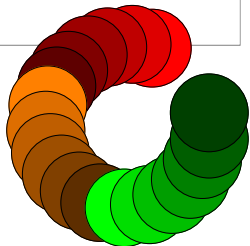


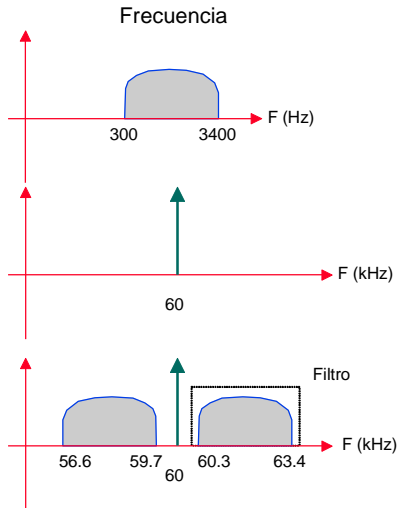
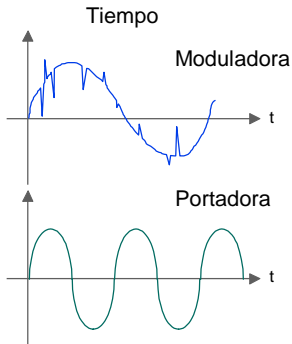
- Propagación de ondas electromagnéticas
- Modulación
- Métodos de corrección de errores
- Aspectos regulatorios en radioenlaces
- Estructura del radio digital
- Diseño de un radioenlace
- Nuevas aplicaciones con radioenlaces
- Funcionamiento y estructura del satélite
- Técnicas de acceso múltiple
- Cálculo de enlace satelital
- Equipo satelital terrestre
- Redes VSAT y Sistema GPS
- Servicios satelitales en México y en el mundo
- Nuevas aplicaciones con satélites

- ✓ Definición
- ✓ Señales analógicas vs digitales
- ✓ Modulación digital
- ✓ Tipos de modulación digital
- ✓ Constelaciones de símbolos
- ✓ Demodulación
- ✓ Comparación de modulaciones

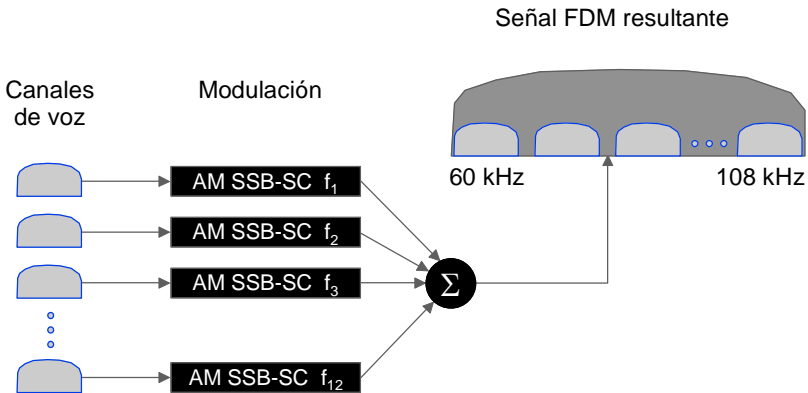
- ✓ Modular es hacer variar algún parámetro de una señal en función de otra señal. A la primera se le conoce como señal **modulada** y a la segunda como señal **moduladora**.
- ✓ Existen diversos tipos de modulación: de frecuencia (FM), de amplitud (AM), de fase (PM) y combinaciones de ellas.
- ✓ Además, la modulación puede ser de naturaleza analógica o digital.



Modulación en amplitud



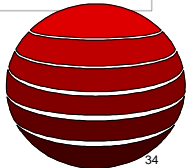
- Ambas señales se multiplican en el tiempo.
- Con filtros se selecciona la banda lateral deseada.
- Se elimina la portadora.



AM SSB SC:

Modulación de amplitud de banda lateral única y portadora suprimida

- ✓ Un sistema digital ofrece mayor tolerancia al ruido e interferencias.
- ✓ En el sistema digital no se acumula ruido en las estaciones repetidoras.
- ✓ Sin embargo, el sistema digital es más vulnerable al desvanecimiento.
- ✓ Facilita la integración de señales distintas de la voz.
- ✓ El sistema digital consume menos energía y requiere menos ajustes.
- ✓ Para el sistema analógico la calidad se mide por el nivel de ruido S/N. En el sistema digital, se mide por el BER.



