes inalámbricas. El estándar IEEE 802.11a del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos y el estándar HiperLAN/2 de ETSI operan con modulación OFDM. Los dos soportan múltiples modos de funcionamiento en función de las condiciones requeridas para la comunicación. La cooperación entre los organismos IEEE y ETSI ha hecho que existan pocas diferencias entre ambos estándares, siendo HIPERLAN/1 e HIPERLAN/2 perfectamente compatibles con el estándar 802.11. En este caso, centraremos el estudio en el 802.11a por ser el más extendido.

El protocolo **IEEE 802.11** o **WI-FI** define el uso de los dos niveles más bajos de la arquitectura OSI (capas física **PHY** y de enlace de datos o acceso al medio **MAC**), especificando sus normas de funcionamiento. En general, los protocolos de la rama 802.x definen la tecnología de redes de área local inalámbricas. El estándar original de este protocolo data de 1997 y es el **IEEE 802.11**, tenía velocidades de 1 hasta 2 Mbps y trabajaba en la banda de frecuencia de 2,4 GHz. En la actualidad no se fabrican productos sobre este estándar.

Estándar	Disp.	Velocidad Máxima (Mbps)	Frec. (GHz)	Interfaz aire	Soporte de redes fijas
802.11	1997	2	2.4	DSSS/FHSS	Ethernet
802.11b	1999	11	2.4	DSSS	Ethernet
802.11a	2002	54	5.0	**OFDM**	Ethernet
802.11g	2003	54	2.4	OFDM/DSSS	Ethernet
802.11h	2003	54	5.0	OFDM	Ethernet
802.11n	**2005**	100	2.4/5.0	OFDM	Ethernet
HIPERLAN /2	2003	54	5.0	**OFDM**	Ethernet, IP, ATM,UMTS

Figura 4.1. Comparativa de las distintas normas de comunicación inalámbrica

-Modulación por saltos de Frecuencia (FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum)

-Espectro de extensión de secuencia directa (DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum)

-Multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Actualmente, se proponen en el mercado tarjetas de red que soportan conexiones adaptables a más de un estándar 802.11x y que, según la aplicación (universidades, oficinas, centros médicos,…) adaptarán sus características a la misma. Cabe destacar, que si la red Wireless es concebida para ser utilizada en entornos con interferencias habituales, se tomarán prioritariamente sistemas basados en 802.11a que utiliza la banda de frecuencias de 5 GHz que está menos congestionada. Esto implica un alcance limitado a 50 m., por lo que habría que montar más puntos de acceso que si se tratase de 802.11b para cubrir el mismo área con el coste adicional que ello supone.

El futuro de las tecnologías WLAN, pasa necesariamente por la resolución de cuestiones importantes sobre seguridad e interoperabilidad, donde se centran actualmente todos los esfuerzos.

El estándar define dos tipos posibles de arquitecturas de red, redes descentralizadas, también conocidas como “redes ad-hoc", pensadas para la asociación espontánea de estaciones, y redes centralizadas, con una arquitectura mucho más formalizada.

4.2 Introducción al estándar HIPERLAN

El estándar HIPERLAN (High Performance Radio Local Area Network), fue propuesto por la organización ETSI (European Telecommunicactions Standards Institute), Instituto Europeo de Estandarización en 1991.Dado que se trata de una norma europea y debido a que utiliza modulación OFDM, se realiza un breve estudio del estándar en este apartado. Cuando fue propuesto, ya WLAN 802.11 estaba siendo desarrollado y varias soluciones para comunicaciones inalámbricas de datos se estaban comercializando pero a velocidades muy bajas. El estándar cubre las capas física y MAC como WLAN 802.11.

La familia de estándares HIPERLAN, incluye HIPERLAN tipo 1 (o HIPERLAN/1), HIPERLAN tipo 2 (o HIPERLAN/2), HIPERACCESS (inicialmente llamado HIPERLAN tipo 3) e HIPERLINK (inicialmente llamado HIPERLAN tipo 4).Todos ellos comprenden las cuatro áreas de trabajo de la iniciativa BRAN (*Broadband Radio Access Networks*). HIPERACCESS hace referencia a redes de acceso fijo inalámbrico de banda ancha para aplicaciones multimedia (bucle local inalámbrico) e HIPERLINK a radioenlaces punto a punto de alta velocidad.

El estándar HIPERLAN/2 opera con tecnología OFDM, y proporciona, como IEEE 802.11a acceso inalámbrico en entornos corporativos y residenciales a muy elevadas velocidades de datos. Sus capas físicas son casi idénticas, encontrándose la

principal diferencia entre ambos estándares en la capa MAC: IEEE 802.11a utiliza un algoritmo basado en CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), mientras que HIPERLAN/2 emplea un mecanismo de control centralizado en los puntos de acceso (TDMA/TDD).

La principal ventaja de HIPERLAN/2 es la versatilidad al contar con la posibilidad de superponer casi cualquier protocolo de red (ATM, IP, Etrhernet, 3G). Debido a esto, el protocolo es sustancialmente más complicado que 802.11, requiriendo un mayor desembolso inicial dado que los terminales son más complicados.

Aun así, HIPERLAN/1 e HIPERLAN/2 son perfectamente compatibles con el estándar 802.11.

4.3 Especificaciones del estándar IEEE 802.11a

IEEE 802.11a es un estándar que define las capas MAC (*Medium Access Control*) y Física (PHY) como se muestra en el esquema de la figura 2.3. Trabaja a alta velocidad en la banda libre de **5GHz** (5.15 a 5.25, 5.25 a 5.35 y 5.725 a 5.825 GHz) que se denomina UNII (Infraestructura de Información Nacional sin Licencia).

