Actividades de ampliación

1.1. ¿Qué edificios deben disponer de una ICT?

1.2. En algún caso, ¿las viviendas unifamiliares tienen la obligación de incorporar una ICT?

1.3. ¿Qué personas tienen reconocida la capacidad para realizar proyectos de ICT?

1.4. ¿Qué normativa sobre la ICT crees que es aplicable en tu Comunidad Autónoma?

1.5. Enumera los requisitos necesarios para ser una empresa instaladora.

1.6. ¿Cuántos tipos de instaladores de telecomunicación existen? ¿Cuáles de ellos se dedican a las instalaciones de infraestructuras comunes de telecomunicación?

1.7. ¿Qué tipo de habilitación deben tener los instaladores que realicen la instalación y mantenimiento de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones que incluyan como tecnologías de acceso redes basadas en fibra óptica?

1.8. ¿Quién es el responsable de certificar la instalación de una ICT? ¿Es siempre obligatoria realizar esta certficación?

1.9. ¿Qué describe el manual de usuario de una ICT? ¿Qué agente hará entrega a la propiedad de una copia del manual de usuario?

1.10. ¿Qué agente se encarga de suscribir el certificado de fin de obra, y supervisar los protocolos de pruebas elaborados por la empresa instaladora de telecomunicación encargada de la ejecución?

1.11. ¿Cuáles son las principales funciones de la empresa instaladora y del director de obra durante la instalación de una ICT? ¿Qué documento debe expedir cada uno de ellos?

1.12. Enumera los documentos que son necesarios desarrollar en toda instalación de ICT.

1.13. ¿Qué documento garantiza que la instalación de una ICT está bien ejecutada? ¿Quién debe realizar este documento?

1.14. Resume el procedimiento que debe seguirse para implantar una ICT en un edificio de nueva construcción.

Enlaces web

COIT. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación.
www.coit.es

COITT. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Telecomunicación.
www.coitt.es

SETSI. Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/

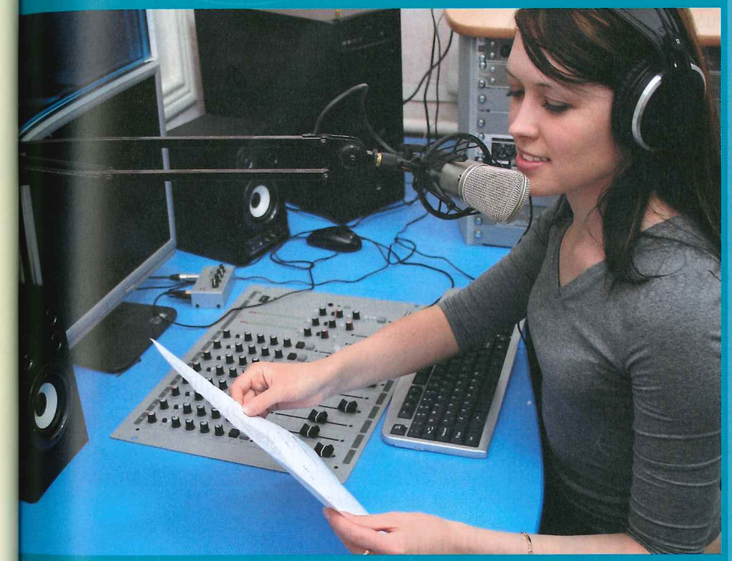
Apartado Infraestructuras de Telecomunicaciones, donde entre otros se pueden descargar los modelos de documentos utilizados para ICT.
www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Infraestructuras

Fenitel. Federación de Instaladores de Telecomunicaciones.
www.fenitel.es

PREOC. Base de precios PREOC y generador de presupuestos automáticos PREMETI que permiten conocer los costes de construcción de un proyecto. Es necesario registrarse.
www.preoc.es

© Ediciones Paraninfo

2 Comunicaciones radioeléctricas y servicios de radiodifusión



Los servicios de radiodifusión son aquellos servicios de radiocomunicación cuyas emisiones se destinan a ser recibidas directamente por el público en general y, por tanto, abarca las emisiones de radio y de televisión.

La clasificación de los servicios de radiodifusión dependerá de la naturaleza de la señal transmitida (vídeo o audio), de las características de la modulación utilizada (analógica o digital) y del medio de transmisión (terrestre, satélite o cable). En cualquier caso, la señal original de vídeo o de audio debe tratarse de manera adecuada antes de su modulación (codificación de la señal de vídeo y de audio).

Contenidos

2.1. Principios de comunicaciones
2.2. Modulaciones analógicas
2.3. Modulaciones digitales
2.4. Servicios de radiodifusión
2.5. Sistemas de radiodifusión analógicos
2.6. Sistemas de radiodifusión digital
2.7. Estándares DVB
2.8. Planificación del espectro radioeléctrico
2.9. Unidades utilizadas en los sistemas de telecomunicación

Objetivos

- Conocer los elementos y parámetros básicos que forman parte de un sistema de radiodifusión.
- Relacionar las características de una modulación con las señales que intervienen.
- Definir las unidades de medida útiles en la caracterización de los sistemas de comunicaciones.
- Evaluar la calidad de una comunicación en función de las características de ruido de los elementos utilizados en el receptor.

2.1. Principios de comunicaciones

El objetivo de un **sistema de telecomunicaciones** es la transmisión de información entre dos puntos situados geográficamente lejanos.

Todo sistema de telecomunicación puede modelarse mediante un emisor, un receptor y un canal de comunicaciones que realiza el enlace entre el emisor y el receptor.

2.1.1. Sistemas de radiodifusión

Los **sistemas de radiodifusión** se caracterizan por ser unidireccionales, es decir, un emisor envía información a numerosos destinatarios que no pueden contestar.

Los sistemas de radiodifusión comerciales se pueden clasificar en dos tipos fundamentales: los sistemas de comunicaciones de radio y los de televisión. El principal canal de transmisión utilizado en estos sistemas se basa en la propagación de **ondas electromagnéticas** a través del espacio libre (Figura 2.1), aunque cada vez más son comunes los sistemas de transmisión por cable.

La señal de salida del micrófono o de la cámara de vídeo se somete a un proceso de **modulación** que se encarga de situar la señal original a una frecuencia diferente, que depende del margen de frecuencias asignado para el servicio de radiodifusión. El amplificador de radiofrecuencia se encarga de adecuar la señal a las características de la antena, entregando suficiente potencia para conseguir una transmisión óptima.

La información viaja en forma de ondas electromagnéticas por el espacio libre, que son recogidas por la antena del equipo receptor.

En el receptor se recupera la señal original sometiendo a esta al proceso inverso realizado en el emisor (demodulación). Además, es necesario amplificar la señal de salida del demodulador, ya que esta no es capaz de excitar directamente el equipo final de salida (altavoz o receptor de TV).

Recuerda:

El canal de transmisión puede ser un medio radiado, como el espacio libre (ondas electromagnéticas) o puede ser un medio guiado como por ejemplo los cables de pares, cable coaxial, fibra óptica, etc.

2.1.2. Principios fundamentales de modulación

El principal objetivo de la **modulación** es adecuar la señal de información que se desea transmitir al medio de transmisión utilizado.

La modulación (Figura 2.2.a) también permite transmitir una información del mismo tipo, por ejemplo la señal de vídeo y audio de TV, por un único canal de comunicación, sin que se produzcan superposiciones ni interferencias. La señal original de toda modulación ocupa el mismo margen de frecuencias en banda base (Figura 2.2.b), pero durante la modulación se pueden asignar frecuencias diferentes a cada comunicación (Figura 2.2.c).

Sabías que...

La señal de audio o de vídeo, con un margen de variación aproximada de 0-20 kHz y 0-5 MHz respectivamente, no puede propagarse directamente por el espacio libre, debido sobre todo a la longitud de las antenas necesaria para la transmisión y a la atenuación sufrida por la señal durante la propagación.

2.1.3. Tipos de modulaciones

Las modulaciones que se utilizan para transmitir información por un medio de transmisión analógico se denominan **modulaciones digitales de onda continua**. En este proceso de modulación intervienen tres señales:

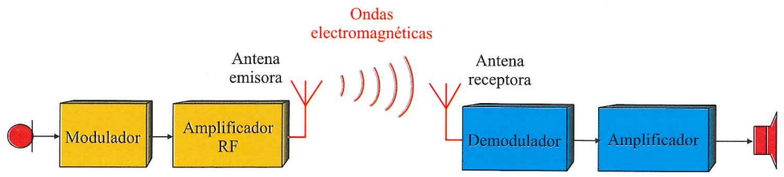


Figura 2.1. *Sistema típico de radiodifusión.*

© Ediciones Paraninfo

© Ediciones Paraninfo

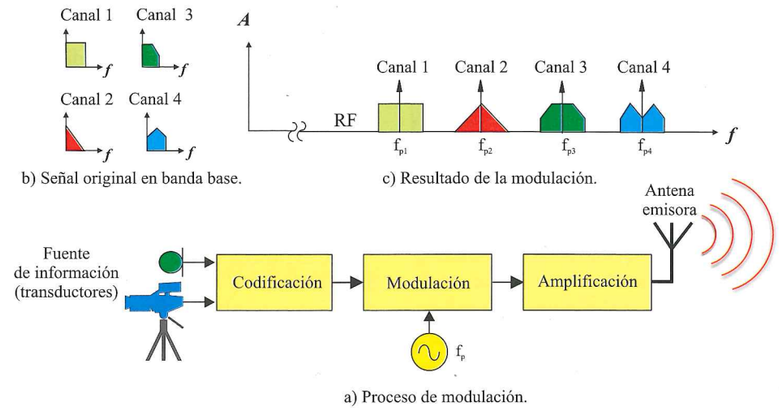


Figura 2.2. *Modulación.*

- **Señal moduladora** o señal de información.
- **Señal portadora,** sobre la que se lleva la información de la señal moduladora.
- **Señal modulada,** que es la señal resultante del proceso de modulación.

Dependiendo de la naturaleza de la señal moduladora existen dos tipos de modulaciones diferentes: analógicas y digitales.

La Figura 2.3 compara estos dos tipos de modulación, las dos son de amplitud. En los dos casos, la señal de alta frecuencia de la onda portadora es analógica. En cambio, la información (onda moduladora) es analógica en el caso de los sistemas de transmisión analógicos (Figura 2.3.a) y digital en el caso de los sistemas de transmisión digitales (Figura 2.3.b).

Recuerda:

La onda resultante de la modulación se envía al receptor a través del medio de transmisión.

2.2. Modulaciones analógicas

Los parámetros que podemos variar de la señal portadora son su amplitud, su frecuencia y su fase. De esta forma obtenemos tres tipos posibles de modulación:

- Modulación en amplitud (AM).
- Modulación en frecuencia (FM).
- Modulación en fase (PM).

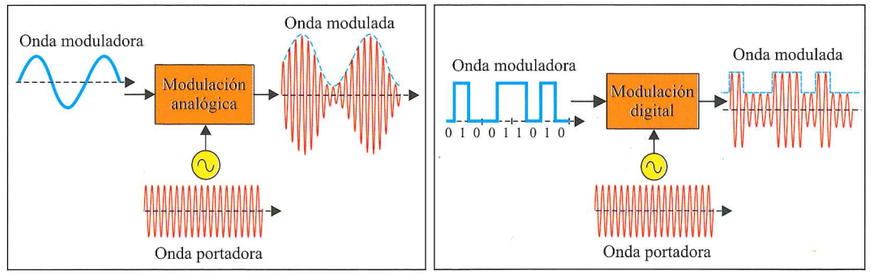


Figura 2.3. *Tipos de modulaciones.*

Recuerda:

Las modulaciones de onda continua se realizan variando uno de los parámetros de la señal portadora, generalmente de carácter sinusoidal, en función de la señal de información (señal moduladora).

Sabías que...

En los sistemas analógicos de comunicación, la señal de información a transmitir tiene carácter analógico, ya sea señal de audio o de vídeo. Esta información se debe transmitir de forma analógica por el espacio libre en forma de ondas electromagnéticas, por tanto, la señal modulada también tiene carácter analógico. A este tipo de modulaciones se les denomina modulaciones analógicas de onda continua.

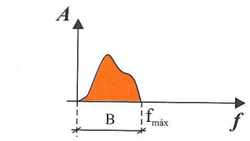
2.2.1. Modulación de amplitud

En la **modulación de amplitud** (AM), la amplitud de la señal portadora varía de acuerdo con el nivel instantáneo de la señal de información.

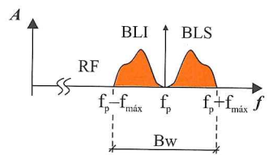
La Figura 2.4.a muestra cómo la señal sinusoidal portadora es modulada por la señal de información, en este ejemplo un tono puro. La señal modulada tiene la misma frecuencia de la onda de señal portadora. En cambio, la amplitud de la señal portadora varía en función de la información. Como se observa, la información está contenida en la amplitud de la señal modulada, ya que la envolvente de esta señal coincide con la señal moduladora.

La Figura 2.4.b muestra el espectro de cada una de las señales que intervienen en una modulación AM. La señal portadora es un tono puro de radiofrecuencia que permite trasladar la información a la banda de frecuencias deseada. En este ejemplo, la señal moduladora es un tono puro de baja frecuencia. Al realizar la modulación en amplitud, la señal portadora desplaza la información a la banda de radiofrecuencia, situando la información modulada a ambos lados de la señal portadora.

De la misma forma, si modulamos en amplitud una señal con espectro continuo (Figura 2.5), por ejemplo la voz, el espectro resultante tiene dos bandas: la superior (BLS, banda lateral superior) y la inferior (BLI, banda lateral inferior) a la frecuencia portadora. Estas bandas se corresponden con el espectro del mensaje que modula la señal portadora, por eso a esta modulación se le denomina **modulación AM en doble banda lateral** (AM-DBL).

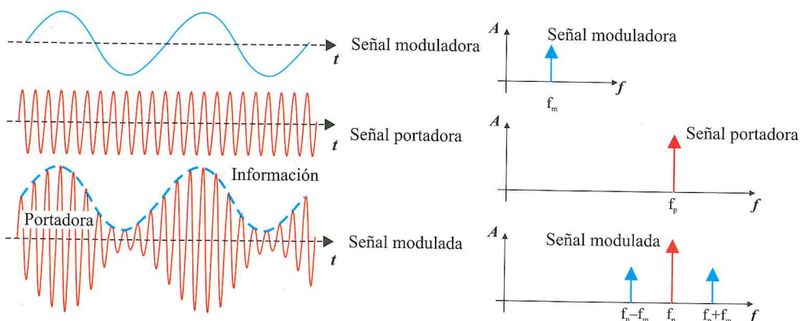


a) Señal original en banda base.



b) Señal modulada en AM.

Figura 2.5. *Modulación AM de un espectro continuo.*



a) Modulación de amplitud.

b) Espectro de frecuencia.

Figura 2.4. *Modulación de amplitud.*

© Ediciones Paraninfo

© Ediciones Paraninfo

El ancho de banda del espectro de radiofrecuencia (B_W) resultante de una modulación AM es el doble del ancho de banda de la señal original (B):

$$B_W = 2 \times B = 2 \times f_{máx}$$

2.2.2. Modulación de frecuencia

En la **modulación de frecuencia** (FM), la frecuencia de la señal portadora varía de acuerdo con el nivel instantáneo de la señal de información.

La Figura 2.6 muestra un ejemplo en el que la señal moduladora (información) es un tono puro. A medida que la amplitud de la señal varía, la frecuencia de la señal resultante de la modulación también lo hace, pero manteniendo su amplitud constante.

La principal ventaja que presentan los sistemas de modulación FM es que son inmunes a las variaciones de amplitud ya que, a diferencia de la modulación AM, la información no está contenida en la amplitud de la señal portadora sino en su frecuencia.

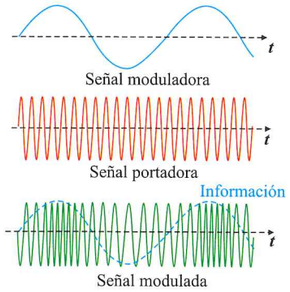


Figura 2.6. *Modulación de frecuencia.*

2.2.3. Modulación de fase

En la **modulación de fase** (PM), la fase de la onda sinusoidal de portadora varía de acuerdo con el nivel instantáneo de la señal de información, manteniendo constante la amplitud y la frecuencia de la señal portadora.

Sabías que...

Las señales de radio y TV digital que, a pesar de que la fuente original es analógica, antes de la modulación la información a transmitir sufre un proceso de digitalización.

2.3. Modulaciones digitales

A diferencia de los sistemas analógicos, en los sistemas digitales la información no está contenida en la forma de onda de la señal, sino en una cadena de bits. El objetivo de las modulaciones digitales es que el receptor reciba la misma secuencia de bits transmitida.

En las modulaciones digitales de onda continua, la señal portadora sigue siendo analógica, en cambio, la señal de información (señal moduladora) es una señal digital, es decir, un flujo continuo de bits.

2.3.1. Modulaciones digitales básicas

Las **modulaciones digitales básicas** siguen el mismo principio de funcionamiento que las modulaciones analógicas, donde la señal moduladora modifica uno de los parámetros de la señal portadora:

- Modulación de amplitud (ASK, *Amplitude Shift Keying*).
- Modulación de frecuencia (FSK, *Frequency Shift Keying*).
- Modulación de fase (PSK, *Phase Shift Keying*).