- ✓ Un inconveniente de las señales digitales, es que requieren un mayor ancho de banda comparado con el de la señal que representan.
- ✓ Esta señal digital será transmitida por un medio más adecuado para señales de ancho de banda limitado.
- ✓ Además, se deben respetar los canales de RF, de los cuales muchos fueron concebidos para radioenlaces analógicos.
- ✓ Se requiere entonces de un proceso que permita conservar la transmisión de esta señal en forma digital.



¿Cómo funciona la modulación digital?

Información Binaria

.... 10110010



.... 01011100



Señal de Reloj

A

B



Portador

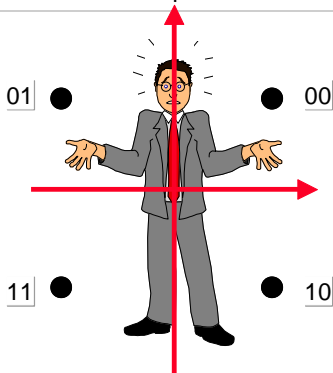
Simón dice : ¡Mover!

AB	Símbolo
00	Mano derecha
01	Mano izquierda
10	Pie derecho
11	Pie izquierdo

- ✓ Con cada ciclo de reloj, tenemos un valor para la pareja (A,B). Con este valor, el portador ejecuta un movimiento. Cada movimiento del portador es considerado un símbolo.
- ✓ Un símbolo por segundo equivale a un baudio. Para este caso la relación de bits/s a baudios es 2 a 1. Y cada símbolo representa a una combinación de 2 bits.
- ✓ Es la correspondencia entre hertz vs bits por segundo.

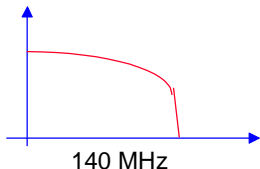
Constelación de símbolos

- ✓ La constelación es el diagrama vectorial en donde se muestran los puntos o símbolos que pueden ser ocupados por la portadora para representar a la información binaria.
- ✓ Nótese como la diferencia entre los puntos es de 1 bit, lo que minimiza los errores en caso de equivocación al demodular la señal.

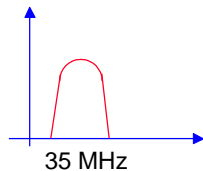


Ejemplo de modulación digital

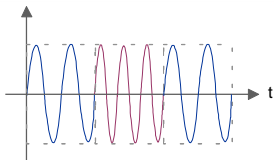
- ✓ Señal de 1920 canales de 64 kbps: 139.264 Mbps
- ✓ Ancho de banda requerido por la señal: 140 MHz
- ✓ Ancho de banda disponible: 40 MHz
- ✓ Relación de bps a baudios necesaria: $4:1$
 $140/40 = 3.5$
- ✓ Modulación a emplear: 16 QAM



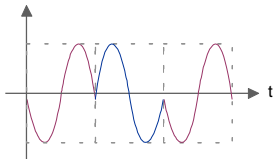
Modulación
Digital



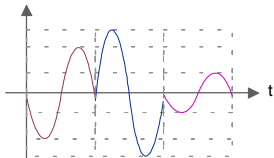
✓ En frecuencia: FSK



✓ En fase: PSK

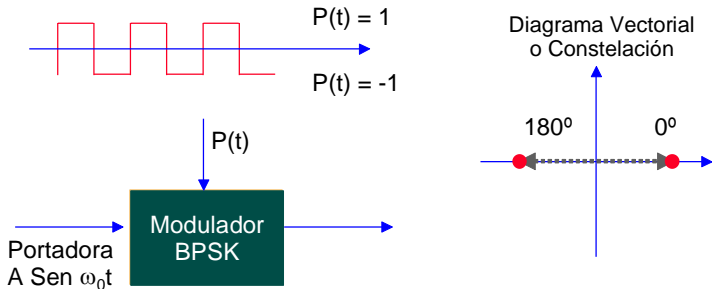


✓ De fase y amplitud: QAM



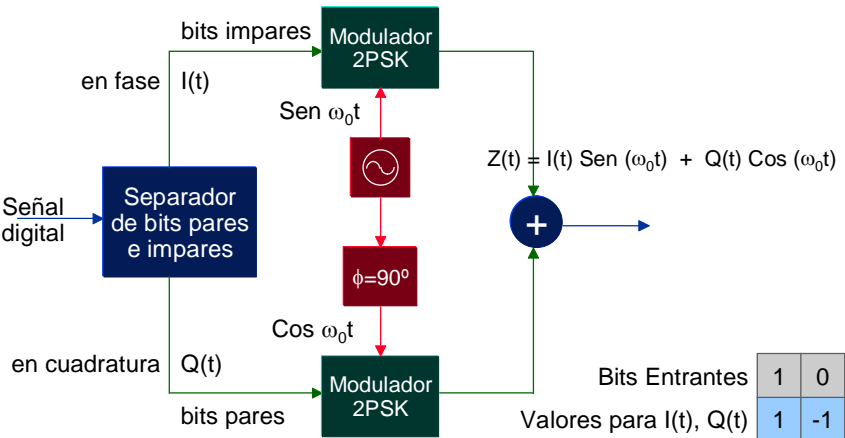
Binary Phase Shift Keying

A cada fase se le asocia un símbolo (un bit en este caso), y a la cantidad de símbolos por segundo se le llama baudios.