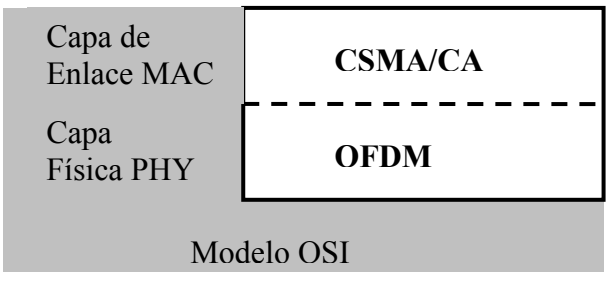


Figura 4.2 Dos primeras capas del modelo OSI para el estándar IEEE802.11a

Opera con 7 posibles velocidades de información 48, 36, 24, 18, 12, 9 y 6 Mbps La velocidad máxima permisible sólo es disponible en un ambiente libre de interferencia y a muy corta distancia.

A continuación se detallan las especificaciones que deben cumplir las señales tanto en la capa física como de enlace para adecuarse convenientemente al estándar 802.11a.

4.3.1 Capa Física (PHY)

El diagrama de bloques de un sistema OFDM que emplea el estándar IEEE 802.11a, se muestra en la figura 2.4, donde se hace la distinción entre transmisor y receptor así como los bloques de entrada binaria en transmisión a entrada binaria en recepción.

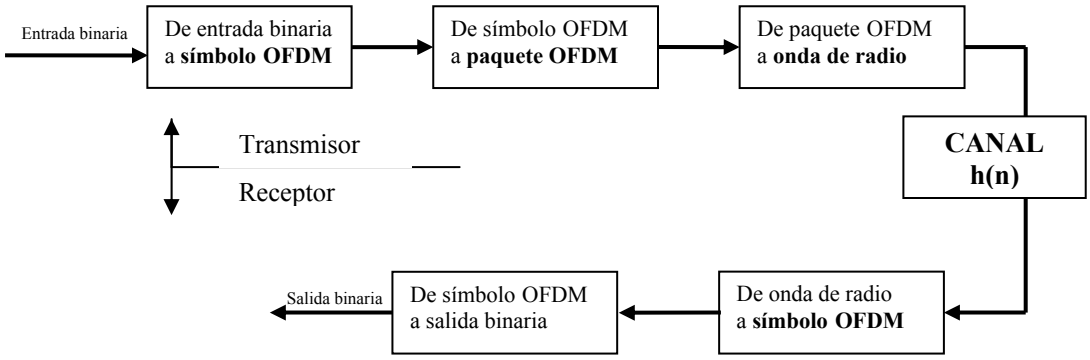


Figura 4.3. Sistema de transmisión IEEE 802.11ª

4.3.1.1.De entrada binaria a símbolo OFDM

- **Codificador de fuente**

Cualquier información puede ser representada de forma binaria empleando bits ceros y unos. La cantidad de bits que representan una misma información, puede reducirse de forma eficiente de forma que la redundancia de los datos binarios, es suprimida midiendo la correlación entre ellos. En teoría de la información, se define la entropía como la mínima longitud con que se puede enviar la misma información tras descartar la redundancia.

- **Aleatorizador**

Los datos pueden contener largas secuencias de ceros y unos y esto degrada las características del receptor al tratar la información recibida. El aleatorizador ayuda a cambiar el patrón de bits con una secuencia 127-pseudoaleatoria como se muestra en la figura 2.5. El mismo desaleatorizador será utilizado en recepción. Los siete bits menos significativos del campo SERVICE de una trama OFDM son llevados a cero antes de aleatorizar para que sea posible una estimación del estado inicial del aleatorizador en el receptor.

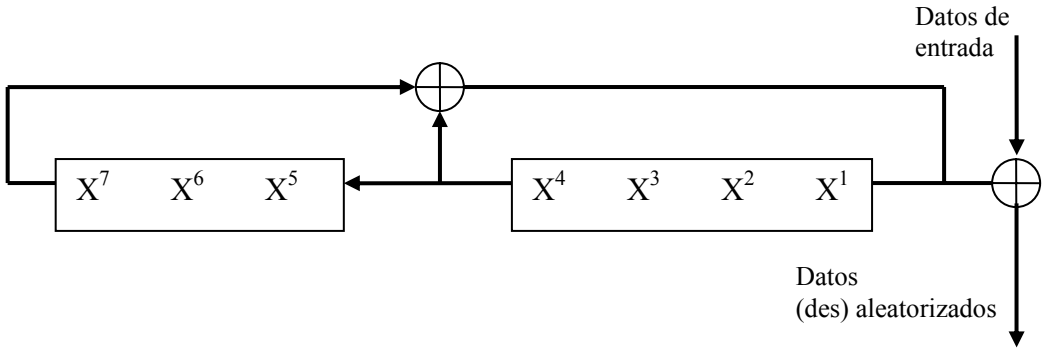


Figura 4.4. Aleatorizador/ Desaleatorizador

- **Codificador Convolucional**

El codificador convolucional es un código de corrección de error que suministra al sistema mayor robustez frente a errores a cambio de añadir una cierta redundancia.

En sistemas que emplean el estándar IEEE802.11a, al existir múltiples posibles tasas de datos, existen así mismo, varios tipos de códigos convolucionales dependiendo de la protección frente a errores requerida. Por ejemplo, constelaciones con mayor número de símbolos necesitarán a su vez mayor protección.

Una combinación de detector de errores como Código de Redundancia Cíclico (CRC) junto a un código convolucional corrector de error y un bloque *interleaver* proveen mayor ganancia de código en presencia de *fading* selectivo en frecuencia.