La Figura 2.7 muestra el proceso de **modulación ASK**: a cada uno de los bits de información se le asigna una amplitud de la señal portadora diferente, en función de su valor. En cambio, la frecuencia y la fase de la señal portadora se mantienen constantes.

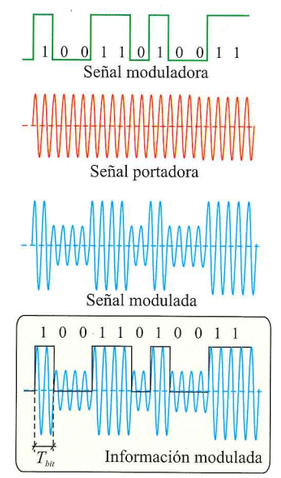


Figura 2.7. *Modulación ASK.*

La Figura 2.8 compara la **modulación FSK** y la **modulación PSK**. En estos dos casos la información no se encuentra en la amplitud de la señal, sino en su frecuencia y en su fase respectivamente.

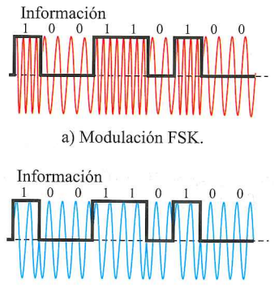


Figura 2.8. *Comparación de una modulación FSK y PSK.*

2.3.2. Velocidad de transmisión

El principal parámetro que identifica una modulación digital es la **velocidad de transmisión** (v_t), que se expresa en bits/s o bps. La velocidad de transmisión viene determinada por la expresión:

$$v_t = \frac{1}{T_{bit}}$$

donde T_{bit} es el tiempo asignado a cada uno de los bits de información durante la transmisión.

Ejemplo 2.1. Velocidad de transmisión de una modulación ASK

En una modulación ASK se asigna un período de bit (T_{bit}) de 10 µs. La velocidad de transmisión es de 100 kbps:

$$v_t = \frac{1}{T_{bit}} = \frac{1}{10 \times 10^{-6}\, s} = 100.000\ \text{bps} = 100\ \text{kbps}$$

Sabías que...

La relación entre la velocidad de transmisión (v_t) y la velocidad de modulación (v_m) es:

$$v_t = v_m \times n$$

Recuerda:

Las técnicas de modulación digital básicas utilizan un solo bit para modular la señal portadora. Cada bit de entrada modifica la amplitud, frecuencia o fase de la señal portadora durante el tiempo de duración de bit.

2.3.3. Modulaciones digitales multinivel

Las principales **modulaciones digitales** utilizadas en la práctica son modulaciones multinivel y se utilizan los símbolos en lugar de los bits durante la modulación.

Un **símbolo** es la agrupación de n bits para su transmisión de manera conjunta. De esta manera se consigue un mayor aprovechamiento del ancho de banda, ya que se puede transmitir más información por unidad de tiempo. El número de símbolos (N) que se transmiten por agrupación de n bits es $N = 2^n$.

La velocidad de transmisión de una modulación digital se expresa en términos de **velocidad de modulación** (v_m) o **SR** (Symbol Rate), que indica la cantidad de símbolos que se transmiten por unidad de tiempo (baudios o símbolos/s):

$$v_m = \frac{1}{T_{Símbolo}}$$

Ejemplo 2.2. Velocidad de transmisión

En la Figura 2.9 se compara una modulación ASK convencional con una modulación ASK multinivel. En esta última se transmiten cuatro símbolos diferentes, por agrupación de dos bits, por lo que la señal modulada tendrá también cuatro amplitudes diferentes:

$$N = 2^n = 2^2 = 4\ \text{símbolos}$$

El tiempo asignado a la transmisión de un símbolo ($T_{símbolo}$) en la modulación del ejemplo es de 10 µs, la velocidad de modulación (v_m) es:

$$v_m = \frac{1}{T_{Símbolo}} = \frac{1}{10 \times 10^{-6}\, s} = 100.000\ \text{símbolos/s}$$

Como cada símbolo está formado por dos bits, la velocidad de transmisión (v_t) es:

$$v_t = v_m \times n = 100.000\ \text{símbolos/s} \times 2\ \text{bits} = 200.000\ \text{bps}$$

La velocidad de transmisión, por tanto, se ha doblado respecto de una modulación ASK convencional.

© Ediciones Paraninfo

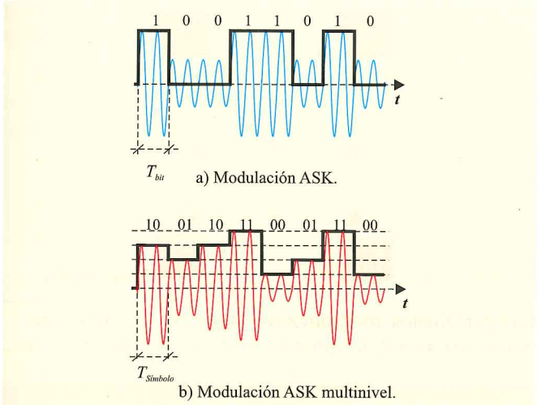


Figura 2.9. *Modulación ASK multinivel.*

Las modulaciones multinivel más utilizadas se denominan QPSK, QAM y 8PSK.

2.3.4. Modulación QPSK

La **modulación QPSK** (*Quadrature Phase Shift Keying*) utiliza dos portadoras que están en cuadratura, es decir, dos portadoras que tienen la misma frecuencia pero están desfasadas 90º. El número de símbolos diferentes del código utilizado es de 4, ya que se utilizan dos bits por símbolo (2^2).

La Figura 2.10 representa el proceso de modulación QPSK:

- La información binaria a transmitir se agrupa en símbolos de 2 bits (Figura 2.10.a), donde uno de estos bits realiza la función de señal I (señal en fase) y el otro la función de señal Q (señal en cuadratura).
- A cada bit se le asocia una fase diferente dependiendo de su valor binario (Figura 2.10.b). Por tanto, a las señales I y Q se les somete a un proceso de modulación PSK:
  - — A un 0 lógico se le asocia una amplitud A que se corresponde con una fase de 0º.
  - — A un 1 lógico se le asocia una amplitud –A, que se corresponde con una fase de 180º.
- Las señales I y Q se modulan en cuadratura y se suman para formar la señal modulada QPSK (Figura 2.10.c).

Recuerda:

El proceso de modulación QPSK se basa en una modulación en fase, ya que:

$$A \times \text{sen}\,(\varphi + 180º) = -A \times \text{sen}\,\varphi$$

Sabías que...

Una modulación en cuadratura consiste en la modulación de dos señales utilizando una única señal portadora desfasada 90º.

La información contenida en la señal QPSK es fácilmente identificable por su fase, ya que cada símbolo tiene una fase asociada diferente, la cual se muestra en la Tabla 2.1, siendo su amplitud siempre la misma (Figura 2.11).

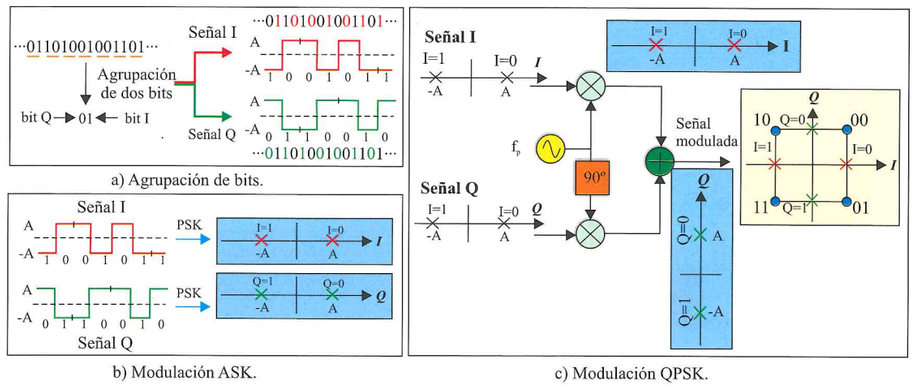


Figura 2.10. *Modulación QPSK.*

© Ediciones Paraninfo

Tabla 2.1. Asignación de símbolos en una modulación QPSK.

Símbolo	Fase
00	45º
01	135º
11	225º
10	315º

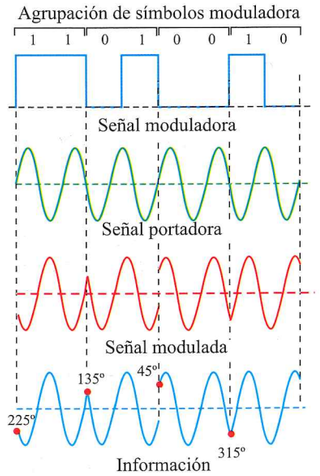


Figura 2.11. *Señales de una modulación QPSK.*

La representación de todos los estados posibles de una modulación se denomina **constelación** (Figura 2.12). La constelación indica la amplitud (M) y la fase (φ) de cada uno de los símbolos de la modulación.

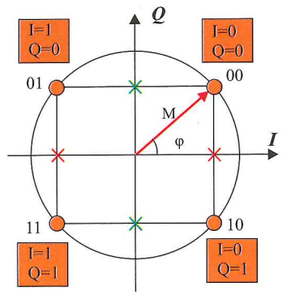


Figura 2.12. *Constelación QPSK.*

Ejemplo 2.3. Modulación QPSK

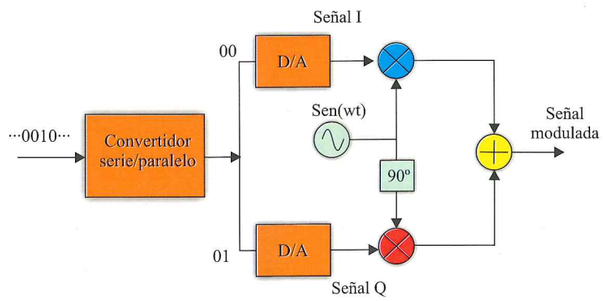
En las comunicaciones de satélite se utiliza la modulación QPSK, donde el tiempo asociado a cada símbolo ($T_{símbolo}$) es de 0,05 µs. La velocidad de modulación (V_m) de la transmisión es de 20 Mbaudios:

$$v_m = \frac{1}{T_{Símbolo}} = \frac{1}{0{,}05 \times 10^{-6}\, s} = 20.000.000 \text{ símbolos/s}$$

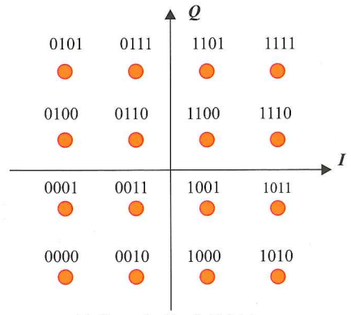
2.3.5. Modulación QAM

La **modulación QAM** es una modulación combinada de amplitud y fase (Figura 2.13.a). La modulación en fase se realiza de forma similar a una modulación QPSK, utilizando dos portadoras en cuadratura que modulan los datos de entrada. Previamente los datos se agrupan para formar la señal en fase I y la señal en cuadratura Q.

La modulación en amplitud previa se realiza con un convertidor digital analógico (D/A), de manera que la amplitud de la señal modulada dependerá del código a la entrada del modulador.



a) Modulación QAM.



b) Constelación QAM-16.

Figura 2.13. *Modulación QAM.*

© Ediciones Paraninfo

En una modulación QAM los bits se agrupan en símbolos para su modulación. En función del número de bits agrupados tendremos diferentes esquemas de modulación:

- QAM-16: 4 bits por símbolo.
- QAM-64: 6 bits por símbolo.
- QAM-256: 8 bits por símbolo.
- Etcétera.

La Figura 2.13.b muestra la constelación de la modulación QAM-16. En esta modulación, cada símbolo se identifica por su amplitud y por su fase.

A medida que el número de símbolos aumenta, la velocidad de transmisión también lo hace, ya que se trasmiten más bits en la misma unidad de tiempo.

Por contrapartida, es más fácil que se produzca un error en la transmisión, ya que los puntos de la constelación estarán más cerca unos de otros. En la Figura 2.14 se comparan las constelaciones de las modulaciones QAM-4 y QAM-64.

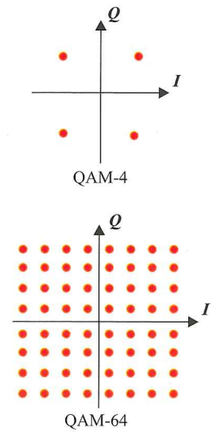


Figura 2.14. *Comparación de diferentes constelaciones QAM.*

Recuerda:

Una de las ventajas de las modulaciones de fase es que la potencia de todos los símbolos es la misma, por lo que el diseño de los amplificadores se simplifica.

Sabías que...

Del análisis de la constelación de una modulación QAM-4 y una modulación QPSK se concluye que ambas son idénticas. En efecto, la información de estas dos modulaciones se encuentra en la fase de la señal transmitida.

2.3.6. Modulación 8PSK

La **modulación PSK** se caracteriza porque la información que representa cada uno de los bits de información de la señal moduladora se encuentra en la fase de la señal portadora. Esta modulación solo tiene dos estados diferentes, en función del valor del bit de entrada.

Utilizando el mismo principio, si utilizamos agrupaciones de bits para modular la señal por símbolos se obtienen las modulaciones 8PSK, 16PSK y 32PSK.

La modulación más utilizada es la **modulación 8PSK,** la cual utiliza símbolos de 3 bits, por lo que se obtienen 8 fases diferentes (2^3). En la Figura 2.15 se muestra la constelación de la modulación 8PSK, donde se observa la disposición de los símbolos y la variación de fase relativa entre ellos. Como se puede comprobar, la amplitud de todos los símbolos es la misma.

La modulación 8PSK se utiliza en las trasmisiones de TV satélite de segunda generación (DVB-S2).

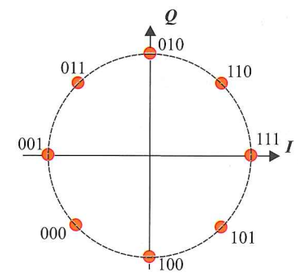


Figura 2.15. *Constelación 8PSK.*

2.4. Servicios de radiodifusión

Los **servicios de radiodifusión** son aquellos servicios de radiocomunicación cuyas emisiones se destinan a ser recibidas directamente por el público en general y, por tanto, abarca las emisiones de radio y de televisión.

© Ediciones Paraninfo

Clasificación de los servicios de radiodifusión

La principal clasificación de los sistemas de radiodifusión se establece en función del medio de transmisión utilizado. Cuando se utiliza el aire como medio de transmisión estos se pueden dividir en **sistemas de transmisión terrestres** o en **sistemas de transmisión vía satélite**. Si la transmisión se realiza a través de una línea de transmisión podemos hablar de **sistemas de transmisión por cable**.

En los sistemas de **transmisión terrestres** la señal de televisión llega a la antena receptora a través de los transmisores o repetidores terrestres (Figura 2.16.a). En cambio, en los sistemas de **transmisión vía satélite** el repetidor utilizado es un satélite artificial situado en el espacio a una altura determinada de la tierra (Figura 2.16.b).

Figura 2.16. *Sistemas de transmisión.*

Sabías que...

La **televisión por cable** (CATV) es un sistema de teledistribución de señales de televisión, radio y vídeo bajo demanda donde el medio de transmisión empleado es el cable coaxial o la fibra óptica.

2.4.1. Espectro radioeléctrico

El espectro de frecuencias radioeléctricas que se muestra en la Figura 2.17 es el conjunto de ondas radioeléctricas de frecuencia comprendida entre 3 kHz y 3.000 GHz.

Dicho espectro está dividido conforme al RRUIT en las bandas que se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Espectro de frecuencias radioeléctricas.

