



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, abarcan 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. Difusión de los servicios de radio y TV
- 2.8. 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.

2.1.1. Sistemas de radiodifusión

El principal canal de transmisión utilizado en los sistemas de telecomunicación se basa en la propagación de **ondas electromagnéticas** a través del espacio libre, por lo que estos se denominan sistemas de radiodifusión.

Los **sistemas de radiodifusión** (Figura 2.1) 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.



Recuerda

El anexo I de la normativa de ICT establece las características técnicas que deberá cumplir la infraestructura común de telecomunicaciones destinada a la captación, adaptación y distribución de señales de radiodifusión sonora y de televisión procedentes de emisiones terrestres y de satélite.

2.1.2. Principios fundamentales de modulación

La señal fuente de vídeo y audio de las emisiones de radiodifusión no se puede transmitir directamente al medio de transmisión, por lo que se requiere un proceso de modulación.

El principal objetivo de la **modulación** es adecuar la señal de información que se desea transmitir al medio de transmisión utilizado (Figura 2.2).



Recuerda

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

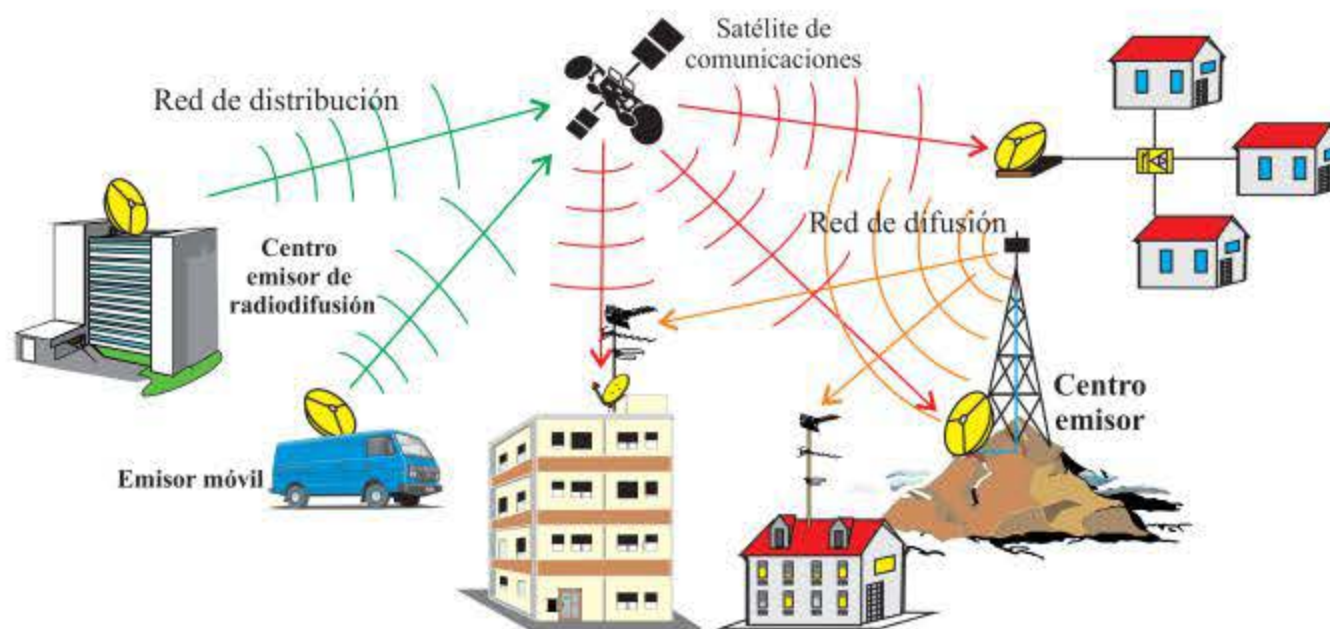


Figura 2.1. Sistemas de radiodifusión.