El codificador convolucional es una máquina de estados finitos compuesta de registros que representan el estado del sistema. La tasa de código se define como (k/n), donde k es el número de registros y n el número de salidas. La longitud de estos registros hace el sistema más seguro pero por otro lado, incrementará la complejidad del decodificador.

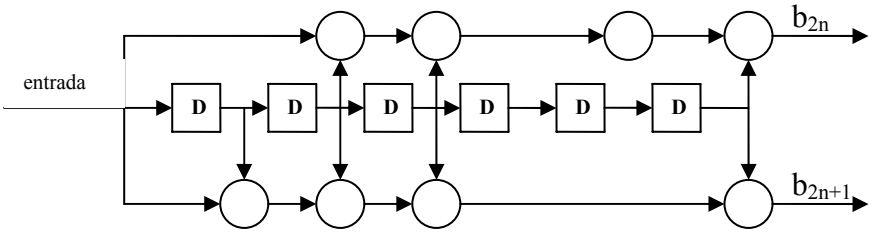


Figura 4.5. Codificador Convolucional de 64 estados

En la figura 2.6, se presenta un codificador convolucional de 64 estados utilizados en el estándar IEEE 802.11a, donde los módulos D son registros de desplazamiento y los bloques círculo son XOR binarias. Las salidas b_{2n} y b_{2n+1} son respectivamente las salidas par e impar correspondiente a cada bit de entrada.

- **Entrelazador o *Interleaver***

El bloque entrelazador o *interleaver* realiza un cambio en el orden de los bits de la secuencia a transmitir a los efectos de separar en el tiempo bits de una misma palabra. De esta forma una ráfaga de errores (burst) causada por una señal interferente concentrada en el tiempo (muy común en ambientes inalámbricos) causaría errores sobre bits de distintas palabras y los algoritmos correctores de

errores serían capaces de corregirlos. En cambio, si la ráfaga afectara a todos los bits de una palabra o por lo menos a varios de ellos, probablemente los algoritmos correctores de errores no serían capaces de reparar este daño o necesitarían de un nivel de redundancia muy alto.

Existen principalmente dos clases de procesos de entrelazado: entrelazado de bloques y entrelazado convolucional. Estos últimos requieren aproximadamente la mitad de memoria que los primeros para lograr la misma profundidad de entrelazado. El estándar 802.11a usa un módulo de entrelazado de bloques.

El concepto de profundidad de entrelazado tiene que ver con los registros de memoria –en bits- necesarios. Cuanto mayor es la profundidad más se separan los bits de una misma palabra, pero también es mayor el retardo que introduce este proceso. Cada sistema de comunicaciones tiene un retardo máximo tolerable a respetar a los efectos de que no se produzca una degradación en calidad perceptible. En el caso del estándar 802.11a la profundidad del entrelazado ha sido elegida igual a un símbolo OFDM, es decir, 48 bits. Pero teniendo en cuenta que el proceso de entrelazado se realiza después de la codificación convolucional y que ésta duplica la cantidad de bits, entonces la profundidad pasa a ser de 96 bits.

En la figura 2.7 se muestra un ejemplo de entrelazado de profundidad 48 bits, y se indica cómo los bits se escriben en la matriz 8x6 por filas y cómo se leen por columnas.

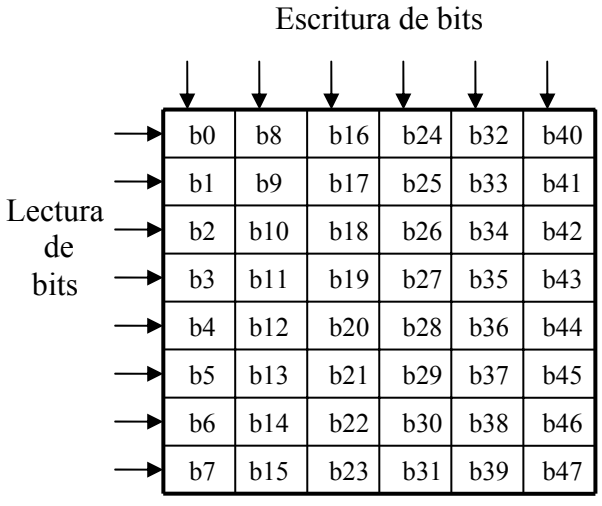


Figura 4.6. Ejemplo de entrelazador de profundidad 48

- **Codificación**

En lugar de enviar un bit en un símbolo, múltiples bits pueden enviarse formando lo que será un símbolo de longitud mayor a 1. Los esquemas de codificación se representan en diagramas llamados constelaciones, que convierten los símbolos en números complejos. El tipo de codificación empleado es crucial puesto que afectará a la tasa de error de bit, a la Peak to Average Power Ratio (PAPR) y a la forma del espectro RF.

Las posibles codificaciones definidas en el estándar son BPSK (menor velocidad de transmisión), QPSK, 16-QAM y 64-QAM (mayor velocidad de transmisión).

- **Símbolo OFDM**

En un símbolo OFDM, IEEE 802.11a utiliza subportadoras de un bloque IFFT de longitud 64. 48 subportadoras son ocupadas con símbolos modulados, 4 subportadoras serán señales piloto para detección coherente de offsets en frecuencia y ruidos de fase.

Las señales piloto se modulan empleando modulación BPSK y se insertan en las subportadoras -22, -7, 7 y 22, no utilizándose la subportadora central 0 como se muestra en la figura 2.8.