Margen de frecuencia	Longitud de onda	Designación
3-30 kHz	100-10 km	VLF (muy baja frecuencia)
30-300 kHz	10-1 km	LF (baja frecuencia)
300-3.000 kHz	1-0,1 km	MF (media frecuencia)
3-30 MHz	100-10 m	HF (alta frecuencia)
30-300 MHz	10-1 m	VHF (muy alta frecuencia)
300-3.000 MHz	100-10 cm	UHF (ultra alta frecuencia)
3-30 GHz	10-1 cm	SHF (super alta frecuencia)
30-300 GHz	10-1 mm	EHF (extra alta frecuencia)

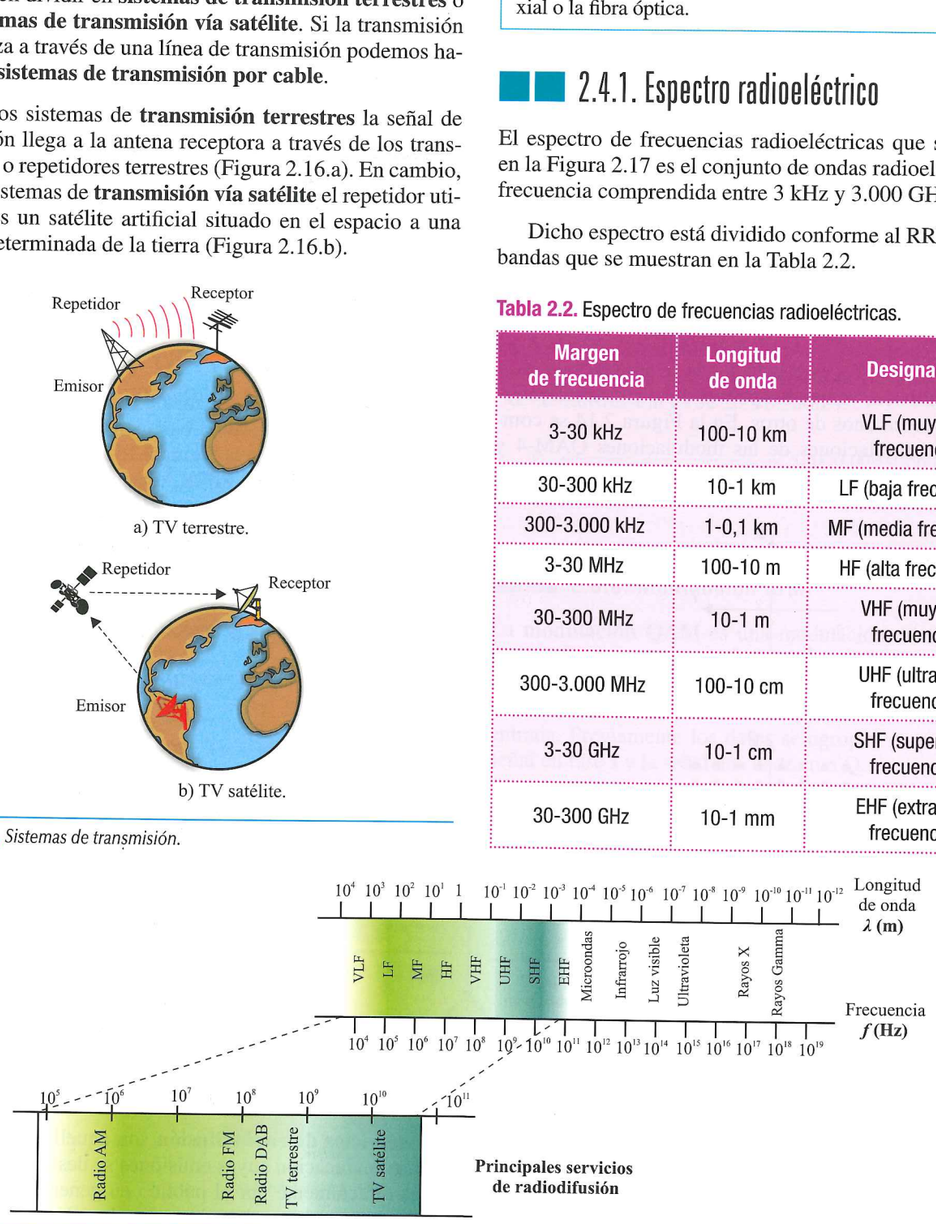


Figura 2.17. *Espectro radioeléctrico.*

© Ediciones Paraninfo

Recuerda:

La relación entre la frecuencia (f) y la longitud de onda (λ) de una de una señal viene determinada por la expresión siguiente:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

donde c representa la velocidad de propagación del medio de transmisión, que en el caso del aire se corresponde con la velocidad de la luz (300.000.000 m/s).

2.4.2. Cuadro nacional de atribución de frecuencias

El **cuadro nacional de atribución de frecuencias (CNAF)** establece la utilización del espectro radioeléctrico conforme el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) y el convenio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

La utilización del espectro electromagnético dependerá de los usos nacionales que se hayan establecido para cada banda o margen de frecuencias. Los usos establecidos por el CNAF han sido codificados, estableciendo los siguientes: C (uso común), E (uso especial), P (uso privativo), Rx (uso por el Estado), R (uso por el Estado para la gestión a través de Administraciones Públicas o por concesión) y M (uso mixto que comprende el R y el P).

Sabías que...

El uso privativo (P) incluye las frecuencias para las que se necesita licencia y en las que solo pueden emitir los operadores autorizados. Ejemplos de servicios de uso privativo son los servicios de radiodifusión.

El espectro de radiofrecuencias se divide en bandas o márgenes de frecuencia donde, además de su uso, se establece el servicio al que va dirigido. Uno de los servicios de radiocomunicaciones definidos en el CNAF es el **servicio de radiodifusión**, que es el servicio de radiocomunicación cuyas emisiones se destinan a ser recibidas directamente por el público en general. Dicho servicio abarca emisiones sonoras, de televisión o de otro género.

El CNAF también define el **servicio de radiodifusión por satélite** que es el servicio de radiocomunicación en el cual las señales emitidas o retransmitidas por estaciones espaciales están destinadas a la recepción directa por el público en general.

2.4.3. Servicios de radiodifusión

Los servicios de radiodifusión admiten la clasificación de la Figura 2.18, donde se indican además las principales bandas asignadas.

La Figura 2.19 resume la asignación de canales a los servicios de bandas de VHF y UHF.

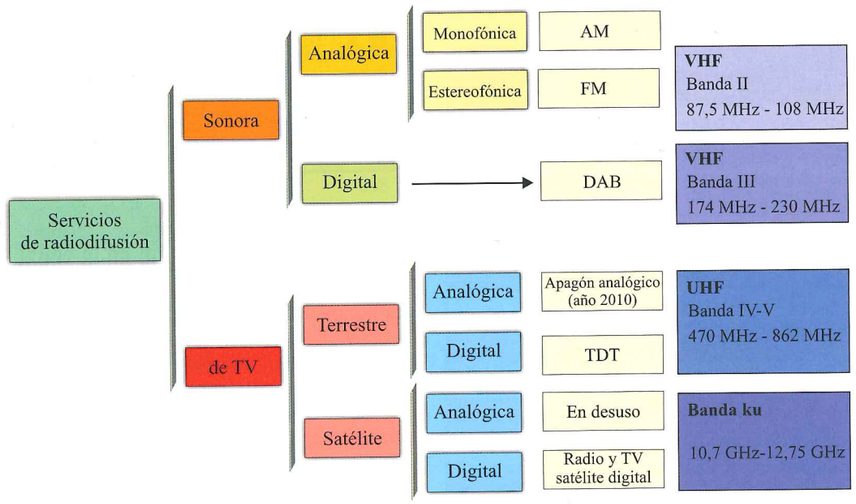


Figura 2.18. *Clasificación de los servicios de radiodifusión.*

© Ediciones Paraninfo

ELECTRICIDAD-ELECTRÓN

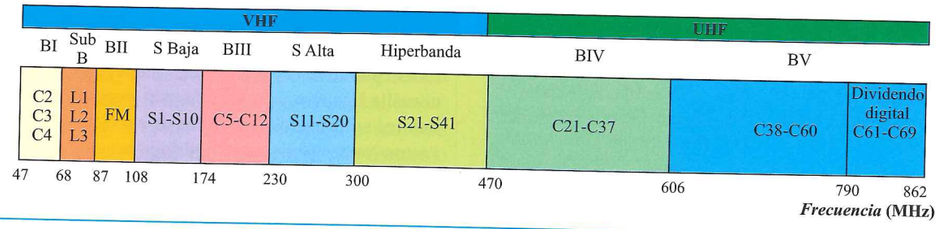


Figura 2.19. *Canales de las bandas de VHF y UHF.*

Sabías que...

La introducción de nuevos servicios de carácter digital ha modificado la utilización de alguna de las bandas clásicas de radiodifusión. Las bandas I y III, antiguamente reservadas al servicio de radiodifusión de TV terrestre (VHF), han dejado de utilizarse para este fin, utilizándose solamente las bandas IV y V de UHF.

2.4.4. Canalización

Cada país tiene libertad para realizar la asignación de las bandas para el servicio de radiodifusión. Esta asignación recibe el nombre de **canalización**. Así, cada país puede utilizar bandas diferentes, además de asignar a cada canal una frecuencia determinada.

En España se utiliza un tipo de canalización normalizada denominada **canalización CCIR**, que se muestra en las Tablas 2.3 y 2.4.

Tabla 2.3. Canalización CCIR. Banda I-III.

Banda	Canal	Frecuencias (MHz)	Frecuencia central (MHz)
Banda I (VHF)	2	47-54	50,5
	3	54-61	57,5
	4	61-68	64,5
Banda II	FM	87-108	---
Banda III (VHF)	5	174-181	177,5
	6	181-188	184,5
	7	188-195	191,5
	8	195-202	198,5
	9	202-209	205,5
	10	209-216	212,5
	11	216-223	219,5
	12	223-230	226,5

2.5. Sistemas de radiodifusión analógicos

En el año 2010 se produjo el **apagón analógico** por el cual se inició el cese de las emisiones de la TV analógica terrestre. De la misma manera, paulatinamente el número de canales de TV satélite analógica se va reduciendo hasta que finalmente solo se emita en digital.

De los pocos servicios analógicos que se salvan del apagón analógico está el servicio de radiodifusión en FM.

Sabías que...

El apagón analógico es el nombre con el que se conoce al cese de las emisiones analógicas de los operadores de televisión.

Recuerda:

Un canal radioeléctrico es la porción del espectro radioeléctrico que se utiliza para la difusión desde una estación radioeléctrica de una señal de televisión.

2.5.1. Codificación de la señal de vídeo

La Figura 2.20 resume el proceso de codificación que sufre la señal de televisión captada por la cámara de TV cuando esta se procesa y transmite de manera analógica.

La cámara de TV del centro de transmisión capta los tres colores primarios de la imagen: rojo (R, Red), verde (G, Green) y azul (B, Blue). El circuito matriz transforma estas señales y las combina para formar las señales de luminancia (Y) y las señales de diferencia de color: U (R-Y) y V (B-Y).

© Ediciones Paraninfo

© Ediciones Paraninfo

ELECTRICIDAD-ELECTRÓNICA

Tabla 2.4. Canalización CCIR. Banda IV-V.

Banda	Canal	Frecuencias (MHz)	Frecuencia central (MHz)	Banda	Canal	Frecuencias (MHz)	Frecuencia central (MHz)
Banda IV (UHF)	21	470-478	474	Banda V (UHF)	46	670-678	674
	22	478-486	482		47	678-686	682
	23	486-494	490		48	686-694	690
	24	494-502	498		49	694-702	698
	25	502-510	506		50	702-710	706
	26	510-518	514		51	710-718	714
	27	518-526	522		52	718-726	722
	28	526-534	530		53	726-734	730
	29	534-542	538		54	734-742	738
	30	542-500	546		55	742-750	746
	31	550-558	554		56	750-758	754
	32	558-566	562		57	758-766	762
	33	566-574	570		58	766-774	770
	34	574-582	578		59	774-782	778
	35	582-590	586		60	782-790	786
	36	590-598	594		61	790-798	794
	37	598-606	602		62	798-806	802
Banda V (UHF)	38	606-614	610		63	806-814	810
	39	614-622	618		64	814-822	818
	40	622-630	626		65	822-830	826
	41	630-638	634		66	830-838	834
	42	638-646	642		67	838-846	842
	43	646-654	650		68	846-854	850
	44	654-662	658		69	854-862	858
	45	662-670	666		---	---	---

Las señales diferencia de color U (B-Y) y V(R-Y) se combinan para formar la **señal de crominancia** (C) y se modulan en cuadratura a una frecuencia subportadora de color (f_{sc}) de aproximadamente 4,43 MHz. La señal de luminancia Y y la señal de crominancia C se combinan para formar la **señal compuesta de vídeo** (Y+C).

Sabías que...

La señal de luminancia (Y) transporta la información de la energía luminosa de la imagen (brillo) necesaria para la compatibilidad con los receptores antiguos de B/N. Las señales U y V permiten recuperar la información de color R, G y B original en el receptor.

ELECTRICIDAD-ELECTRÓ

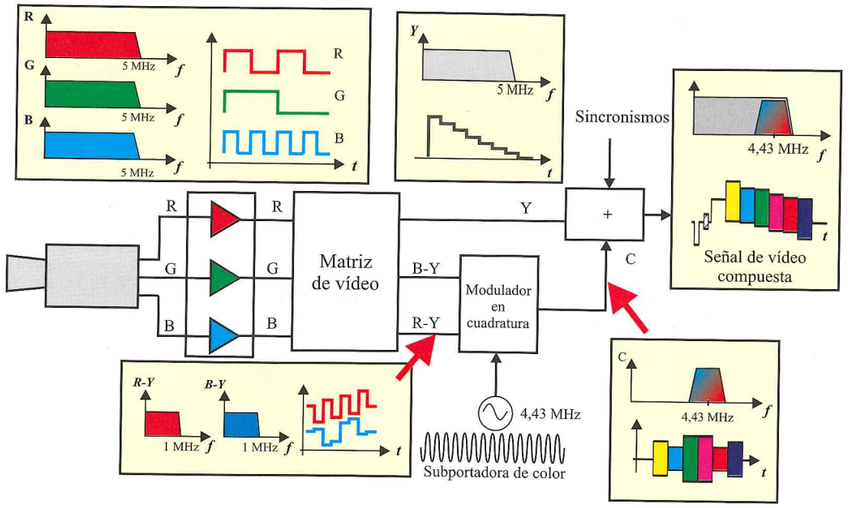


Figura 2.20. *Generación de la señal de vídeo analógica.*

Sabías que...

La señal de sonido asociada a la imagen de TV analógica se modula en FM y se sitúa a 5,5 MHz por encima de la señal de vídeo.

2.5.2. Sistemas analógicos de televisión terrestre

Cada país adopta un sistema de televisión diferente que viene determinado por el sistema de color utilizado, la norma de televisión adoptada y la canalización asignada para la transmisión de las señales de televisión. Aunque existen normas diferentes en cada país, todas ellas se caracterizan por una cosa común: la modulación de la señal de vídeo se realiza en amplitud (modulación AM).

El principal criterio a la hora de elegir una modulación en los sistemas de TV terrestre analógica es el ancho de banda de la señal que resulta de la modulación. Por ello, la modulación escogida es la **modulación AM**, donde para limitar más el ancho de banda de la señal modulada, se utiliza un filtro que elimina parte de la señal (filtro de banda lateral vestigial).

El **sistema de color** utilizado puede ser NTSC, PAL o SECAM. En Europa se utiliza el sistema PAL, excepto en Francia que utiliza la norma SECAM. En cambio, en otros países como EE.UU. se utiliza el sistema NTSC.

La **norma de televisión** adoptada por un país determina factores que afectan fundamentalmente a la distribución en frecuencia de los canales de televisión y a las características de exploración de la señal de TV.

En nuestro país se utiliza la norma PAL B-G. El sistema B se utilizaba en la banda de VHF y el sistema G se utiliza en la banda de UHF.

Sabías que...

Aunque ya no se realizan emisiones de TV analógica, la normativa de la ICT contempla todavía los niveles de calidad para señales de AM-TV, los cuales se dan a efectos de tenerse en cuenta para el caso de que se desee distribuir con esta modulación alguna señal de distribución no obligatoria en la ICT.

En la Figura 2.21 se refleja el espectro típico de un canal de TV analógico, donde se muestran las principales características que afectan a la distribución en frecuencia de un canal:

- **Frecuencia portadora de vídeo** (f_{pv}): frecuencia asignada a un canal de TV para su difusión.
- **Ancho de banda del canal** (Bw_{canal}): margen de frecuencias asignado al canal, incluyendo frecuencias de imagen, sonido y separación de guarda entre canales.
- **Ancho de banda de vídeo** ($Bw_{vídeo}$): ancho de banda asignado a la señal de luminancia de la imagen. Además, en una transmisión se limita parte de la banda lateral inferior del espectro de radiofrecuencia. Esta banda se denomina banda residual o banda vestigial ($Bw_{vestigial}$).
- **Frecuencia subportadora de color** (f_{sc}): frecuencia asignada a la crominancia para un canal de TV. La frecuencia subportadora de color siempre tiene la misma posición respecto a la portadora de vídeo (f_{PV}-f_{SC}).
- **Frecuencia portadora de sonido** (f_{ps}): frecuencia asignada a la información de sonido de un canal de televisión. La frecuencia portadora de sonido siempre tiene la misma posición respecto a la frecuencia portadora de vídeo (f_{PV}-f_{PS}).

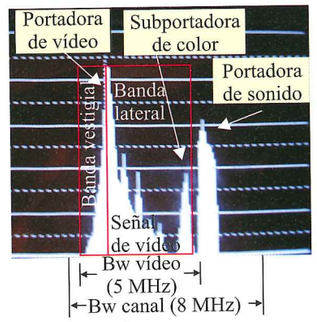


Figura 2.21. *Espectro resultante de un canal de TV analógico.*

2.5.3. Sistemas analógicos de radiodifusión sonora

El servicio clásico de radiodifusión sonora analógica es el servicio de radiodifusión sonora en ondas métricas con modulación de frecuencia (FM), que se realiza en la banda de 87,5 a 108 MHz atribuida internacionalmente a este fin.

El ancho de banda de cada canal depende de si se realiza una transmisión mono, estéreo o incluye datos RDS (Radio Data System).

Sabías que...