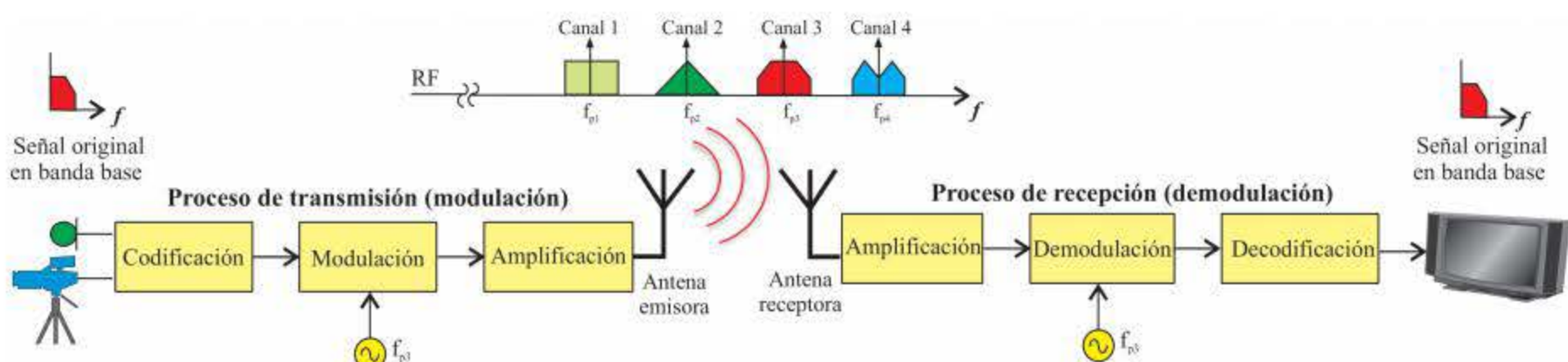


Figura 2.2. Radiodifusión de las señales de TV.



La señal de salida del micrófono o de la cámara de vídeo, después de una codificación previa que dependerá del sistema de TV utilizado, 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 modulación también permite transmitir una información del mismo tipo, por ejemplo diferentes canales de TV, por el mismo canal de transmisión, ya que durante la modulación se asignan frecuencias diferentes a cada comunicación.

La información modulada 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, se somete a la señal recibida a un proceso de decodificación para recuperar la señal original de audio y vídeo.

■ 2.1.3. Tipos de modulaciones

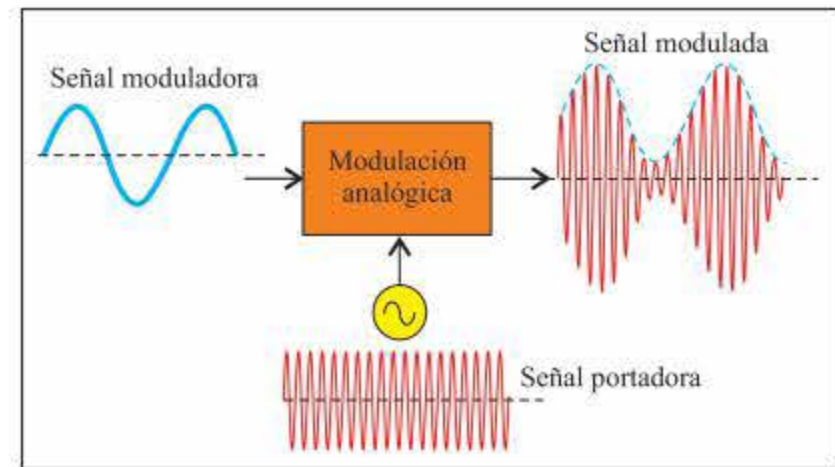
Las modulaciones que se utilizan para transmitir información por un medio de transmisión analógico se denominan **modulaciones digitales de onda continua**.