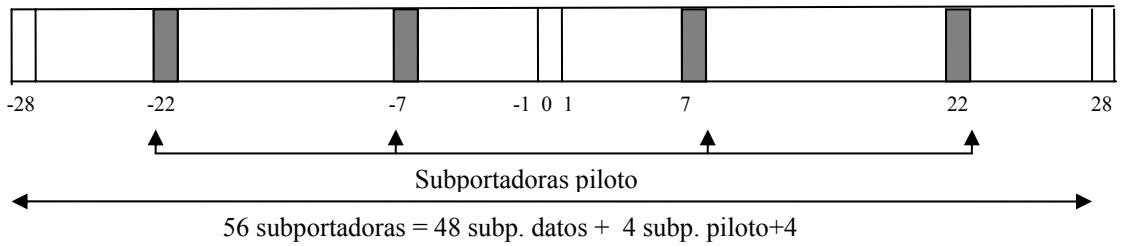


Fig. 4.7. Ubicación de subportadoras en un sistema OFDM

En la secuencia de datos, cada 48 símbolos modulados se utilizan para crear un símbolo OFDM. Cada símbolo tras el bloque IFFT en el que son modulados, es cerrado con una extensión circular que es el Intervalo de Guarda. Un símbolo OFDM se considera al intervalo de guarda más el símbolo a la salida del bloque IFFT. Luego un símbolo OFDM estará formado por 64 símbolos si consideramos un Prefijo Cíclico de 8 muestras.

La tabla 2.9 muestra los valores que toman los parámetros más importantes en un sistema IEEE 802.11a.

Parámetros	Valor
$\mathbf{N_{SD}}$: nº de subportadoras de datos	48
$\mathbf{N_{SP}}$: nº de subportadoras piloto	4
$\mathbf{N_{ST}}$: nº total de subportadoras	52
$\mathbf{\Delta_F}$: espacio frecuencial entre subportadoras	0.3125 MHz (20MHz/64)
$\mathbf{T_{FFT}}$: período IFFT/FFT	3.2 μs ($1/\Delta_F$)
$\mathbf{T_{PREAMBLE}}$: duración del período PLCP	16 μs ($T_{SHORT} + T_{LONG}$)
$\mathbf{T_{SIGNAL}}$: duración del campo SIGNAL	4.0 μs ($T_{GI} + T_{FFT}$)
$\mathbf{T_{GI}}$: duración del intervalo de guarda	0.8 μs ($T_{FFT}/4$)
$\mathbf{T_{SYM}}$: duración de un símbolo	4.0 μs ($T_{GI} + T_{FFT}$)
$\mathbf{T_{SHORT}}$: duración de la sec. de entren. corto	8.0 μs ($10T_{FFT/4}$)
$\mathbf{T_{LONG}}$: duración de la sec. de entren. largo	8.0 μs ($T_{GI} + 2\ T_{FFT}$)
$\mathbf{T_{GI2}}$: duración del símbolo de entrenamiento	1.6 μs ($T_{FFT}/2$)
W: ancho de banda de la señal	16.66 MHz

Tabla 4.8. Parámetros clave de una trama IEEE 802.11a

4.3.1.2 De símbolo OFDM a paquete OFDM

Según queda definido en el estándar 802.11a, una trama OFDM que se transmite a través de un canal sin cable, tendrá la estructura que se detalla en la figura 2.10.

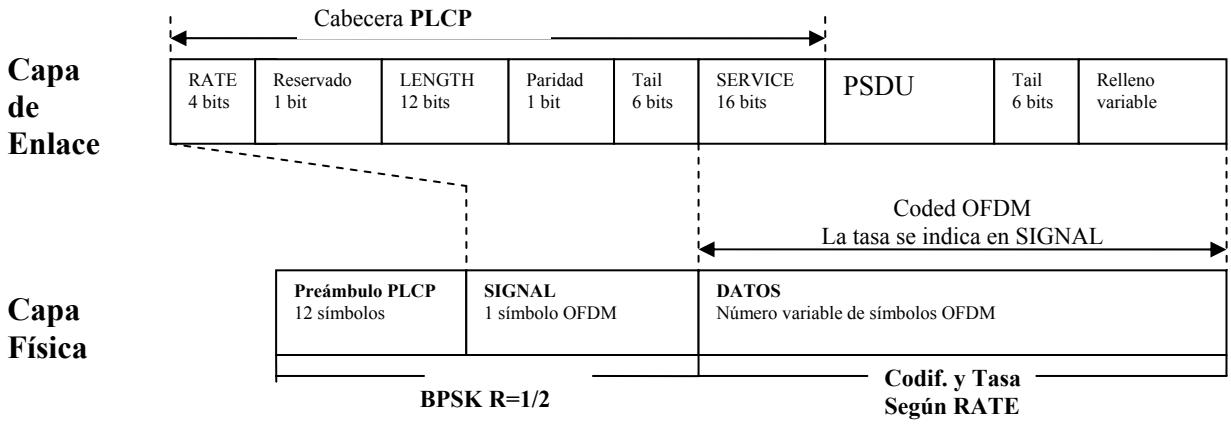


Figura 4.9. Formato de una trama OFDM

El campo PREAMBLE (Preámbulo) y el campo SIGNAL (Señal) son enviados a 6 Mbps utilizando codificación BPSK independientemente de lo que se indique en el campo RATE (Tasa).

Los símbolos OFDM se concatenan unos tras otros formando el campo DATA de una trama. Un paquete OFDM está formado por un campo PREAMBLE, una cabecera PLCP y una trama MAC.

4.3.1.3 Campo Preámbulo (PREAMBLE)

El campo Preámbulo (PREAMBLE), está formado por 12 símbolos: 10 símbolos t_1- t_{10} de una secuencia corta de instrucción (*STS "Short Training Sequences"*) y dos símbolos T_1-T_2 de una secuencia larga de instrucción (*LTS "Long*

Training Sequence). Indica al receptor de la llegada a continuación, de una señal OFDM. Los símbolos de STS sirven para detectar la llegada de señal en el receptor, para control automático de ganancia y hacer un ajuste aproximado del canal. Los símbolos de LTS hacen un ajuste fino de frecuencia y estiman el canal con precisión. Tanto STS como LTS duran 8 μs. Los 16 μs del preámbulo se muestran en la figura 4.10.