La baja calidad de la radiodifusión en AM, debida sobre todo a las características de la modulación utilizada y a la limitación del ancho de banda de la señal original a 5 KHz (calidad de voz), ha provocado que sea un servicio hoy en día en desuso, limitado a la emisión de grandes operadores, sobre todo de radios nacionales.

Sabías que...

El sistema de radiodifusión de datos RDS (*Radio Data System*) es una técnica que permite añadir datos de información relacionados con los programas de radio en FM.

Ejemplo 2.4. Canalización FM

En la Figura 2.22 se representa un ejemplo de canalización FM. Los canales se identifican por su frecuencia portadora central y por el número de canal.

El ancho de banda asignado a cada canal es de 300 KHz, pero el ancho de banda de cada señal modulada en FM dependerá de su naturaleza mono o estéreo.

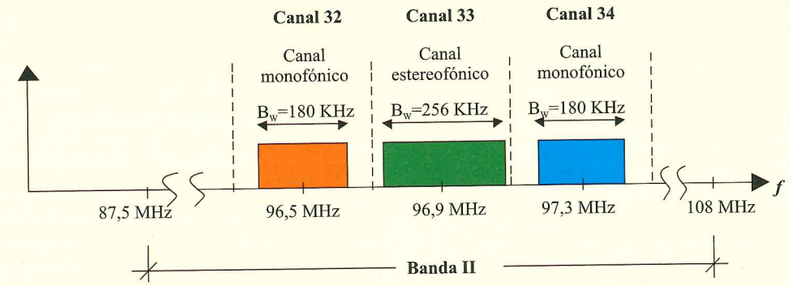


Figura 2.22. *Ejemplo de canalización FM.*

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

En la actualidad, la asignación de la frecuencia portadora de una emisión de FM se realiza en cualquier valor de frecuencia de 87,5 MHz y 107,8 MHz, a intervalos de 100 kHz, siendo la separación mínima de dos portadoras de 100 kHz, siempre que las emisoras se encuentren separadas suficientemente para no perturbarse.

2.5.4. Servicios de radiodifusión satélite analógica

De la misma manera que el apagón analógico de la televisión analógica terrestre ha provocado la implantación de la televisión digital terrestre (TDT) y el cese de las emisiones analógicas, los operadores de TV por satélite han iniciado paulatinamente el apagón analógico de manera que los canales analógicos de cada satélite han sido sustituidos por las correspondientes emisiones en digital.

2.6. Sistemas de radiodifusión digital

La televisión digital presenta innumerables ventajas frente a la televisión analógica.

La **TV digital** mejora la calidad de la imagen y del sonido como consecuencia de la robustez de la señal digital frente al ruido, las interferencias y la propagación multitrayecto. Además, permite la recepción portátil y en movimiento.

Los canales de TV digitales son canales múltiples, donde un canal radioeléctrico puede albergar varios programas de televisión, por lo que se incrementa el número de programas con respecto a la televisión analógica.

Sabías que...

La llegada de la tecnología digital a los sistemas de radiodifusión ha supuesto un cambio muy radical, mayor que el que supuso el paso del blanco y negro al color, ya que en este caso no se mantiene la compatibilidad entre los dos sistemas.

2.6.1. Estándares de TV digital

En el año 1993 se formó el grupo de trabajo denominado DVB (Digital Vídeo Broadcasting), que tenía como objetivo la definición de un sistema de televisión digital para la difusión vía satélite, cable y terrestre entre otros muchos.

Este grupo adoptó el **estándar MPEG-2** como estándar de compresión digital y creó un conjunto de estándares denominados DVB, que entre otros definen la adaptación de la señal MPEG-2 a diferentes canales de transmisión. Los principales estándares de interés son:

- DVB-Satélite (DVB-S).
- DVB-Terrestre (DVB-T).
- DVB-Cable (DVB-C).

La segunda generación de estos sistemas (DVB-S2, el DVB-C2 y el DVB-T2) se encuentra actualmente en despliegue, escogiendo como estándar de codificación **MPEG-4**.

Recuerda:

Actualmente el grupo DVB ha definido nuevos estándares de TV de segunda generación.

2.6.2. Codificación de la señal de vídeo

El paso previo a la transmisión de la señal en los sistemas digitales es la codificación de la señal de vídeo. Las tres etapas básicas que intervienen en esta codificación son la digitalización, la compresión y la multiplexación de la señal de vídeo, de la señal de voz (también digitalizada) y otros datos.

La **recomendación ITU-R 601** define las diferentes condiciones de digitalización de las señales de vídeo para aplicaciones de televisión. Estas están basadas en el muestreo de las diferentes informaciones que contiene la señal de vídeo: la luminancia (Y) y las señales de crominancia (C_R y C_B).

Sabías que...

Los términos C_R y C_B utilizados en TV digital tienen el mismo significado que las señales diferencia de color U y V utilizadas en TV analógica, aunque con un factor de ponderación diferente.

Por ejemplo, en el formato llamado **4:2:2** (4 muestreos Y, por 2 muestreos C_R y 2 muestreos C_B), se utiliza una codificación de 8 bits por muestra, donde la frecuencia de muestreo es de 13,5 MHz para la luminancia y de 6,75 MHz para las señales de crominancia (Figura 2.23). Con estos parámetros se obtiene una definición de 720 muestras por línea en luminancia y de 360 muestras por línea de crominancia.

© Ediciones Paraninfo

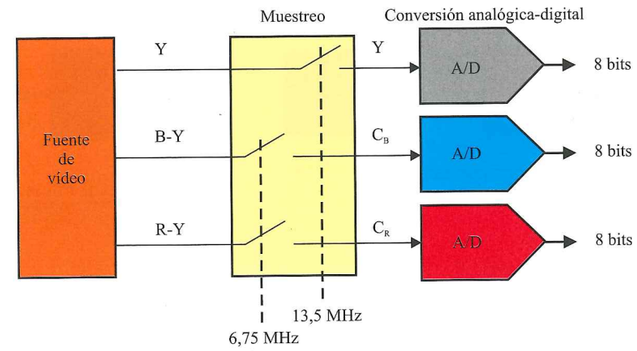


Figura 2.23. *Digitalización de la señal de vídeo.*

Sabías que...

Para aplicaciones de estudio se utiliza el formato 4:2:2, pero en otras aplicaciones de difusión de vídeo digital se utiliza el formato 4:2:0, en el que la luminancia se muestrea a 13,5 MHz y las señales diferencia de color a una frecuencia de 6,75 MHz, pero solo una de ellas cada dos líneas de imagen.

En el formato 4:2:2 se utiliza una codificación de 8 bits por muestra. Con 8 bits, el número de niveles (N) que resulta es de 256:

$$N = 2^n = 2^8 = 256 \text{ niveles diferentes}$$

Otros tipos de muestreo previstos por las recomendaciones del ITU-R son el 4:1:1 y el 4:2:0.

La señal cuantificada es necesario convertirla en un flujo de bits, por lo que cada muestra de la señal de vídeo se codifica con 8 bits.

La **señal de vídeo digitalizada sin comprimir** que utiliza el formato 4:2:2 con cuantificación de 8 bits requiere un elevado ancho de banda, ya que su velocidad de transmisión (v_t) también lo es:

$$v_t(\text{bps}) = f_m \times \text{n.º bits cuantificación} = 13{,}5 \times 10^6 \text{ muestras/s} \times 8 \text{ bits} + 2 \times (6{,}75 \text{ muestras/s} \times 10^6 \times 8 \text{ bits}) = 216 \times 10^6 \text{ bps} = 216 \text{ Mbps}$$

El flujo de datos requerido por la norma 4:2:2 con cuantificación de 8 bits es de 216 Mbps, por lo que no puede ser considerado a la hora de difundir la señal de vídeo hacia el usuario final, ya que es necesario un ancho de banda muy elevado, siendo necesario previamente realizar un proceso de **compresión**.

© Ediciones Paraninfo

Recuerda:

La codificación de fuente es el proceso al que se somete la señal de vídeo para comprimirlo y disminuir el ancho de banda necesario para su difusión.

2.6.3. Sistemas MPEG-2

Los procedimientos de codificación de las fuentes de vídeo y audio se basan en el estándar MPEG-2 definido por el organismo MPEG, donde se establecen los aspectos relacionados con la compresión de las señales de audio y de vídeo y los procedimientos de multiplexación y sincronización de estas señales en **tramas de programa o de transporte** (TS-MPEG).

Los sistemas MPEG utilizan técnicas de compresión que se aprovechan de la limitación del ojo humano y de otros factores para reducir el flujo de bits necesario para la transmisión de las señales de vídeo (Figura 2.24).

Con estas estrategias, se puede reducir la velocidad binaria a cerca de 15 Mbps antes de enviarse al codificador de canal para su transmisión.

Sabías que...

La TV digital utiliza técnicas de compresión de las señales de imagen y sonido (MPEG) que permiten, dependiendo de la calidad de la transmisión de vídeo deseada, enviar cuatro o cinco programas en el espacio que ocupa un canal radioeléctrico.

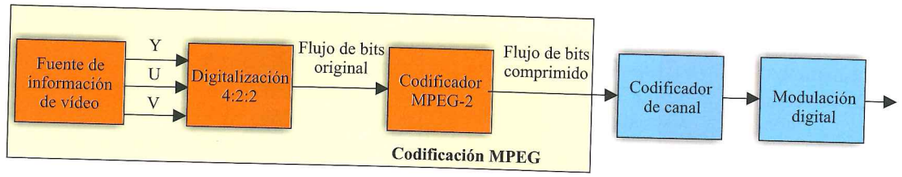


Figura 2.24. *Codificación MPEG-2.*

Compresión de la señal de vídeo y audio

Los métodos de compresión MPEG-2 recurren a los procedimientos generales de compresión de datos, aprovechando las características de la sensibilidad del ojo humano y de la señal de TV (Figura 2.25):

- La **redundancia espacial** de una imagen (áreas uniformes) y la correlación entre puntos próximos. Esta característica se basa en que un punto y sus vecinos guardan cierta relación. De esta manera se pueden aplicar técnicas de compresión de imágenes fijas.
- La **redundancia temporal** entre imágenes sucesivas en movimiento. Esta redundancia se minimiza utilizando técnicas de compresión y de compensación del movimiento.
- La **redundancia estadística.** Existen símbolos (agrupaciones de bits) resultantes de la compresión que se repiten constantemente. Para eliminar la redundancia estadística se utiliza una **codificación de longitud variable**. De esta manera se puede reducir el flujo de bits total que se envía.

El estándar MPEG también ha desarrollado diferentes sistemas de compresión de audio, aunque destaca la utilización de la normativa ISO/IEC 13818-3 (MPEG-2 audio).

Los procesos de compresión se basan principalmente en la característica psicoacústica del oído humano del enmascaramiento: un tono cercano a otro pero con un nivel de intensidad sonora menor no es percibido por el oído humano, ya que es enmascarado por el tono de intensidad superior (Figura 2.26).

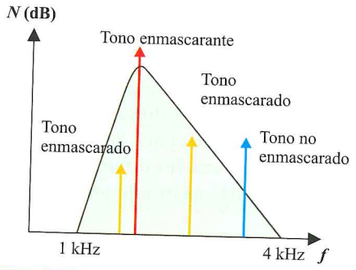


Figura 2.26. *Efecto de enmascaramiento.*

Sabías que...

El código Morse es un ejemplo de codificación de longitud variable. Este código asocia a las letras (símbolos) que tienen más probabilidad de aparecer en un mensaje de texto un menor número de signos (bits), para que el mensaje resultante para su transmisión sea lo más corto posible. El principio de funcionamiento de los códigos de longitud variable en TV es similar al utilizado en el código Morse y, para ello se utilizan algoritmos como el de Huffman.

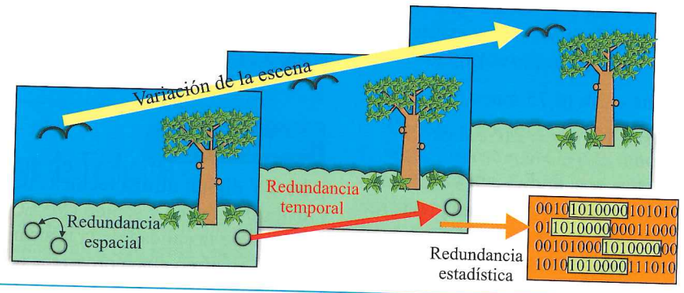


Figura 2.25. *Redundancia de la señal de vídeo.*

© Ediciones Paraninfo

Niveles y perfiles

El sistema MPEG-2 incluye cinco perfiles que definen las características de la compresión utilizadas y cuatro niveles que definen la resolución de la imagen, tal y como se muestra en la Figura 2.27.

Dependiendo de la aplicación final (DVD, TV, etc.) se utiliza un perfil y un nivel MPEG-2 determinado.

Sabías que...

La compresión que se logra en MPEG-2 depende de la secuencia de vídeo original y, por tanto, el flujo binario resultante es variable. En este sentido, las transmisiones deportivas generan una tasa binaria mayor que, por ejemplo, una película, ya que entre dos campos consecutivos de una imagen puede existir mucha variación. Por ello, para equilibrar la cantidad de datos final que se transmite, en un canal múltiple digital se combinan diferentes tipos de programas.

Ejemplo 2.5. Nivel y perfil de la TV digital

En TV digital con calidad estándar se utiliza el perfil principal (MP, *Main Profile*) con el nivel principal (MP, *Main Level*), que se corresponde con una codificación de imagen entrelazada en formato 4:2:0 y una resolución de 720x576/25Hz (MP@ML).

Utilizando el sistema MP@ML, el flujo final de bits resultante dependerá de las características de la imagen a transmitir, en un margen aproximado de 9 a 15 Mbps.

Paquetes de vídeo y audio

El flujo de datos que resulta de la codificación MPEG de la señal de vídeo recibe el nombre de **ES** (*Elementary Stream*) **de vídeo.** Para poder identificar los datos que salen del codificador MPEG, estos se convierten en paquetes a los que se les añade una cabecera de datos. A la señal resultante se le denomina paquete **PES** (*Packetised Elementary Stream*) **de vídeo**.

El flujo de datos que resulta de la codificación MPEG de la señal de audio recibe el nombre de **ES** (*Elementary Stream*) **de audio**. De la misma manera que a la señal de vídeo, a los datos de audio se les añaden cabeceras de datos, formando el **PES de audio**.

La principal misión del PES es la sincronización entre el vídeo y el audio.

Multiplexación

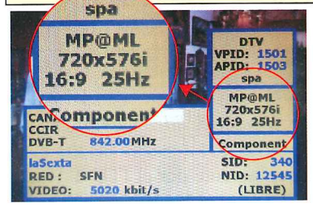
Las señales de vídeo y de audio se transmiten conjuntamente hasta el receptor. Junto con estas señales es necesario multiplexar señales de datos (como por ejemplo el teletexto) y la señal de sincronización necesaria para secuenciar la señal de vídeo y de audio. Hay dos tipos de multiplexado especificados en los sistemas MPEG-2:

- El **PS** (*Program Stream*) es la multiplexación de un solo programa y se utiliza en sistemas libres de errores, como por ejemplo el DVD.
- El **TS** (*Transport Stream*) es la multiplexación de varios programas. Se utiliza en medios propensos a errores y es el elegido por el sistema DVB para la transmisión de la señal de TV (Figura 2.28).

Resolución de la imagen: 720x576

Tasa de muestreo ($Y:C_R:C_B$): 4:2:0

Tasa binaria: 15 Mb/s **MP@ML**



Perfil / Nivel	Simple	Main	4:2:2	SNR	Spatial	High
Low		4:2:0 352x288		4:2:0 352x288 4 Mb/s I,P,B		
Main	4:2:0 720x57 15 Mb I,P	4:2:0 720x576 15 Mb/s I,P,B	4:2:2 0x608 Mb/s I,P,B	4:2:0 720x576 15 Mb/s I,P,B		4:2:0,4:2:2 720x576 20 Mb/s I,P,B
High-1440		60 Mb/s I,P,B			4:2:0 1.440x1.152 60 Mb/s I,P,B	4:2:0,4:2:2 1.440x1.152 80 Mb/s I,P,B
High		4:2:0 1.920x1.152 80 Mb/s I,P,B				4:2:0,4:2:2 1.920x1.152 100 Mb/s I,P,B

4:2:0
720x576
15 Mb/s
I,P,B

Figura 2.27. *Niveles y perfiles del estándar MPEG.*

© Ediciones Paraninfo

ELECTRICIDAD-ELECTRÓNICA

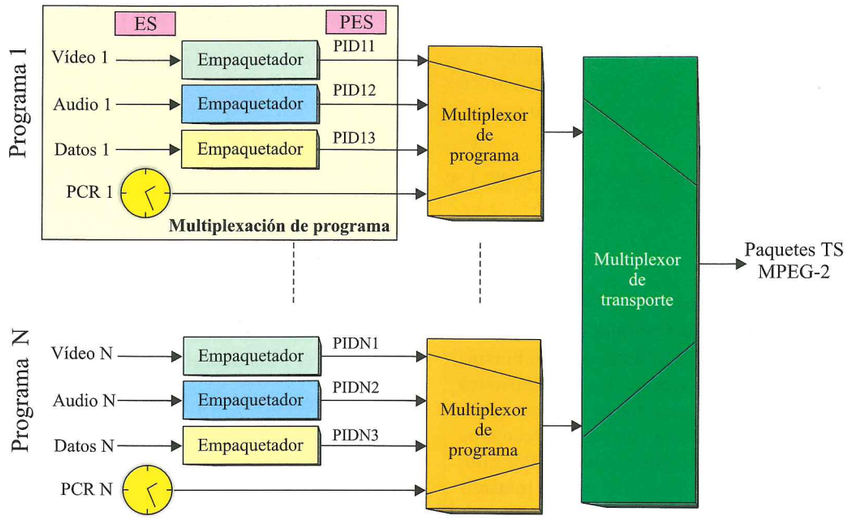


Figura 2.28. *Multiplexación de transporte.*

Sabías que...