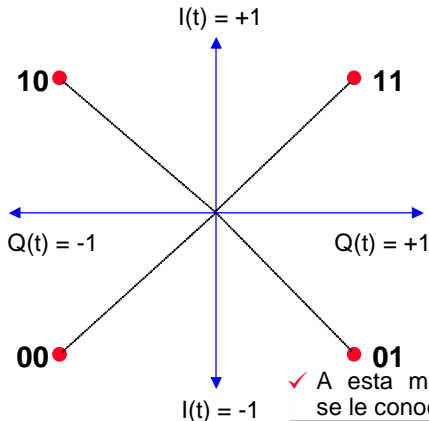
Esta modulación es empleada en sistemas de baja y media capacidad.

Quaternary Phase Shift Keying

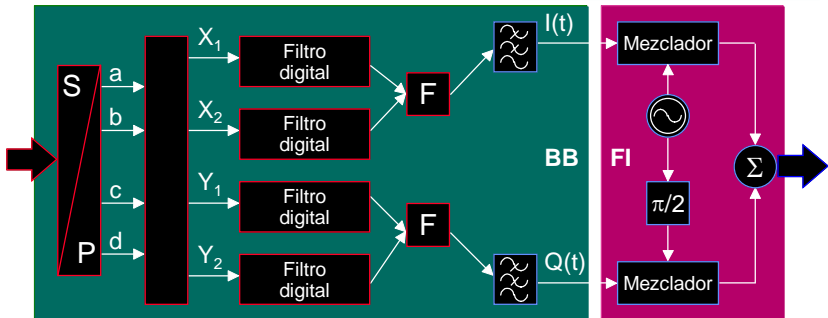


Constelación QPSK

- ✓ La relación entre velocidad binaria y velocidad de símbolos (baudios) es 2 a 1.
- ✓ Esto produce la reducción a la mitad del ancho de banda requerido.



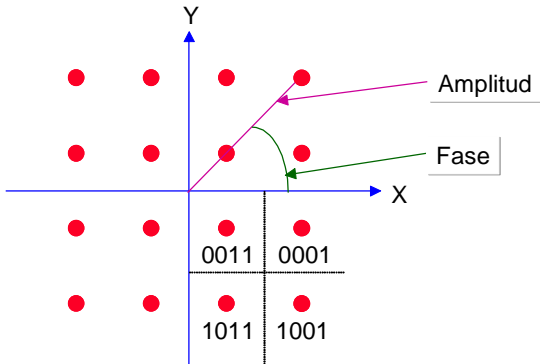
- ✓ A esta modulación también se le conoce como 4PSK.



1. Conversión serie-paralelo.
2. Codificación diferencial (matricial) con filtrado digital.
3. Combinación de las señales filtradas para formar componentes en cuadratura $Q(t)$ y en fase $I(t)$, con 4 niveles posibles ($\pm 1/3$ y ± 1).
4. Estas componentes se pasan por filtros pasabajos.
5. Modulación DSB-SC en paralelo de las señales en cuadratura con el mismo oscilador.
6. Combinación de los dos resultantes para la señal **16 QAM** definitiva.

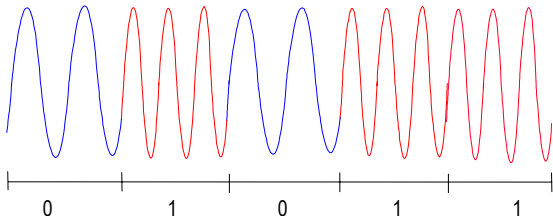
Constelación 16 QAM

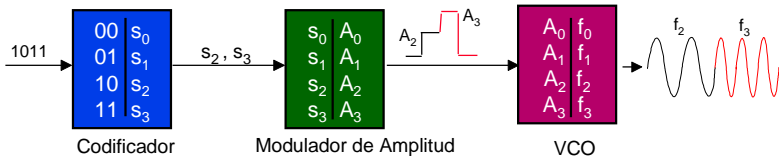
- ✓ Cada punto de la constelación está definido por una fase y una amplitud.
- ✓ Cada símbolo representa a un quadbit (4 bits).
- ✓ Las representaciones de los símbolos adyacentes difieren en un sólo bit.