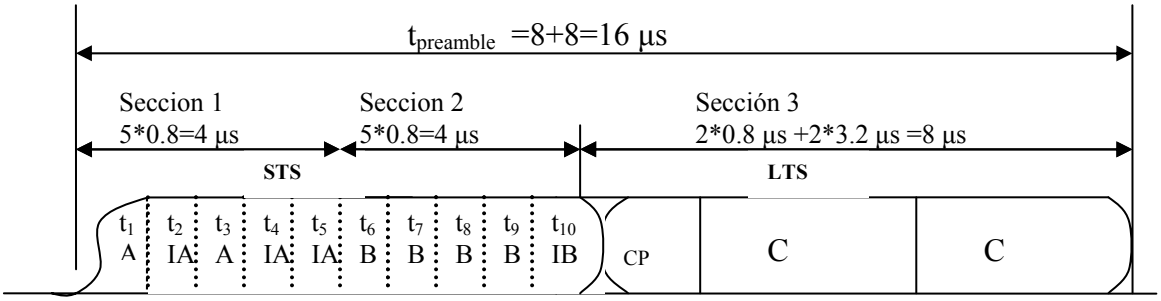


Figura 4.10. Campo PREAMBLE

La sección 1 de STS consiste en 5 símbolos OFDM específicos denotados por A e IA en la figura. El término "símbolos cortos OFDM" hace referencia a su longitud de 16 muestras frente a un símbolo OFDM normal que tiene 64 muestras. Los primeros cuatro símbolos cortos de la sección (A, IA, A, IA), constituyen un símbolo OFDM regular formado por 12 subportadoras $(\pm 2,\pm 6,\pm 10,\pm 14,\pm 18 y \pm 22)$ moduladas por la secuencia SA en el dominio de la frecuencia. El último símbolo corto IA de la sección 1 es una repetición de las 16 últimas muestras en el dominio del tiempo.

$SA_{-26,26} = \sqrt{52}/(2*12) \times \{ 0,0,1+j,0,0,0,-1-j,0,0,0,1+j,0,0,0,-1+j,0,0,0,1+j,0,0,0,\mathbf{0},0,0,0,-1-j,0,0,0,-1-j,0,0,0,1+j,0,0,0,1+j,0,0,0,1+j,0,0,0,1+j,0,0,\}$

donde $\sqrt{52}/(2*12)$ es para normalizar la potencia media del símbolo OFDM.

La sección 2 de STS consiste en 5 símbolos OFDM específicos denotados por B e IB en la figura. . Los primeros cuatro símbolos cortos de la sección (B, B, B, B), constituyen un símbolo OFDM regular formado por 12 subportadoras $(\pm 2,\pm 6,\pm 10,\pm 14,\pm 18 y \pm 22)$ moduladas por la secuencia SB en el dominio de la frecuencia. El último símbolo de la sección 2 de STS (IB) es una

copia invertida de las 16 últimas muestras en el dominio del tiempo (IB=-B). SB se define como:

$SB_{-26,26} = \sqrt{52}/(2*12) \times$ { 0,0,1+j,0,0,0,-1-j,0,0,0,1+j,0,0,0,-1-j,0,0,0,-1-j,0,0,0,1+j,0,0,0,**0**,0,0,0,-1-j,0,0,0,-1-j,0,0,0,1+j,0,0,0,1+j,0,0,0,1+j,0,0,}

La sección 3 consiste en dos símbolos (C) OFDM de longitud normal precedidos de un prefijo cíclico CP. Se utilizan las 52 subportadoras moduladas en el dominio de la frecuencia por la secuencia SC. El prefijo cíclico PC es una copia de las 32 últimas muestras de los símbolos C teniendo por tanto longitud de 32 muestras (el doble del prefijo cíclico de un símbolo OFDM regular). SB se define como:

$SC_{-26,26}$ = { 1,1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,1,1,1,1,1,1,-1,-1,1,1,-1,1,-1,1,-1,1,1,1,1,**0**,1,-1,-1,1,1,1,-1,1,-1,1,-1,-1,-1,-1,1,1,1,-1,-1,1,-1,1,-1,1,-1,1,1,1,1,1}

Se supone que el canal no cambia tras la secuencia larga de instrucción. Así queda estimado el canal, y ésta información se utilizará en el posterior proceso de ecualización en recepción. Para la subportadora *k*, tenemos *Y(k)=C(k)*X(k)+N(k).* Si la estimación del canal para la portadora k es C´(k), la señal ecualizada puede ser $Y'(k) = \left(C'(k)^* / \left|C'(k)\right|^2\right) * Y(k)$.

4.3.1.4 Campo Señal (SIGNAL)

La **cabecera PLCP** excluyendo el campo SERVICE de 16 bits constituye, en términos de modulación un símbolo OFDM llamado SIGNAL. Dicho símbolo se codifica empleando BPSK con una tasa de R=1/2. Incluye los siguientes campos: RATE (4 bits), reservado (1 bit), LENGTH (12 bits), paridad par (1 bit) y cola (6 bits).

El campo **SIGNAL** está formado por 24 bits distribuidos como se muestra en la figura siguiente.