Un multiplexor TS combina varios programas que no deben compartir necesariamente el mismo reloj de sistema. En cambio, los diferentes PES que forman un programa determinado comparten el mismo reloj, de manera que el decodificador del receptor pueda sincronizar todas las señales de un mismo programa.

En los servicios de radiodifusión de TV se utiliza un multiplexor TS, para poder transmitir en el mismo canal diferentes programas de TV.

La salida del multiplexor de transporte está formada por **paquetes TS MPEG-2** de longitud siempre fija de 188 bytes, donde 4 bytes se utilizan como cabecera de datos. La cabecera, entre otros, incorpora el PID (*Packet Identifier*), que es el principal dato que identifica a un paquete TS:

- El PID se utiliza por el demultiplexor del receptor para distinguir los paquetes que contienen diferente tipo de información.
- Todos los paquetes que provienen del mismo ES tienen el mismo PID.
- Los datos de un programa se pueden seleccionar en el receptor identificando los PID correspondientes de vídeo, audio y datos de un programa determinado.

Los sistemas MPEG-2 utilizan unas referencias temporales para que los datos se representen en el momento adecuado puesto que, por ejemplo, el sonido y las imágenes no viajan en paralelo, pero el usuario final las tiene que percibir en el mismo instante. Para la sincronización se envía una señal de referencia de reloj del programa (PCR, *Program Clock Reference*).

2.6.4. Sistemas MPEG-4

Los sistemas de transmisión digital de segunda generación, además de utilizar MPEG-2 como codificación de fuente, también pueden utilizar la codificación MPEG-4.

Este estándar es capaz de proporcionar una buena calidad de imagen con tasas binarias menores al estándar MPEG-2 sin necesidad de complicar el diseño de los codificadores y descodificadores.

Sabías que...

MPEG-4 o AVC (*Advanced Video Coding*) es una norma que define una codificación de vídeo de alta compresión, desarrollada conjuntamente por el ITU-T *Video Coding Experts Group* (VCEG) y el ISO/IEC *Moving Picture Experts Group* (MPEG).

© Ediciones Paraninfo

2.6.5. DVB

El flujo de datos que resulta del proceso de codificación de fuente MPEG es digital y, por lo tanto, no es adecuado para su transmisión por un medio analógico como es el radioeléctrico.

El **estándar DVB** establece las técnicas adecuadas para transmitir el flujo de dados MPEG antes de transmitir la señal. Estas técnicas reciben el nombre de codificación de canal.

La Figura 2.29 resume de manera simplificada el proceso que se utiliza para la transmisión de un canal digital. Durante la **codificación de canal**, la señal se somete a un proceso de entrelazado para aumentar la eficiencia espectral del canal resultante y se introducen los sistemas de **protección de errores** adecuados.

Finalmente, el flujo de bits se modula utilizando una **modulación digital.**

2.7. Estándares DVB

El **estándar DVB** define las técnicas de detección y corrección de errores que es necesario aplicar a la señal MPEG antes de su modulación. El estándar también define la técnica de modulación que se debe utilizar para la transmisión de la información.

En función del medio de transmisión se definen tres estándares diferentes:

- Terrestre: DVB-T.
- Satélite: DVB-S.
- Cable: DVB-C.

La Tabla 2.5 resume las principales características de los sistemas DVB.

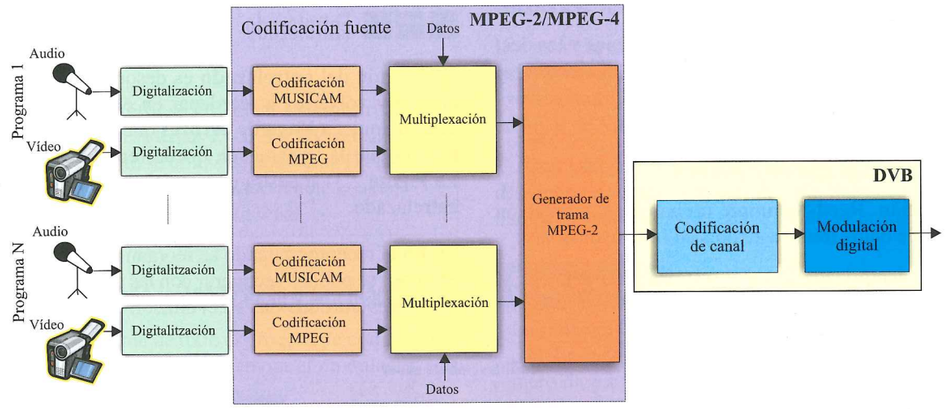


Figura 2.29. *Proceso de transmisión digital de un canal de televisión.*

Tabla 2.5. Comparación de los principales estándares DVB de primera generación.

Estándar	DVB-S	DVB-T	DVB-C
Codificación de vídeo	MPEG-2		
Codificación de audio	MPEG-1 (Capa 2)/ MPEG-2 audio		
Codificador de errores externo	Reed – Solomon		
Entrelazado	Sí	Sí	Sí
Codificador de errores interno	Codificación convolucional		---
Modulación	QPSK	COFDM	QAM-16 a QAM-64
BW Canal	27-36 MHz	8 MHz	8 MHz

© Ediciones Paraninfo

2.7.1. Codificación de canal

El estándar DVB define los métodos de codificación necesarios para proporcionar los mecanismos de corrección de errores (codificación de canal) a la que se debe someter a la señal TS MPEG-2 que proviene de las etapas de codificación de fuente y multiplexación, antes del proceso final de modulación. En la Figura 2.30 se representa un esquema simplificado de un codificador DVB genérico.

Aleatorización de los datos

El código fuente MPEG-2 está organizado en paquetes con una longitud de 188 bytes (4 de cabecera + 184 de datos). La aleatorización tiene dos objetivos:

- Por un lado busca asegurar transiciones entre los dos estados lógicos para que el reloj del descodificador se pueda sincronizar fácilmente, es decir, se mejora la recuperación del reloj, ya que aumenta el número de transiciones por cero.
- Por otro lado, se reducen las interferencias y los desvanecimientos en frecuencia, ya que la aleatorización dispersa la energía radiada.

Codificación Reed-Solomon

La **codificación Reed-Solomon** proporciona protección del paquete de datos frente a errores en la transmisión.

Una vez aleatorizada la señal, esta se pasa por un codificador Reed-Solomon, que utiliza uno de los códigos cíclicos más óptimo, ya que tiene máxima capacidad para corregir errores.

Este código añade bits de redundancia a la información, de manera que el receptor, en función de los bits añadidos, es capaz de detectar si ha habido algún error y, si es el caso, corregirlo. En este proceso, el codificador añade 16 bytes de redundancia a los 188 bytes del TS, formando grupos de 204 bytes a su salida. Por sus características, el codificador recibe el nombre de **codificador Reed-Solomon (188, 204)**.

Sabías que...

La capacidad de corrección de errores del codificador Reed-Solomon es posible siempre y cuando el número de errores no sea muy elevado, pudiéndose corregir hasta 8 bytes erróneos.

Entrelazado

La función del **entrelazado** es desordenar los bytes en el emisor y volverlos a reordenar en el receptor, de manera que cualquier **ráfaga de errores** que se produzca en el canal durante la transmisión quede repartida en el receptor. La Figura 2.31 muestra el principio de funcionamiento del entrelazado.

En el receptor, cuando se reorganizan los bits, los datos erróneos se pueden recuperar con las técnicas de corrección de errores introducidas en el emisor.

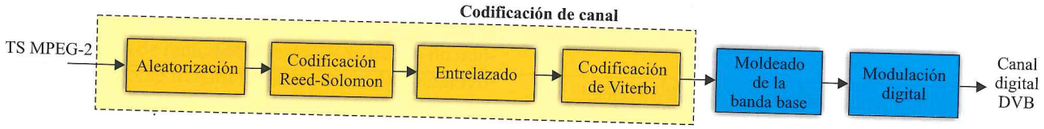


Figura 2.30. *Codificación de canal DVB.*

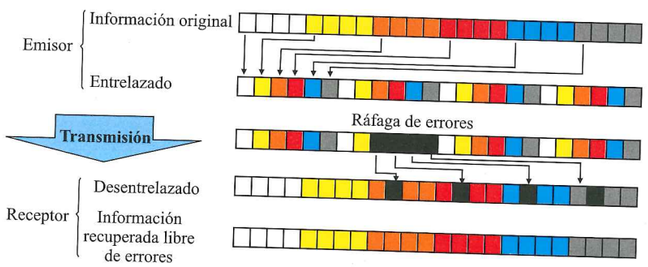


Figura 2.31. *Entrelazado.*

© Ediciones Paraninfo

ELECTRICIDAD-ELECTRÓNICA

Codificador de Viterbi

El **codificador de Viterbi** introduce un código de protección contra errores, que es adecuado en sistemas donde es importante la presencia de ruido y, por tanto, para señales de baja relación portadora-ruido.

El principio de funcionamiento es muy sencillo y está basado en un código convolucional 1/2.

Un **código convolucional 1/2** implica que por cada bit de entrada al codificador salen dos. Existe, por tanto, una redundancia del 50 %. La información añadida por el codificador de Viterbi, a diferencia del codificador Reed-Solomon, garantiza protección a nivel de bit.

En el receptor, el descodificador se basará en el algoritmo de Viterbi, permitiendo la recuperación de errores.

El codificador de Viterbi es flexible y se puede adecuar a diferentes códigos: 2/3, 3/4, 5/6, 7/8. La manera de especificar las características del codificador de Viterbi es mediante el **FEC** (*Forward Error Correction*) o relación de Viterbi.

Sabías que...

El codificador de Viterbi se utiliza en sistemas ruidosos como por ejemplo los sistemas DVB-S y DVB-T. En cambio, este codificador no se utiliza en el sistema DVB-C, ya que el medio de transmisión utilizado (cable coaxial) degrada mucho menos la calidad de la señal.

Moldeado de la banda base y modulación

El flujo de bits resultante de todo el proceso de codificación de canal se debe preparar antes de enviar al modulador. Las principales funciones de esta etapa son:

- Se extraen los símbolos (agrupaciones de bits) que se entregan al modulador. La velocidad con la que se entregan los símbolos determinará la **velocidad de transmisión**, especificada en baudios (símbolos/s) y generalmente se denomina SR (*Symbol Rate*).
- Se garantiza un **intervalo de guarda** para la transmisión de los diferentes símbolos, de manera que se evita la interferencia entre símbolos (ISI) y se garantiza la protección frente a reflexiones de la señal.
- Se realiza el **filtrado** de la señal resultante (filtrado de Nyquist) que disminuye el ancho de banda necesario para la transmisión final.

Una vez preparados los datos para su transmisión, el **modulador** utilizado dependerá del medio de transmisión y, por tanto, será diferente para cada estándar. Las modulaciones utilizadas según el medio de transmisión utilizado son:

- QPSK para TV satélite (DVB-S).
- QAM para TV por cable (DVB-C).
- COFDM para TV terrestre (DVB-T).

Sabías que...

El satélite ASTRA emite en alta definición con DVB-S2 utilizando tanto MPEG-2 MP@HL como MPEG-4 AVC.

2.7.2. Estándares DVB de segunda generación

Los estándares DVB de segunda generación utilizan una codificación de fuente y codificación de canal diferente para conseguir mayor eficiencia en la transmisión.

Codificación de fuente

Los estándares DVB-T2, DVB-S2 y DVB-C2 son la segunda generación de los sistemas de transmisión de TV digital. Esta evolución utiliza como codificador de fuente MPEG-4 AVC, en lugar de MPEG-2 utilizado en la primera generación.

Con esta codificación se consigue un importante ahorro de ancho de banda, que permite ampliar la cantidad y calidad de los servicios que actualmente se prestan.

Sabías que...

La utilización del formato MPEG-4 AVC en la codificación de fuente de la señal de TV permite ampliar el número de programas que se puede transmitir en un canal múltiple digital. De la misma manera, este formato facilita también la difusión en un canal digital de varios programas de alta definición (HDTV).

Codificación de canal

Los sistemas de segunda generación utilizan los códigos LDPC (*Low Density Parity Check*) en combinación con los códigos BCH (*Bose-Chaudhuri-Hocquengham*) para proteger los datos contra altos niveles de ruido e interferencias, en lugar de la codificación Reed-Solomon y Viterbi.

Aunque la función de estos códigos es la misma, su funcionamiento es diferente:

- La **codificación LDPC** (comprobación de paridad de baja densidad) utiliza una clase de códigos de corrección de error lineal que permiten transmitir un

© Ediciones Paraninfo

mensaje por un canal de comunicaciones ruidoso y, por tanto, propenso a los errores de transmisión.

- La **codificación BCH** completa la codificación de canal realizada por los códigos LDPC. El objetivo del código BCH es eliminar el error que aparece en los códigos LDPC cuando las señales procesadas tienen baja potencia.

Sabías que...

Los códigos LDPC se utilizan en aplicaciones donde el canal de comunicaciones está limitado por la presencia de ruido.

2.7.3. DVB-S

La Figura 2.32 muestra el diagrama de bloques del proceso de codificación y modulación definido por el estándar DVB-S.

La modulación que se utiliza en la transmisión vía satélite se denomina **modulación QPSK**, que tiene en cuenta la gran atenuación del medio de transmisión, la limitación en potencia del satélite de comunicaciones transmisor y el ruido atmosférico.

La modulación QPSK no incorpora ningún tipo de información en la amplitud de la señal para evitar el ruido atmosférico, y la información se envía en las variaciones de fase de la señal.

Recuerda:

Las comunicaciones satélites utilizan la banda de frecuencias comprendida entre 10,7 y 12,75 GHz, es decir, un ancho de banda de poco más de 2.000 MHz.

A modo de resumen, las principales características que definen un canal DVB-S son:

- **SR-Symbol Rate** (velocidad de símbolo): velocidad de transmisión en símbolos por segundo. Valores típicos utilizados en la TV satélite digital son 30.000, 27.500, 22.000 y 20.000 kbaudios.
- **FEC** o **relación de Viterbi,** que define la relación entre el número de bits de datos y el número de bits totales transmitidos. Valores típicos son de 3/4 y 5/6.
- **Ancho banda del canal.** Los canales digitales que se transmiten en la banda satélite tienen un ancho de banda que varía entre 27 y 36 MHz, con un valor típico de 32 MHz.

Ejemplo 2.6. Señal de TV satélite QPSK

La Figura 2.33 muestra el espectro típico de los canales de TV digital satélite. El ancho de banda aproximado es de 32 MHz. El canal seleccionado tiene una velocidad de símbolo de 27.500 símbolos/s y utiliza un FEC (tasa de código) de 3/4.

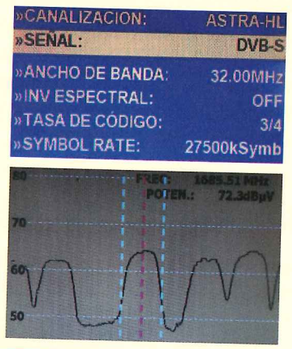
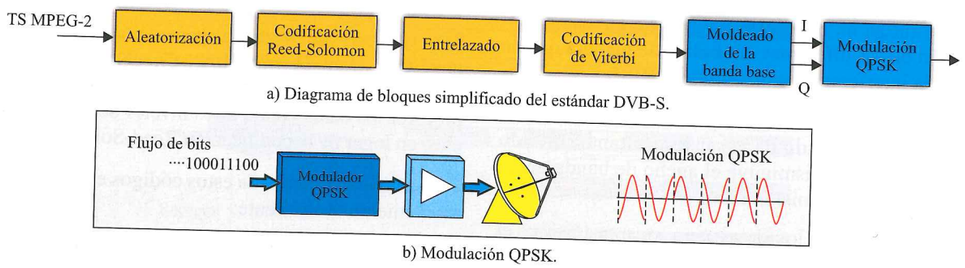


Figura 2.33. *Espectro típico de un canal de TV digital satélite.*



a) Diagrama de bloques simplificado del estándar DVB-S.

b) Modulación QPSK.

Figura 2.32. *Sistema DVB-S.*

© Ediciones Paraninfo

© Ediciones Paraninfo

ELECTRICIDAD-ELECTRÓNICA

2. COMUNICACIONES RADIOELÉCTRICAS Y SERVICIOS DE RADIODIFUSIÓN

Sabías que...

El principal inconveniente de la modulación QPSK es que requiere un ancho de banda de transmisión relativamente alto, aunque en los sistemas de transmisión vía satélite no existen grandes limitaciones en este aspecto.