Frequency Shift Keying

- ✓ Para transmitir un símbolo en modulación **FSK** se selecciona una frecuencia de un conjunto de **M** frecuencias diferentes.
- ✓ El caso más sencillo es **FSK** tipo binario con **M=2**. Por ejemplo, para transmitir la secuencia 01011 tenemos:





1. Se codifica cada grupo de N bits en un símbolo del conjunto de símbolos disponibles.
2. Cada símbolo se asocia a un pulso rectangular de cierta amplitud.
3. La amplitud A genera a la salida del VCO una señal de frecuencia f durante un intervalo de tiempo T .

Para el caso particular de $M = 4$, también llamado **4FSK** tenemos

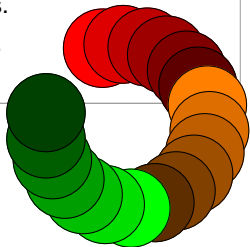
- Símbolos = 4
- Bits por símbolo = 2
- Frecuencias de operación = 4

✓ Demodulación diferencial

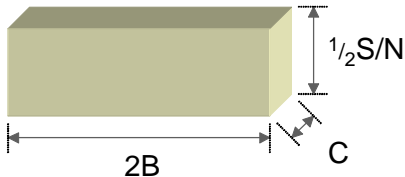
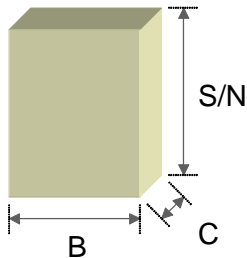
- No requiere conocer la frecuencia de la portadora.
- Sin embargo, algunos de sus parámetros críticos requieren de una estabilidad alta y niveles de ruido bajos.
- No es comúnmente utilizada.

✓ Demodulación coherente

- Requiere conocer la frecuencia y fase de la portadora, la cual se regenera localmente mediante filtros y VCO's.
- Existen métodos para recuperar la portadora.
- De los más utilizados, el "Bucle de Costas".



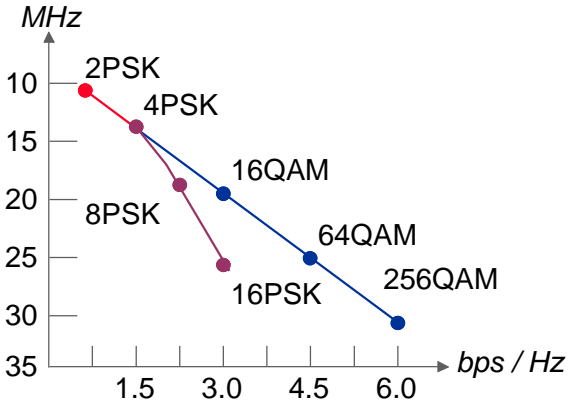
$$C = B \log_2 [1 + S/N]$$



Dada la capacidad del canal, se puede transmitir más información, pero ésta sería más susceptible al ruido.

Podemos proponer una modulación más compleja para enviar más información dentro del mismo canal, pero entonces soportaremos menos ruido sobre ese canal: la S/N (o BER) requerida será mayor.

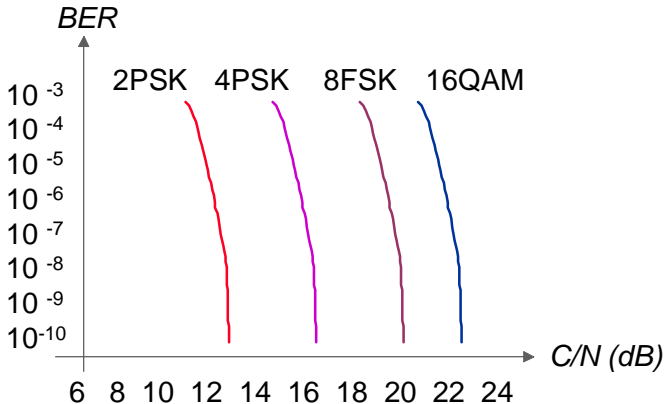
Comparación por eficiencia



Mientras más compleja es la modulación:

- requiere de mayor ancho de banda
- pero, es más eficiente

Comparación por C/N requerida



Por ejemplo, para 256 QAM se requieren 40 dB de C/N, pero es posible transmitir hasta 2 x 155 Mbps.