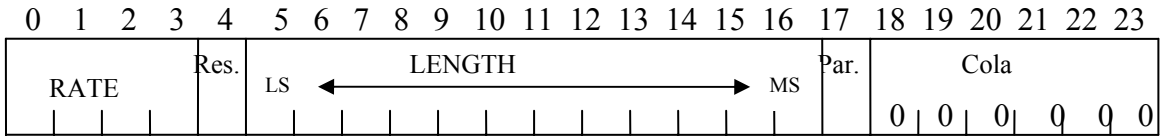


Figura 4.11. Campo señal de una trama OFDM

LS: Less Significant Bit

MS: Most Significant Bit

Los bits 0 al 4 constituyen el campo **RATE** (o tasa) y codifican cada una de las tasas de datos, indicando aquella que será utilizada en éste caso concreto de comunicación según la tabla siguiente.

Tasa de Datos (Mbps)	**Bits del campo RATE en orden de transmisión**
6	1101
9	1111
12	0101
18	0111
24	1001
36	1011
48	0001
54	0011

Figura 4.12. Valor de los bits del campo RATE para cada tasa de transmisión

El campo **LENGTH (o longitud),** está formado por 12 bits sin signo que codifican el número de octetos que conforman en total la trama OFDM. El bit menos significativo es el primero en transmitirse. El campo length es procesado por un código convolucional para protegerlo contra posibles errores.

El bit 4 está reservado para uso futuro y debe ser forzado a 0. El bit 17 es de paridad de los 16 bits de señal que le preceden. Los 6 últimos bits o **cola**, sirven para

decodificar el código convolucional. Como tal, deben ser procesados por definición por dicho código.

El campo **SERVICE (o servicio),** está formado por 16 bits. A diferencia del resto de componentes de la cabecera PLCP, el campo SERVICE se transmite en el campo de datos de la capa física. Luego lo hará a la misma velocidad que la trama MAC (fijada en el campo RATE) que no es la misma que la de la cabecera (siempre 6 Mbps). Los seis primeros bits tienen valor "0" y sirven para inicializar el desaleatorizador en el receptor. Los bits restantes están reservados y deben permanecer también a "0" hasta uso futuro.

4.3.1.5 Campo Datos (DATA)

El esquema de codificación empleado para el campo Datos de la trama, dependerá de la tasa de bits a la que se transmita. El campo *Service* de la cabecera se incluye en el campo datos de la unidad física de protocolo, puesto que inicializa el aleatorizador. La estructura de éste campo, se encuentra en el esquema de la figura x de una trama OFDM. Los seis bits de cola del campo datos, se utilizan de forma análoga a los bits de cola de la cabecera: llevan al código convolucional de forma suave a su estado inicial. Se requieren seis bits a "0" puesto que el código convolucional tiene longitud de siete.

Por último, al final del campo datos hay un número variable de bits de relleno. La modulación OFDM requiere bloques de datos de un tamaño fijo. El tamaño de dichos bloques dependerá de la codificación y modulación determinada por la tasa de datos. Los bits de relleno hacen que el tamaño del campo DATA sea múltiplo entero de dicho tamaño de bloque elegido.

4.3.2 Codificación y Modulación

La capa física PHY de OFDM puede utilizar distintas modulaciones y codificaciones para llegar a la tasa de datos requerida que variará entre 6 Mbps y 54 Mbps. En cualquier caso, se utiliza una tasa de **250.000 símbolos/segundo**. El número de bits de datos en cada símbolo, varía. Un símbolo OFDM estará presente en 48 subcanales.

Existen cuatro niveles de velocidad de datos: 6 y 9 Mbps, 12 y 18 Mbps, 24 y 36 Mbps, 48 y 54 Mbps. Los transmisores y receptores deben estar preparados para soportar las tasas de 6, 12 y 24 Mbit/s, que son las velocidades mínimas de los tres primeros niveles, y por tanto las más robustas en presencia de interferencias.

El nivel más bajo (6 y 9 Mbps), utilizan *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) para codificar 1 bit por subcanal o 48 bits por símbolo. El código convolucional significa que o la mitad o un cuarto de los bits son de redundancia para corrección de errores, así que hay solamente 24 o 36 bits de datos por símbolo.

El siguiente nivel (12 y 18 Mbps), utiliza *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) para codificar 2 bits por subcanal o 96 bits por símbolo. Tras extraer la cabecera para el código convolucional, al receptor llegan 48 o 72 bits de datos.

Los niveles tercero (24 y 36 Mbps) y cuarto (48 y 54 Mbps), utlizan una combinación de BPSK y QPSK: *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). 16-QAM codica 4 bits utilizando 16 símbolos y 64-QAM codifica 6 bits utilizando 64 símbolos. El tercer nivel utiliza 16-QAM con códigos convolucionales que hacen R=1/2 y R=1/4. Se llega a la máxima tasa con 64-QAM, utilizando el código convolucional R=2/3 y R=3/4.

La siguiente tabla esquematiza cada modulación y codificación empleadas para conseguir cada una de las tasas de datos posibles en la capa física PHY de WLAN 802.11a.

Velocidad (Mbps)	Modulación y Tasa de codif (R)	Bits codificados por portadora	Bits codificados por símbolo	Bits de datos por símbolo
6	BPSK, R=1/2	1	48	24
9	BPSK, R=3/4	1	48	36
12	QPSK, R=1/2	2	96	48
18	QPSK, R=3/4	2	96	72
24	16-QAM, R=1/2	4	1 92	96
36	16-QAM, R=3/4	4	1 92	144
48	64-QAM, R=2/3	6	288	192
54	64-QAM, R=3/4	6	288	216

Figura 4.14. Detalles de la codificación para las diferentes tasas de datos

4.4 Simulaciones

En éste apartado se realiza un estudio del sistema IEEE 802.11a, para las distintas codificaciones posibles y en distintos canales, desde el canal ideal hasta un canal multitrayecto donde el retardo sea mayor que el intervalo de guarda.

Las siguientes variables que se utilizan para simularlos tomarán en todas las simulaciones los mismos valores por tratarse en todas ellas de IEEE 802.11a. Son los valores tomados de la tabla 4.8.