DVB-S2

El sistema de segunda generación **DVB-S2** puede utilizar tanto la codificación de fuente MPEG-2 como la codificación de fuente MPEG-4 AVC.

Como modulaciones digitales DVB-S2 utiliza preferentemente QPSK y 8PSK.

Sabías que...

La principal desventaja del DVB-S2 es que ya hay muchos millones de receptores/decodificadores DVB-S desplegados por todo el mundo que no son compatibles con este nuevo estándar.

La Tabla 2.6 compara las diferentes prestaciones de los sistemas DVB-S y DVB-S2, para la misma calidad de transmisión.

Tabla 2.6. Comparación entre DVB-S y DVB-S2.

PIRE del satélite (dBw)	51		53,7	
Sistema	**DVB-S**	**DVB-S2**	**DVB-S**	**DVB-S2**
Modulación	QPSK	QPSK	QPSK	8PSK
Codificación (FEC)	2/3	3/4	7/8	2/3
SR (Mbaudios)	27,5	30,9	27,5	29,7
C/N (27,5 MHz) (dB)	5,1	5,1	7,8	7,8
Tasa de bits útil (Mbps)	33,8	46	44,4	58,8
N.º de programas SDTV	7 MPEG-2, 15 AVC	10 MPEG-2, 21 AVC	10 MPEG-2, 20 AVC	13 MPEG-2, 27 AVC
N.º de programas HDTV	1-2 MPEG-2, 3-4 AVC	2 MPEG-2, 5 AVC	2 MPEG-2, 5 AVC	3 MPEG-2, 6 AVC

2.7.4. DVB-T

La estructura de un sistema DVB-T (Figura 2.34) no difiere significativamente de la del sistema DVB-S. El codificador Reed-Solomon y el codificador de Viterbi realizan las funciones de protección frente a los errores.

El problema más grave en la transmisión terrestre es el efecto multitrayecto de la señal. Para solucionar este problema se reparte la información entre numerosas portadoras. DVB-T establece para los sistemas de transmisión terrestre una técnica de modulación que se denomina **COFDM** (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*).

En la modulación COFDM se modulan los datos con un gran número de portadoras, a baja velocidad, empleando técnicas de multiplexación en frecuencia (FDM). Para ello se utilizan un gran número de portadoras equiespaciadas en frecuencia y moduladas cada una de ellas en QAM, de manera que la información se reparte entre todas ellas. Existen dos formatos básicos de modulación COFDM:

- **2K:** se utilizan 1.705 subportadoras por canal. Este sistema es apropiado para cubrir áreas reducidas y, por ejemplo, es el adoptado en países como Reino Unido.
- **8K:** se utilizan 6.817 subportadoras por canal. El sistema es apropiado para cubrir áreas extensas utilizando una única frecuencia portadora (redes SFN) y se ha adoptado, por ejemplo, en nuestro país.

Figura 2.34. *DVB-T.*

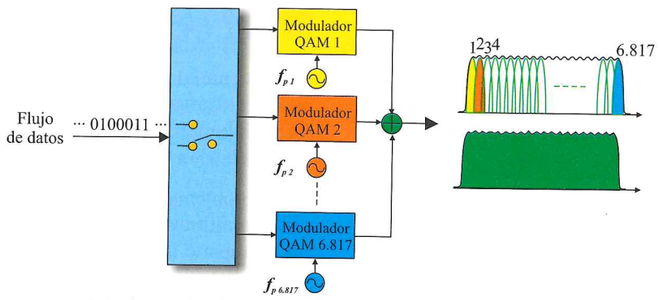


Figura 2.35. *Técnica COFDM.*

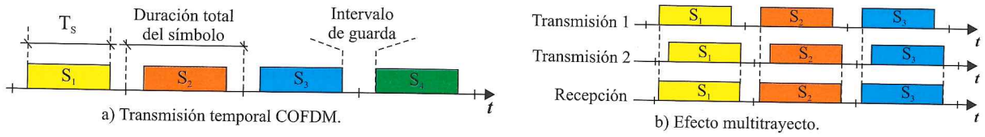


Figura 2.36. *Tiempo entre símbolos.*

En la técnica COFDM el flujo de bits que se reparte entre cada subportadora se modula con una de las siguientes modulaciones:

- 4-QAM: 2 bits/subportadora.
- 16-QAM: 4 bits/subportadora
- 64-QAM: 6 bits/subportadora.

Como se observa en la Figura 2.35, el principio básico de funcionamiento de este tipo de modulación es la utilización de *N* moduladores en paralelo. Como la técnica COFDM utilizada en nuestro país utiliza 6.817 portadoras, la potencia de la señal digital se distribuye de manera uniforme en todo el ancho de banda (aproximadamente 8 MHz) donde, a diferencia de los sistemas analógicos, las separaciones de guarda entre canales no son necesarias.

En la señal de TV digital con modulación COFDM, los ecos multitrayecto no afectan de manera significativa en la recepción, siendo incluso en ocasiones beneficiosos para la calidad de la señal (Figura 2.36). Esto es debido a que el tiempo establecido entre símbolo y símbolo en este sistema durante la modulación es muy grande y los ecos que se reciben por multitrayecto contienen el mismo símbolo, contribuyendo a aumentar el nivel de señal recibida.

Para ello, es necesario utilizar un **intervalo de guarda** entre dos símbolos consecutivos. Cuanto mayor sea el intervalo de guarda, más robusta será la señal al efecto multitrayecto pero, por el contrario, se perderá eficiencia durante la transmisión, ya que es menor la velocidad de transmisión de información.

Ejemplo 2.7. Espectro de un canal de TDT

La Figura 2.37 muestra el espectro típico de un canal de TV digital terrestre. Debido a que en la señal de un canal digital no existen portadoras de vídeo ni de sonido, un canal digital queda identificado por su frecuencia central (f_c) y por sus frecuencias superior (f_s) e inferior (f_i).

El canal de TV representado es el canal 44, el cual tiene asignado un ancho de banda de canal de 8 MHz.

El margen de frecuencias asignado es de 654 a 662 MHz. La frecuencia central (f_c) del canal es de 658 MHz:

$$f_c = \frac{f_s + f_i}{2} = \frac{662 + 654}{2} = 658\ \text{MHz}$$

La señal transmitida ocupa prácticamente todo el ancho de banda del canal, es decir, 8 MHz.

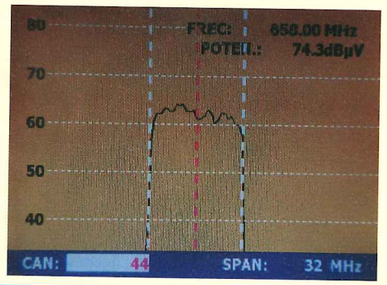


Figura 2.37. *Espectro de un canal de TV digital terrestre.*

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

Una de las ventajas de la modulación COFDM es la posibilidad de desarrollar redes de frecuencia única (SFN) con el fin de que un grupo de programas de un canal utilice la misma frecuencia en todo un territorio: las interferencias recibidas por un usuario de dos estaciones diferentes son consideradas como un efecto multitrayecto.

A modo de resumen, las principales características que definen un canal DVB-T son:

- **Ancho banda del canal.** Los canales que se transmiten en la banda de UHF tienen un ancho de banda de 8 MHz. En cambio, en la banda de VHF los canales tienen asignado solamente 7 MHz.
- **Número de portadoras.** El número de portadoras de la modulación COFDM puede variar de un país a otro: **2k o 8k**.
- **Modulación utilizada** por las portadoras: 4-QAM, 16-QAM y 64-QAM.
- **Intervalo de guarda.** Tiempo establecido entre símbolos cuya finalidad es permitir una detección correcta en situaciones de ecos por multitrayecto. Este parámetro se expresa en función de la duración del símbolo: **1/4**, **1/8**, **1/16**, **1/32**.
- **FEC** o **relación de Viterbi.** Define la relación entre el número de bits de datos y el número de bits totales transmitidos. El valor típico es de 2/3, aunque puede variar según el operador y el canal digital.

Sabías que...

A corto plazo es difícil la implantación del sistema DVB-T2, debido a la incompatibilidad de los receptores.

DVB-T2

DVB-T2 también transmite la señal de TV mediante la técnica COFDM pero utilizando una codificación de canal diferente (LDPC y BCH) a DVB-T.

La Tabla 2.7 compara el sistema DVB-T con el sistema DVB-T2.

Sabías que...

La mayor tasa de bits que ofrece DVB-T2 con respecto a su predecesor, DVB-T, hace que sea un sistema adecuado para llevar las señales de televisión de alta definición en un canal de televisión terrestre.

2.7.5. DVB-C

DVB-C se define para los **sistemas de televisión por cable**. En estos sistemas es importante utilizar una modulación que ocupe poco ancho de banda. Como la principal limitación no es la inmunidad a interferencias y la señal se atenúa poco, se utiliza la modulación QAM, que tiene una gran eficiencia espectral y un ancho de banda pequeño.

Otra característica importante es que, debido a que el medio de transmisión (cable) es muy inmune a los errores de transmisión, el codificador DVB no incorpora codificador de Viterbi (Figura 2.38).

DVB-C2

La principal diferencia entre el sistema DVB-C y DVB-C2, además de la codificación de fuente y de la codificación frente a la protección de errores, es que el estándar DVB-C2 utiliza como técnica de modulación COFDM, modulando las portadoras en QAM.

Tabla 2.7. Comparación entre DVB-T y DVB-T2.

Parámetros	DVB-T	DVB-T2
FEC	Viterbi + Reed-Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Modulación	4QAM (QPSK), 16QAM, 64QAM	4QAM (QPSK), 16QAM, 64QAM, 256QAM
Intervalo de guarda	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
Número de portadoras (COFDM)	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k

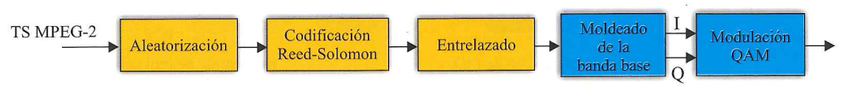


Figura 2.38. *DVB-C.*

© Ediciones Paraninfo

La Tabla 2.8 compara los principales parámetros de estos dos sistemas.

Tabla 2.8. Comparativa entre el sistema DVB-C y el sistema DVB-C2.

Parámetros	DVB-C	DVB-C2
Codificación fuente	MPEG-2	MPEG-4 AVC y MPEG-2
FEC	Reed-Solomon (RS)	LDPC + BCH
Modulación	QAM de una sola portadora	CODFM
Subportadoras	NO	4k
Esquemas de modulación	16 a 256-QAM	16 a 4096-QAM
Intervalo de guarda	NO	1/64 o 1/128

2.7.6. Tablas TS

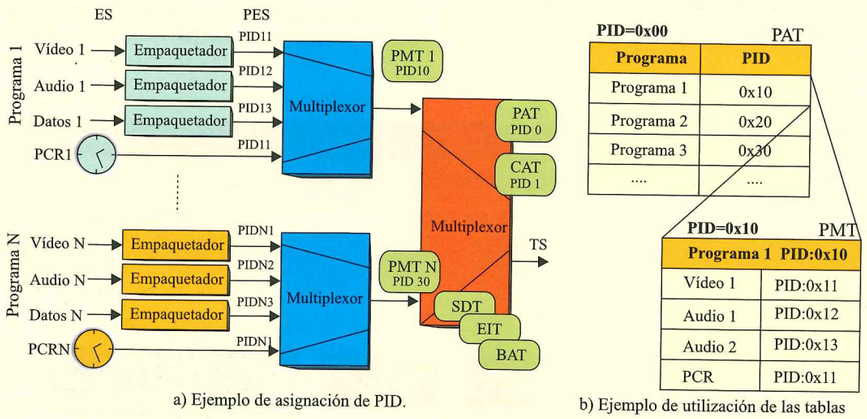
Un **múltiplex de transporte** MPEG-2 (Transport Stream) es una secuencia de paquetes de longitud constante que contiene información de vídeo, audio y datos, que transmite varios programas, cada uno de ellos formado por diferentes PES.

En los **paquetes TS** (*Transport Stream*) se pueden distinguir claramente dos tipos de paquetes: los que contienen vídeo o audio comprimido, y los que contienen la información necesaria para poder acceder al vídeo o audio (datos).

Los datos de estos últimos forman la información específica de los programas (*PSI-Program Specific Information*), y permiten construir una serie de tablas que recogen la organización de los programas o servicios que hay en el múltiplex digital, así como datos sobre sus accesos condicionales, si los programas están encriptados. Estas tablas ayudan al decodificador a asociar cada flujo de paquetes al programa correspondiente.

Ejemplo 2.8. Tablas de datos de la TV digital

En la Figura 2.39 se muestra un ejemplo de funcionamiento de las tablas definidas en MPEG y DVB. Los PID del ejemplo son ficticios, pero ayudan a interpretar la relación de los PID con cada programa (vídeo, audio y datos) y la utilización que hace de ellas el sistema para formar las tablas.



a) Ejemplo de asignación de PID.

b) Ejemplo de utilización de las tablas

Figura 2.39. *Ejemplo de tablas en TV digital.*

© Ediciones Paraninfo

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

MPEG define tres tipos de tablas: PAT (*Program Association Table*), PMT (*Program Map Table*) y CAT (*Conditional Access Table*). El estándar DVB añade a las tablas MPEG-2 unas tablas más que ofrecen información complementaria muy útil en el caso de la televisión digital, entre las que destacan SDT (*Service Description Table*), NIT (*Network Information Table*), EIT (*Event Information Table*) y BAT (*Bouquet Association Table*).

2.7.7. Sistemas digitales de radiodifusión sonora

La radio digital DAB (Digital Audio Broadcasting) nació en el año 1987 como proyecto denominado Eureka 147.

DAB utiliza la compresión denominada MUSICAM, basada en el estándar de audio MPEG-1 (capa 2) y MPEG-2 (capa 2). El esquema de modulación sigue el estándar DVB, utilizando la técnica digital COFDM, donde cada subportadora se modula digitalmente utilizando una modulación denominada DQPSK (QPSK diferencial)

La radio digital terrestre (DAB) se introduce en los canales 8 a 11 de las bandas de frecuencias de VHF (195-223 MHz). Además, se ha previsto una ampliación a la banda L satélite. La Tabla 2.9 muestra la asignación de frecuencias para el servicio DAB en la banda III.

Cada canal radioeléctrico (Figura 2.40) en radio digital recibe el nombre de **bloque de frecuencias** y tiene una anchura de banda de aproximadamente 1,5 MHz. En cada uno de los canales de la banda III (7 MHz) caben cuatro bloques (A, B, C y D). Entre cada uno de los bloques hay, además, ciertas bandas de guarda.

Tabla 2.9. Bloques de frecuencias asignados el servicio DAB.

Banda		Canal	Frecuencia central
Banda III	195-202 MHz	8A	195,936
		8B	197,648
		8C	199,360
		8D	201,072
	202-209 MHz	9A	20,2928
		9B	204,640
		9C	206,352
		9D	208,064
	209-216 MHz	10A	209,936
		10B	211,648
		10C	213,360
		10D	215,072
	216-223 MHz	11A	216,928
		11B	218,640
		11C	220,352
		11D	222,064

Recuerda:

El sistema DAB no ha tenido el éxito que se esperaba y prácticamente no se utiliza debido al alto coste de los receptores.

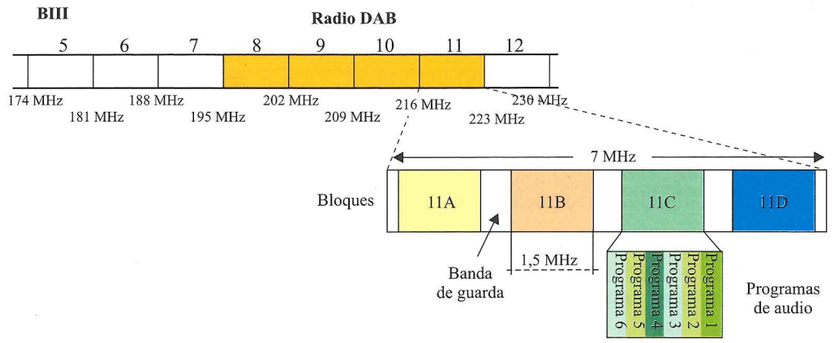


Figura 2.40. *Asignación de frecuencias al servicio DAB.*

Sabías que...

A diferencia de la TV digital que ha sustituido la TV analógica, el objetivo de la radio digital DAB no es sustituir a la radio analógica en FM, por lo que en el fututo coexistirán los dos servicios.

2.8. Planificación del espectro radioeléctrico

La planificación del espectro radioeléctrico viene determinada por el PTNTDT.

2.8.1. Tipos de redes

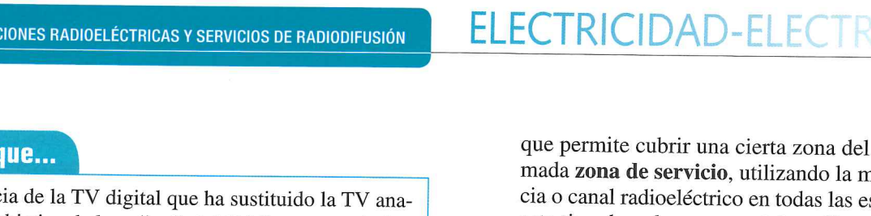
El PTNTDT (Plan técnico nacional de TV digital terrestre) determina los canales radioeléctricos que se destinan a la difusión de televisión digital terrenal (TDT) en nuestro país.

Se establecen dos tipos de redes:

- **Redes de frecuencia única** (SFN, *Single Frequency Network*). Conjunto de estaciones radioeléctricas que permite cubrir una cierta zona del territorio, llamada **zona de servicio**, utilizando la misma frecuencia o canal radioeléctrico en todas las estaciones. Con este tipo de redes, un canal de radio o TV compuesto por 4 o 5 programas diferentes puede ser difundido en un área extensa (estatal o autonómica) utilizando tan solo un único canal de RF (Figura 2.41.a).
- **Redes de frecuencia múltiple** (MFN, *Multiple Frequency Network*). Conjunto de estaciones radioeléctricas que permiten cubrir una cierta zona de servicio, utilizando una frecuencia o canal radioeléctrico distinto en cada estación. Los canales que se destinan al establecimiento de una red global de cobertura nacional o autonómica tienen capacidad para efectuar desconexiones territoriales, ya que cada transmisor transmite a una frecuencia diferente (Figura 2.41.b).

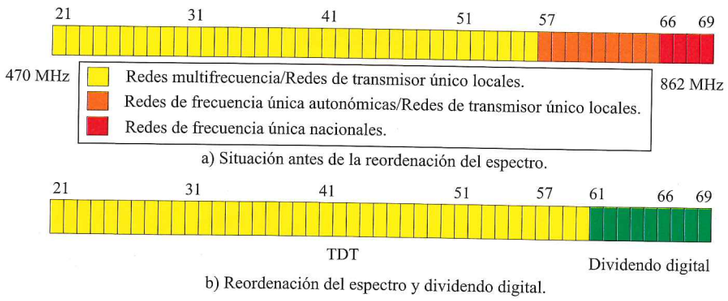
Además, se definen las redes locales de transmisor único, que dan cobertura a una zona de servicio reducido, generalmente de ámbito municipal o comarcal. Dependiendo del alcance de la red, esta será de cobertura nacional, autonómica o local.

El PTNTDT (Figura 2.42.a) también establece la diferente utilización para las que se reservan las frecuencias que van desde los 470 MHz hasta los 862 MHz, el cual se ha reordenado por el dividendo digital (Figura 2.42.b).



a) Red SFN. b) Red MFN.

Figura 2.41. *Tipos de redes.*



a) Situación antes de la reordenación del espectro.

b) Reordenación del espectro y dividendo digital.

Figura 2.42. *Plan técnico nacional.*

© Ediciones Paraninfo

© Ediciones Paraninfo

Sabías que...

La principal desventaja de los canales de una red SFN es que no pueden realizar desconexiones territoriales, pues la señal tiene que ser la misma para todos los equipos transmisores de la zona de servicio, ya que trasmiten a la misma frecuencia.

2.8.2. Dividendo digital

El **dividendo digital** es el proceso consistente en dejar libres algunos de los canales en los que se emite la TDT (canales 61 a 69) para que puedan ser utilizados para nuevos servicios de banda ancha, principalmente de telefonía móvil.

A partir del año 2015, finalizará la reordenación de la banda alta del espectro de UHF para dejar libres canales para su uso en otros servicios.

La llegada de las tecnologías digitales, ha permitido un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico, ya que los sistemas de compresión de información utilizados en la TDT permiten que en el espectro radioeléctrico utilizado para la difusión de un canal de televisión con tecnología analógica la transmisión de hasta 6 programas con tecnología digital.

Este hecho, además de incrementar la oferta televisiva, permite la liberación de parte del espectro radioeléctrico utilizado para este servicio para ser utilizado en otros servicios (DVB-H, telefonía móvil, etc.).

Los organismos internacionales especializados en telecomunicaciones y las instituciones comunitarias han adoptado que la sub-banda de frecuencias de 790 a 862 MHz (canales radioeléctricos 61 a 69), pueda ser utilizada para otros usos, siendo esta banda imprescindible para facilitar el despliegue de los servicios de nueva generación móviles, como la denominada **tecnología 4G**.

Sabías que...

Las señales de la banda de frecuencias de 790 a 862 MHz tienen mejores propiedades de propagación y penetración en el interior de edificios que las bandas más altas, utilizadas en la actualidad para las comunicaciones móviles inalámbricas. La sub-banda alta de UHF, por su ubicación en el espectro, resulta de una enorme relevancia para el desarrollo de las redes inalámbricas, tecnologías de última generación de móvil y la implantación de la banda ancha de acceso a Internet.

Sabías que...

La tecnología 4G de móviles es la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil. Esta tecnología está basada en el protocolo IP, y aprovecha la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas. Esta tecnología proporciona velocidades de acceso mayores que las generaciones predecesoras.

2.9. Unidades utilizadas en los sistemas de telecomunicación

Aunque las ondas electromagnéticas transmitidas por la antena generan magnitudes de campo eléctrico y campo magnético, es de nuestro interés el estudio de las señales generadas en el receptor una vez captadas por la antena, donde se utilizan términos de tensión, corriente e impedancia.

2.9.1. Ganancia

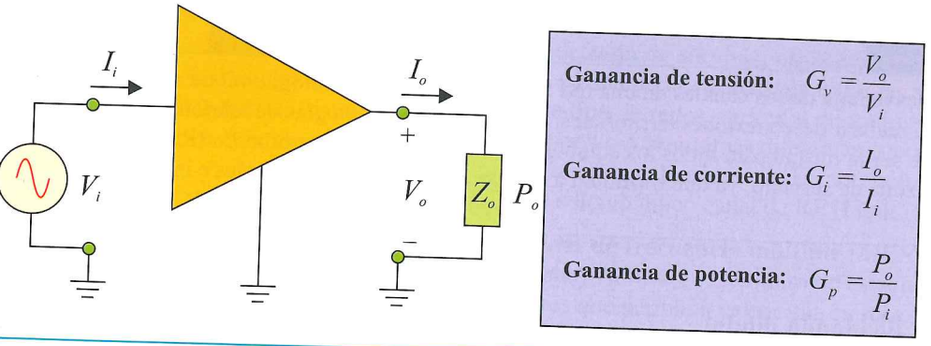
En el estudio de estos sistemas es fundamental el concepto de **ganancia** (G), que en función de las magnitudes que relaciona permite hablar de ganancia de potencia, ganancia de tensión o ganancia de corriente, tal y como se muestra en la Figura 2.43:

- **Ganancia de potencia.** La ganancia de potencia (G_p) viene definida como la relación entre la potencia disponible a la salida del sistema (P_o) y la potencia de entrada (P_i).
- **Ganancia de tensión.** La ganancia de tensión (G_v) viene definida como la relación entre la tensión disponible a la salida del sistema (V_o) y la tensión de entrada (V_i).
- **Ganancia de corriente.** La ganancia de corriente (G_i) viene definida como la relación entre la corriente disponible a la salida del sistema (I_o) y la corriente de entrada (I_i).

2.9.2. Atenuación

La **atenuación** (L) indica una ganancia (G) menor que la unidad. En este caso la señal de salida es menor que la de entrada. La atenuación se define como la inversa de la ganancia:

$$L = \frac{1}{G}$$



un sistema.

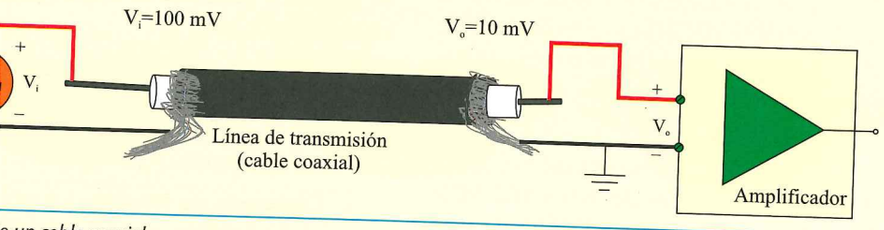
tenuación de una línea de transmisión

(V_i) a la línea de transmisión de la Figura 2.44 es de 100 mV. Una vez la señal atraviesa la línea de transtrada del amplificador, la tensión es de 10 mV. La ganancia de tensión de la línea de transmisión será meñade pérdidas:

$$G_{CABLE} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{10\text{ mV}}{100\text{ mV}} = 0{,}1$$

a el factor que la señal de salida se atenúa respecto de la entrada. El cable del sistema tiene una atenua-

$$L_{CABLE} = \frac{1}{G_{CABLE}} = \frac{1}{0{,}1} = 10$$



e un cable coaxial.

cibelio

es, al igual que en otras disciplinas, tilizan directamente las magnitudes unidades del Sistema Internacional. los decibelios.

decibelio en las telecomunicaciones guientes:

dB) se manejan cantidades numéris, debido a que el rango de amplitan en telecomunicaciones es muy mplo, el nivel de señal en diferentes puntos de una instalación puede variar desde 1 μV a hasta 1 V, que da lugar a un margen dinámico de tensiones muy amplio, en torno a 1.000.000, lo que dificulta trabajar directamente con estas unidades. En cambio, cuando se trabaja con dB el margen se reduce a 120 dB (de 0 a 120 dB).

- La respuesta de los equipos de transmisión y recepción no es lineal, sino que lo hace de manera logarítmica. Utilizando los decibelios la representación de la respuesta de los equipos se puede realizar de manera lineal.

La verdadera utilidad de la definición del decibelio viene dada en forma de relación de potencias, tensiones o corrientes, relativas a una misma impedancia de referencia, para los sistemas de TV generalmente 75 Ω. De este modo, el decibelio permite expresar la ganancia en dB definida como:

$$G(\text{dB}) = 10\log(\frac{P_o}{P_i})$$

Teniendo en cuenta la relación entre potencia y tensión podemos definir también la ganancia de tensión como:

$$G(\text{dB}) = 20\log(\frac{V_o}{V_i})$$

Ahora bien, se ha definido el decibelio como la relación de una magnitud entre dos puntos diferentes, no teniendo sentido decir que en un punto existen, por ejemplo, 20 dB de potencia, si esta no está referenciada a un segundo punto. Por tanto, es necesario definir una magnitud en un punto en términos de decibelios con relación a un nivel de referencia. De este modo aparecen nuevas unidades:

- **dBw.** Nivel de potencia en un punto referido a 1 W:

$$P(\text{dBw}) = 10\log(\frac{P(\text{W})}{1\text{W}})$$

- **dBm.** Nivel de potencia en un punto referido a 1 mW:

$$P(\text{dBm}) = 10\log(\frac{P\ (m\text{W})}{1\text{ mW}}) = 10\log(\frac{P(\text{W})}{0{,}001\text{ W}})$$

Ejemplo 2.10. Evaluación del nivel de salida de una red de transmisión

En el ejemplo de la Figura 2.45 el nivel de entrada del sistema (a) es de 20 μV. Para el cálculo de la señal en la salida (d) se sigue el siguiente proceso, teniendo en cuenta que la atenuación que sufre el cable supone una ganancia (expresada en dB) negativa.

Primero se expresa el nivel de señal en dBμV:

$$V_a = 20 \times \log\ (20\ \mu\text{V}/1\ \mu\text{V}) = 26\ \text{dB}\mu\text{V};$$

Se aplica a la señal las ganancias y atenuaciones a medida que recorre el camino hasta el destino:

$$V_d = V_a + G_1 + G_2 + G_3 = 26 - 10 + 20 - 4 = 32\ \text{dB}\mu\text{V}.$$

Notar que el cable tiene atenuación (L) y, por tanto, tiene una ganancia negativa. La manera alternativa de evaluar el efecto de los componentes es considerar que los amplificadores aumentan el nivel de señal, pero que el cable lo disminuye. De esta manera utilizamos conjuntamente ganancias y atenuaciones:

$$V_d = V_a - L_1 + G_2 - L_3 =$$
$$= 26\ \text{dB}\mu\text{V} - 10\ \text{dB} + 20\ \text{dB} - 4\ \text{dB} = 32\ \text{dB}\mu\text{V}.$$

Si es necesario conocer el nivel de señal en unidades lineales, se aplican las propiedades de los antilogaritmos. En el ejemplo, la tensión en la salida expresada en μV es:

$$V_d = 10^{32/20} = 39{,}8\ \mu\text{V}.$$

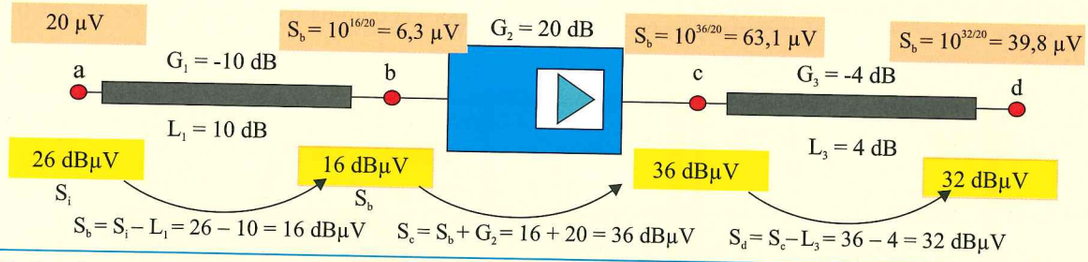


Figura 2.45. *Ejemplo.*

El nivel de señal a la salida del sistema expresado en dBm es:

$$V_d = 32\ \text{dB}\mu\text{V} = 32\ \text{dB}\mu\text{V} - 108{,}8\ \text{dB} = -76{,}8\ \text{dBm}$$

© Ediciones Paraninfo

- **dBμV.** Nivel de tensión en un punto referido a 1 μV:

$$V(\text{dB}\mu\text{V}) = 20\log\left(\frac{V(\mu\text{V})}{1\mu\text{V}}\right) = 20\log\left(\frac{V(\text{V})}{1\times10^{-6}\text{V}}\right)$$

Las magnitudes lineales y las expresadas en dB tienen un tratamiento diferente derivado de las propiedades de los logaritmos, de forma que si las magnitudes lineales tienen una relación multiplicativa, las magnitudes logarítmicas, tal como el dB, tienen relaciones sumatorias. De esta forma podemos definir la ganancia entre dos puntos como la diferencia de señal entre la salida (V_o) y la entrada (V_i):

$$G_{dB} = V_o\,(\text{dB}\mu\text{V}) - V_i\,(\text{dB}\mu\text{V})$$

Conociendo la ganancia de un sistema y su señal a la entrada, también se puede calcular el nivel de la salida:

$$V_o\,(\text{dB}\mu\text{V}) = G\,(\text{dB}) + V_i\,(\text{dB}\mu\text{V})$$

Sabías que...

El decibelio es una relación logarítmica entre una cantidad y otra de referencia, que se utiliza en diferentes campos de la ciencia para evaluar las magnitudes de importancia. Como el decibelio es adimensional y relativo, para medir valores absolutos se necesita especificar a qué unidades está referida la medida. La expresión general es la siguiente:

$$P(\text{dB}) = 10\times\log\left(\frac{P}{P_o}\right)$$

donde P es el valor de la magnitud medida en unidades lineales del Sistema Internacional y P_o es el valor de la magnitud tomada como referencia.

Sabías que...

Una ganancia de 0 dB significa que el nivel de señal se mantiene, es decir, no hay ganancia ni atenuación.

Sabías que...

En ocasiones interesa expresar una magnitud logarítmica en unidades diferentes. La relación entre dBw, dBm y dBμV es:

dBm = dBw + 30 dB;

dBμV = dBm + 108,8 dB;

dBμV = dBw + 138,8 dB;

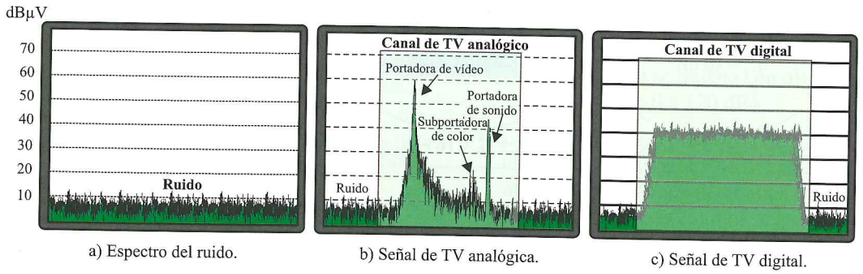
2.9.4. Ruido

Se puede definir el **ruido** como una parte indeseable de la señal que acompaña a la información útil que se transmite en toda comunicación (Figura 2.46). Esta señal también se recibe por el receptor y se propaga a la salida.

El ruido tiene dos orígenes: uno externo y otro interno al sistema. Las fuentes de ruido internas son la propia antena y todos los elementos que forman el receptor. El ruido externo es debido a la emisión radioeléctrica de otras fuentes distintas a las que se desea recibir.

Todos los dispositivos que configuran la instalación de la red de distribución y recepción de señal generan **ruido interno** de diferente naturaleza:

- **Ruido térmico:** cambio aleatorio de tensión debido al movimiento aleatorio de las cargas eléctricas de un conductor. Por tanto, las resistencias son las principales fuentes de ruido térmico.
- **Ruido de antena:** es el ruido captado por la antena debido a radiaciones electromagnéticas aleatorias.
- **Ruido en semiconductores:** los semiconductores, además de añadir ruido térmico, también generan otro tipo de ruido denominado impulsivo, producido por la continua recombinación de los electrones.



a) Espectro del ruido. b) Señal de TV analógica. c) Señal de TV digital.