Independientemente del tipo de codificación utilizado, el retardo mayor que puede soportar el sistema para seguir funcionando correctamente es de 0.8 μs, que es la duración del Prefijo Cíclico.

Además, un tap es, independientemente de la codificación empleada:

$\tau_{TAP} = \tau_{SIM} = 0.8\ \mu s/16 = 0.05\ \mu s$

- **N**=64. Se trabaja con 64 subportadoras.
- **u0=**0.8. Luego el intervalo de guarda será de longitud 16 símbolos de la codificación. Luego la duración del intervalo de guarda es de 0.8μs.

Luego la duración de un símbolo OFDM es N+Ng=64+16=80 taps que son τ_{OFDM}=80*0.05 μs= 4 μs.

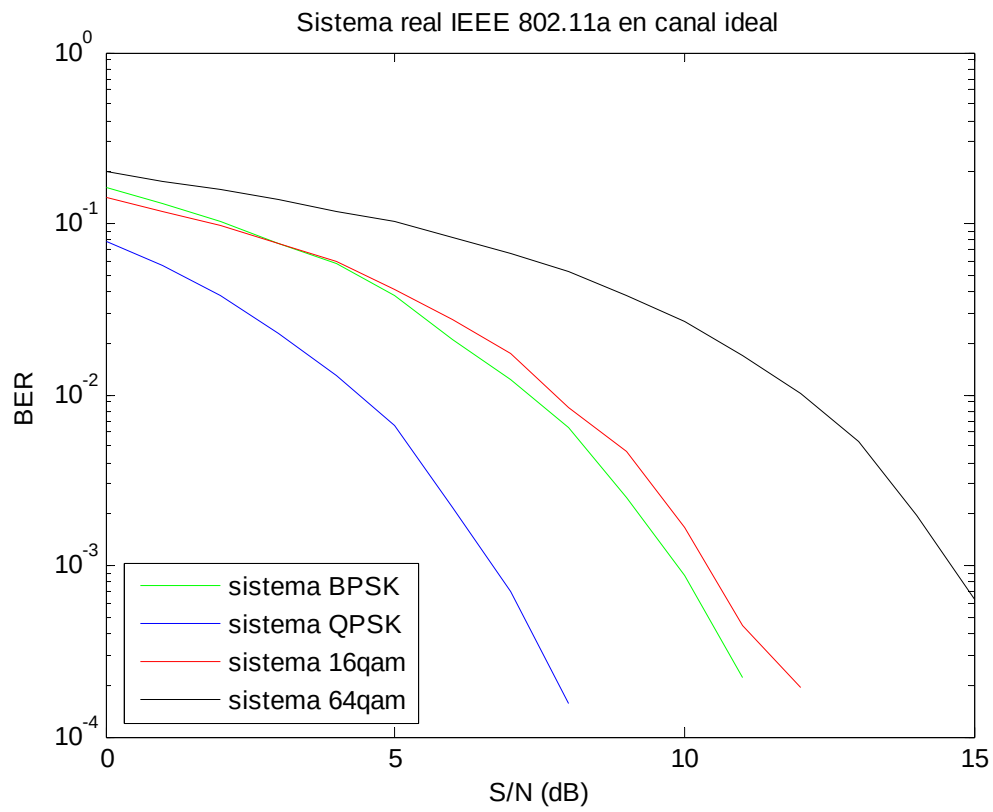
4.4.1. IEEE 802.11a en canal ideal

- Canal ideal

v_chan=[1]

Únicamente llega un rayo directo sin atenuación y sin retardo

- Resultados



Simulación WLAN1: Sistema IEEE 802.11a en canal ideal

4.4.2. IEEE 802.11a en canal multitrayecto

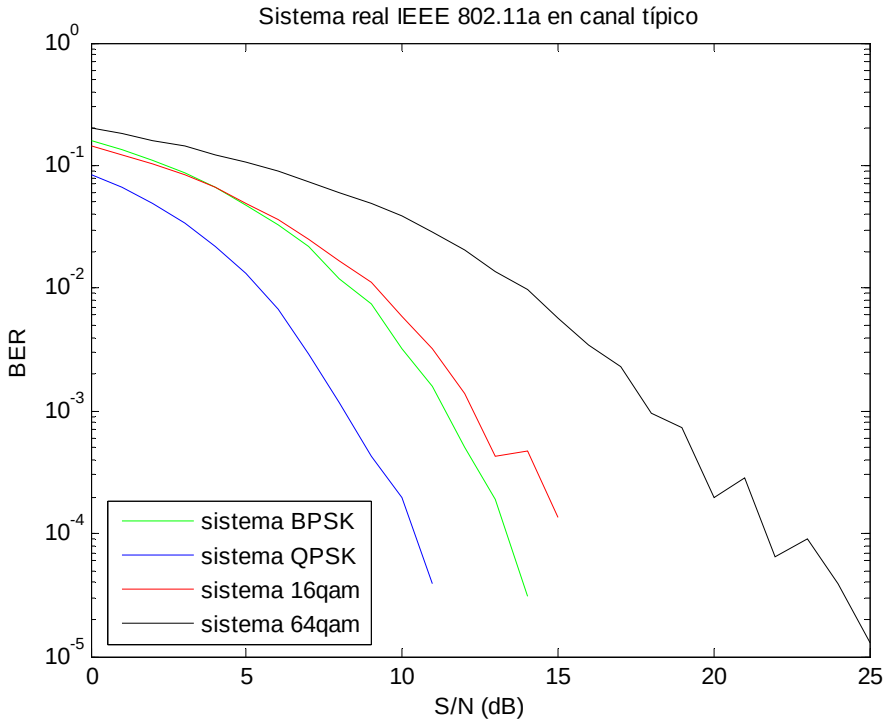
El canal interior que se simula en este apartado, es un canal CE-BEM con retardo máximo de 0.4 μs, siendo por tanto menor que el Prefijo Cíclico. De ésta forma, la recepción será si bien no óptima (como en el apartado anterior del canal ideal), sí de muy buenas características. No se produce interferencia entre portadoras gracias al PC.