Figura 2.46. *Ejemplo de ruido.*

© Ediciones Paraninfo

Dado que la naturaleza intrínseca del ruido no permite eliminarlo por completo, es necesario minimizarlo para que sus efectos no sean determinantes a la hora de realizar una comunicación satisfactoria.

Sabías que...

Los fenómenos de emisión radioeléctrica que generan **ruido externo** son de distinta naturaleza y pueden agruparse de la siguiente manera: ruido galáctico debido a la radiación en la banda de radiofrecuencia de las estrellas que forman la galaxia, emisión radioeléctrica de la tierra y de la atmósfera, ruido de origen atmosférico debido a las descargas eléctricas (rayos, relámpagos, etc.) y el ruido de origen humano e industrial, eléctrico, etc.

2.9.5. Relación portadora-ruido

Una forma de evaluar la calidad de una comunicación es mediante la llamada relación portadora-ruido (*C/N*), definida como la relación entre la potencia de la señal útil recibida sin demodular (S) y la potencia de ruido (N):

$$C/N = \frac{S}{N}$$

o bien, expresado en dB:

$$C/N\,(\text{dB}) = 10\log\left(\frac{S}{N}\right) = S(\text{dB}\mu\text{V}) - N(\text{dB}\mu\text{V})$$

El ruido limita la sensibilidad del receptor, por lo que a partir de ciertos niveles de ruido no es posible realizar una buena comunicación. Precisamente, la relación *C/N* es uno de los parámetros más importantes para el diseño de cualquier sistema de comunicaciones.

Sabías que...

La calidad de una comunicación depende de la señal útil que recibe el receptor, pero también depende de la señal de ruido que reciba, ya que a mayor ruido recibido, más fácil es enmascarar la información útil recibida.

2.9.6. Figura de ruido

Todo elemento utilizado en un sistema introduce ruido. Así, tanto la antena como el cable y los amplificadores introducen ruido que empeora la calidad de la comunicación, es decir, disminuyen la relación *C/N*.

Si la señal del Ejemplo 2.11 se introduce en un amplificador de ganancia (G) de 20 dB (Figura 2.48.a), este amplifica tanto la señal útil como la porción de ruido:

$$S_o = S_i + G = 50 + 20 = 70\ \text{dB}\mu\text{V}$$

$$N_o = N_i + G = 4 + 20 = 24\ \text{dB}\mu\text{V}$$

Cabe esperar que la *C/N* se mantenga:

$$C/N_o = S_o - N_o = 70 - 24 = 46\ \text{dB}$$

Ejemplo 2.11. Evaluación de la relación señal-ruido

A la entrada del sistema de la Figura 2.47 (salida de la antena) el nivel de señal útil (S_i) es de 50 dBμV. El nivel de ruido medido (N_i) es de 4 dBμV. La relación portadora-ruido de entrada (C/N_i) es de 46 dB:

$$C/N_i = S_i - N_i = 50\ \text{dB}\mu\text{V} - 4\ \text{dB}\mu\text{V} = 46\ \text{dB}$$

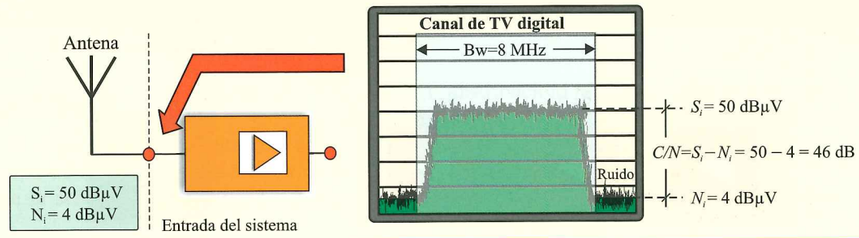


Figura 2.47. *Evaluación de la C/N de entrada de un sistema.*

© Ediciones Paraninfo

Pero en la realidad el amplificador introduce siempre ruido, por lo que la *C/N* de salida siempre es menor.

Para evaluar el ruido que introduce un dispositivo se define la **figura de ruido (*F*)** que indica el nivel equivalente de ruido a la entrada del amplificador, de forma que el ruido equivalente total (N_T) a la entrada del amplificador depende del nivel de ruido real (N_i) expresado en dBμV y del que introduce el dispositivo (*F*) expresado en dB:

$$N_T = N_i + F$$

De esta forma, a la salida de un amplificador se tiene una relación señal-ruido (C/N_o) que se puede evaluar en función del ruido equivalente en la entrada:

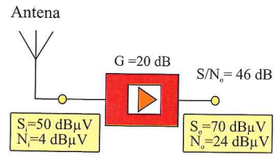
$$C/N_o = S_i - N_i - F = C/N_i - F$$

En el amplificador real de la Figura 2.48.b, con una figura de ruido de 4 dB, obtenemos una C/N_o de 44 dB:

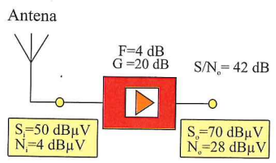
$$C/N_o = S_i - N_i - F = 50 - 4 - 4 = 42 \text{ dB}$$

La figura de ruido está expresada en dB, pero tiene su término equivalente en unidades lineales, denominado **factor de ruido** (*f*), de forma que:

$$F = 10 \times \log(f)$$
$$f = 10^{F/10}$$



a) Amplificador ideal.



b) Amplificador real.

Figura 2.48. *Ejemplo.*

Fórmula de Friis

Se puede demostrar que un sistema formado por diferentes etapas (Figura 2.49) se comporta como una única etapa equivalente en la que se define su factor de ruido equivalente (f_{EQ}), de forma que:

$$f_{EQ} = f_1 + \frac{f_2 - 1}{g_1} + \frac{f_3 - 1}{g_1 \times g_2} + \frac{f_4 - 1}{g_1 \times g_2 \times g_3} + \ldots$$

donde $g_1,\ldots,g_N$ especifica la ganancia en unidades lineales.

La relación anterior, denominada **fórmula de Friis,** permite evaluar el nivel de la *C/N* en un sistema refiriendo el factor equivalente de ruido a la entrada

Factor de ruido de las redes pasivas

Las redes pasivas, como por ejemplo el cable coaxial, introducen un factor de ruido que depende de la atenuación (*L*) que introduce, de la forma:

$$f_{cable} = 1/g_{cable} = L_{cable}$$

Expresado en dB:

$$F_{CABLE}(\text{dB}) = L_{CABLE}(\text{dB})$$

Sabías que...

El fabricante de los dispositivos activos, tales como amplificadores, siempre suministra la figura de ruido, lo que permite evaluar el ruido generado por el dispositivo.

Recuerda:

Si es necesario expresar en unidades lineales una magnitud, se utilizan las propiedades de los antilogaritmos:

$P = 10^{\frac{P(\text{dB})}{10}}$ para la potencia

$V = 10^{\frac{V(\text{dB})}{20}}$ para la tensión.

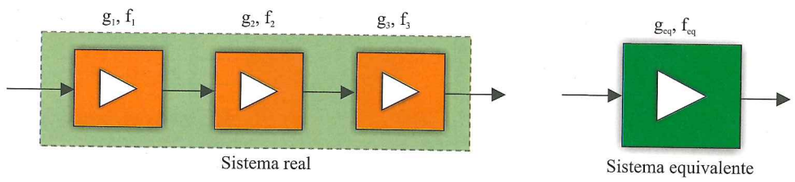


Figura 2.49. *Circuito equivalente.*

© Ediciones Paraninfo

© Ediciones Paraninfo

Ejemplo 2.12. Evaluación de la relación *C/N* de salida

En el ejemplo de la Figura 2.50 la señal de entrada es de S_i = 60 dBμV y la señal de ruido que la acompaña es de N_i = 4 dBμV.

La relación C/N_i es de 56 dB:

$$C/N_i = S_i - N_i = 60 \text{ dB}\mu\text{V} - 4 \text{ dB}\mu\text{V} = 56 \text{ dB}$$

Para evaluar la C/N_o de salida, es necesario conocer los parámetros de los elementos del sistema:

- Primer cable: $G_1 = -1{,}5$ dB; $F_1 = L_1 = 1{,}5$ dB.
- Amplificador: $G_2 = 40$ dB; $F_2 = 9$ dB.
- Segundo cable (red): $G_3 = -20$ dB; $F_3 = L_3 = 20$ dB.

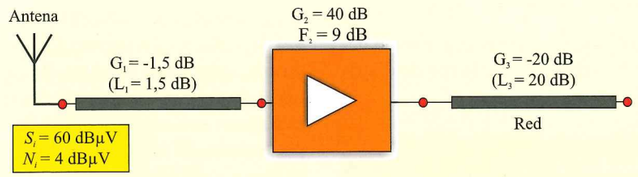


Figura 2.50. *Ejemplo.*

Para calcular la figura de ruido equivalente a la entrada es necesario pasar todas las unidades anteriores expresadas en dB en unidades lineales:

$$g_1 = 10^{(-1{,}5/10)} = 0{,}708; f_1 = 1/0{,}708 = 1{,}412$$
$$g_2 = 10^{(40/10)} = 10.000; f_2 = 10^{(9/10)} = 7{,}943$$
$$g_3 = 10^{(-20/10)} = 0{,}01; f_3 = 10^{(20/10)} = 100$$

El factor de ruido equivalente a la entrada (f_{eq}) del sistema (salida de la antena) es 11,2:

$$f_{EQ} = f_1 + \frac{f_2 - 1}{g_1} + \frac{f_3 - 1}{g_1 \times g_2} = 1{,}412 + \frac{7{,}943 - 1}{0{,}708} + \frac{100 - 1}{0{,}708 \times 10.000} = 11{,}2$$

La figura de ruido equivalente (F_{EQ}) es de 10,5 dB:

$$F_{EQ} = 10 \times \log f_{EQ} = 10 \times \log(11{,}2) = 10{,}5 \text{ dB}$$

La relación portadora-ruido del sistema a su salida es de 45,5 dB:

$$C/N_o = S_i - N_i - F_{EQ} = 60 - 4 - 10{,}5 = 45{,}5 \text{ dB}$$

Es decir, la relación *C/N* ha empeorado 10,5 dB.

Aproximación

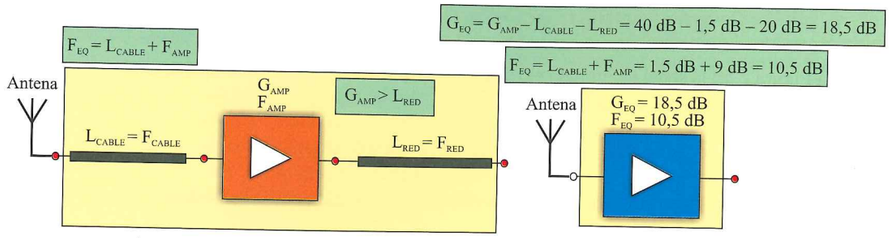
Los sistemas de distribución de la señal de TV se caracterizan porque uno de los primeros elementos de la red de distribución de la señal es un amplificador con ganancia elevada.

En el caso particular de que la ganancia del amplificador sea elevada comparada con la atenuación de la red de distribución, la figura equivalente de ruido del sistema se puede calcular de manera aproximada mediante la expresión:

$$F_{EQ} = L_{CABLE} + F_{AMPLIFICADOR}$$

donde L_{CABLE} es la atenuación del cable de bajada de la antena hasta el amplificador y $F_{AMPLIFICADOR}$ es la figura de ruido que especifica el fabricante del amplificador.

ELECTRICIDAD-ELECTRÓ



a) Condiciones de la aproximación. b) Ejemplo.

Figura 2.51. *Aproximación del F_{EQ}.*

Esta aproximación solo es cierta cuando la ganancia del amplificador es mayor que la atenuación de la red de distribución (Figura 2.51).

Ejemplo 2.13. Cálculo del factor de ruido equivalente

En el Ejemplo 2.12 (Figura 2.50), podemos calcular el comportamiento equivalente del conjunto mostrado en la Figura 2.51.b, a partir de la aproximación, ya que la ganancia del amplificador es mayor que la atenuación de la red que le sigue, obteniendo una figura equivalente de ruido de:

$$F_{EQ} = L_{CABLE} + F_{AMP} = L_1 + F_2 = 1{,}5\ dB + 9\ dB = 10{,}5\ dB$$

La relación C/N_o se puede evaluar a partir de la C/N_i:

$$C/N_o = C/N_i - F_{EQ} = 56\ dB - 10{,}5\ dB = 45{,}5\ dB$$

2.9.7. Otras medidas de la calidad de una comunicación

La Tabla 2.10 muestra una comparación entre las diferentes medidas que permiten evaluar la señal de TV en una instalación. Las medidas cuantitativas, como por ejemplo el nivel de señal no garantizan la calidad de la imagen recibida, ya que dependerá de otros factores, como por ejemplo del nivel de ruido o las interferencias que la acompañan. Por ello, para evaluar la calidad de la señal, se utilizan otros parámetros, el principal de los cuales es la *C/N*.

Tabla 2.10. Evaluación de calidad de la señal de TV.

Tipo de señal	TV analógica	TV digital
Cantidad	Nivel (dBμV) Análisis de espectro	Nivel (dBμV) Análisis del espectro
Calidad	*C/N* (dB) *A/V* (dB) Imagen (subjetivo)	*C/N* (dB) BER , VBER MER (dB) Constelación (subjetivo)

A diferencia de los sistemas analógicos, en los cuales podíamos evaluar de manera subjetiva la calidad de la señal recibida a partir de la imagen visualizada (Figura 2.52), en los sistemas digitales la calidad siempre es óptima hasta que el decodificador es incapaz de recuperar los errores de la señal, momento en el cual la imagen aparece pixelada (Figura 2.53) y posteriormente desaparece de la pantalla (Figura 2.54).

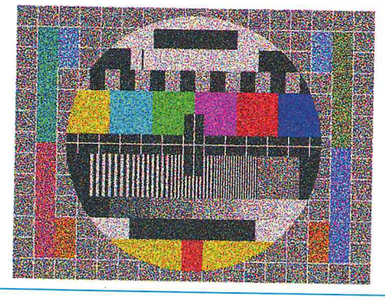


Figura 2.52. *Imagen analógica con ruido.*

Figura 2.53. *Imagen pixelada.*

© Ediciones Paraninfo

© Ediciones Paraninfo

ELECTRICIDAD-ELECTRÓNICA

Figura 2.54. *Falta de imagen.*

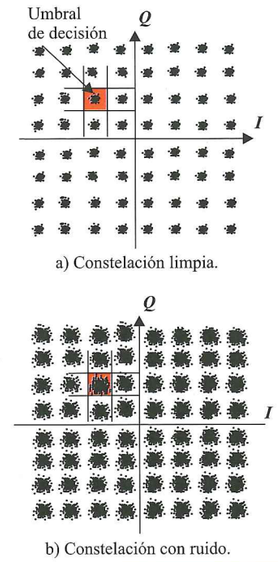
Por ello, las medidas más utilizadas para evaluar la calidad de una comunicación digital están basadas en la **tasa de bits erróneos** recibidos. Los algoritmos correctores de errores utilizados en la transmisión se aplican en el receptor antes del decodificador MPEG-2. Por tanto, cada vez que se aplica una corrección de errores, la tasa de errores varía, siendo necesario definir en qué punto de la cadena de recepción se debe realizar esta medida. Normalmente, la medida de la tasa de bits erróneos se realiza en los siguientes puntos de la decodificación de la señal:

- **BER** (*Bit Error Rate*). Cuantifica el número de bits erróneos después de las dos protecciones contra errores (Viterbi y Reed-Solomon) si las hay. Por ejemplo, un BER de 1×10^{-10} indica que se produce un error en un bit cada 10^{10} bits.
- **VBER.** Mide tasa de errores después de Viterbi (si lo hay) y antes de Reed-Solomon.

En el receptor, la principal función que realiza el demodulador es decidir el símbolo transmitido en función de la señal recibida. Debido a los efectos de propagación de la señal, esta se recibirá con ruido, por lo que el demodulador debe decidir según un **umbral de decisión**. En el caso de una transmisión con mucho ruido, es posible que la información recibida contenga errores, y que un símbolo caiga fuera de su umbral de decisión. La Figura 2.55 compara una constelación libre de ruido con otra con mucho ruido, en la que es posible que haya muchos errores de transmisión.

Para evaluar este efecto se utiliza otra medida de la calidad de la señal digital: el MER (*Modulation Error Ratio*).

El **MER** representa la relación entre la potencia media de la señal digital y la potencia media del ruido presente en la constelación de la señal. Se expresa en dB.



a) Constelación limpia.

b) Constelación con ruido.

Figura 2.55. *Constelación de una modulación digital.*

Recuerda:

Los métodos de corrección de errores a los que se somete a la señal digital preservan su calidad aunque se provoquen errores de transmisión. Si los errores producidos son demasiado elevados, los errores no se podrán corregir y el descodificador será incapaz de mostrar la imagen en pantalla.