- Canal multitrayecto

v_canal_mult=[1 1/exp(1) 1/exp(2) 1/exp(3) 1/exp(4) 1/exp(5) 1/exp(6) 1/exp(7)]

Es un canal multitrayecto al que llegan 8 rayos. El primero de ellos sin atenuación y sin retardo (rayo directo), y el último con atenuación 1/exp(7) y con un retardo de 0.4 μs

- Resultados



4.4.3. IEEE 802.11a en canal multitrayecto con retardo máximo=Ng

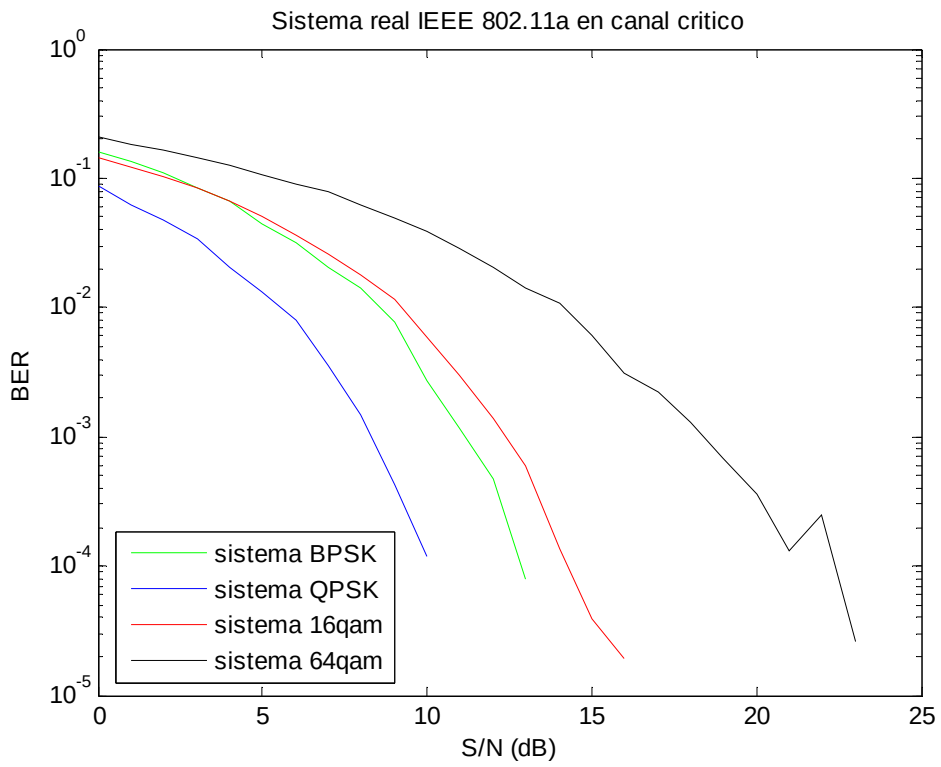
El canal multitrayecto de este apartado, es un canal CE-BEM con retardo de 0.8 μs, siendo por tanto igual al Prefijo Cíclico. De ésta forma, la recepción estará en el límite. Si bien no se produce interferencia interportadora, si aumenta un poco el mayor retardo de todos los rayos que llegan al receptor, el sistema pasaría a ser el del apartado 4.4.4. y por tanto a degradar sus características.

- Canal multitrayecto Ng=retardo máximo

v_canal_mult=[1 1/exp(1) 1/exp(2) 1/exp(3) 1/exp(4) 1/exp(5) 1/exp(6) 1/exp(7) 1/exp(8) 1/exp(9) 1/exp(10) 1/exp(11) 1/exp(12) 1/exp(13) 1/exp(14) 1/exp(15)]

Es un canal multitrayecto al que llegan 16 rayos. El primero de ellos sin atenuación y sin retardo (rayo directo), y el último con atenuación 1/exp(15) y con un retardo de 0.8 μs (mayor retardo que soporta el sistema IEEE 802.11a sin degradarse).

- Resultados



4.4.4. IEEE 802.11a en canal multitrayecto con retardo máximo>Ng

El canal multitrayecto de este apartado, es un canal CE-BEM con retardo de 1 μs, siendo por tanto mayor al Prefijo Cíclico. De ésta forma, la recepción es mala puesto que se ve afectada por interferencias entre portadoras. Es el ejemplo del caso que se debe evitar. Si se llega a este extremo, está claro que no nos sirve un sistema que trabaje con la norma IEEE 802.11a, y que se debe conseguir un punto de acceso más cercano a la aplicación (ordenador portátil por ejemplo) que se esté utilizando.

- Canal multitrayecto Ng=retardo máximo

v_canal_mult=[1 1/exp(1) 1/exp(2) 1/exp(3) 1/exp(4) 1/exp(5) 1/exp(6) 1/exp(7) 1/exp(8) 1/exp(9) 1/exp(10) 1/exp(11) 1/exp(12) 1/exp(13) 1/exp(14) 1/exp(15) 1/exp(16) 1/exp(17) 1/exp(18) 1/exp(19)]

Es un canal multitrayecto al que llegan 20 rayos. El primero de ellos sin atenuación y sin retardo (rayo directo), y el último con atenuación 1/exp(19) y con un retardo de 1 μs.

- Resultados