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). En este proceso de modulación intervienen tres señales:

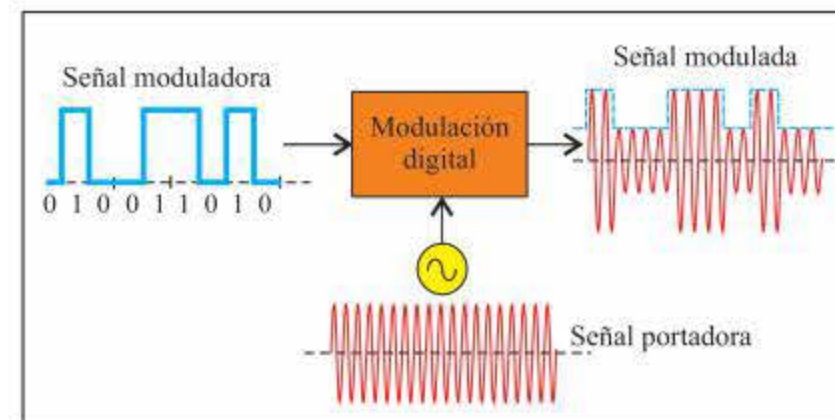
- **Señal moduladora** o señal de información.
- **Señal portadora**, sobre la que se lleva la información de la señal moduladora.
- **Señal modulada**, que es la señal resultante del proceso de modulación.

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

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



a) Modulación analógica.



b) Modulación digital.

Figura 2.3. Tipos de modulaciones.

■ 2.2. Modulaciones analógicas

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

- **Modulación en amplitud (AM).** En la modulación AM (*Amplitude Modulation*) la amplitud de la señal portadora varía de acuerdo con el nivel instantáneo de la señal de información. La Figura 2.4a 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 señal portadora. En cambio, su amplitud varía en función de la información.
- **Modulación en frecuencia (FM).** En la modulación de FM (*Frequency Modulation*) la frecuencia de la señal portadora varía de acuerdo con el nivel instantáneo de la señal de información (señal moduladora). La Figura 2.4b muestra el resultado de una modulación en FM: a medida que la amplitud de la señal moduladora varía, la frecuencia de la señal resultante de la modulación también lo hace, pero manteniendo su amplitud constante.
- **Modulación en fase (PM).** En la modulación PM (*Phase Modulation*) 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.

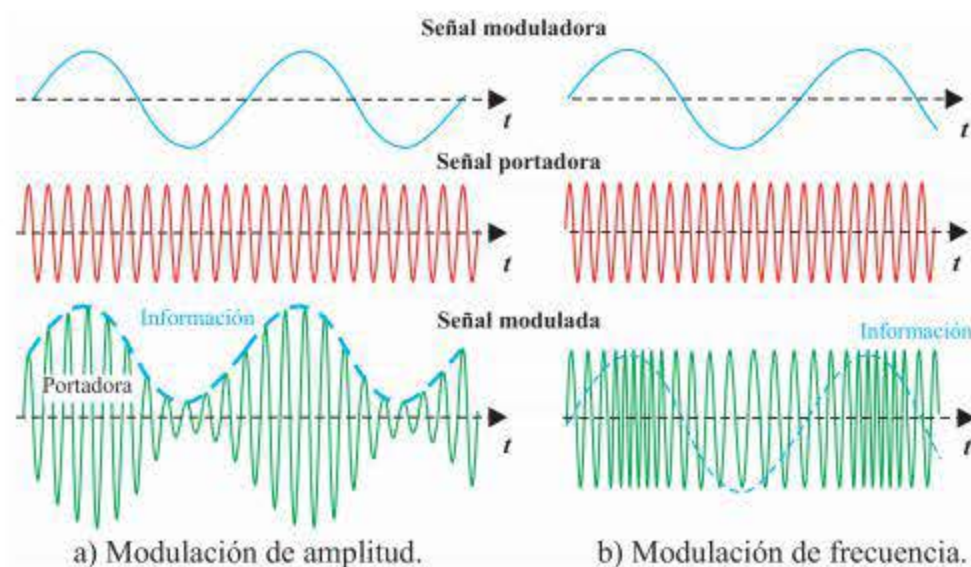


Figura 2.4. Modulaciones analógicas.

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.



Sabías que...

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

En las **modulaciones digitales** de onda continua, tal y como se muestra en la Figura 2.5, 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.

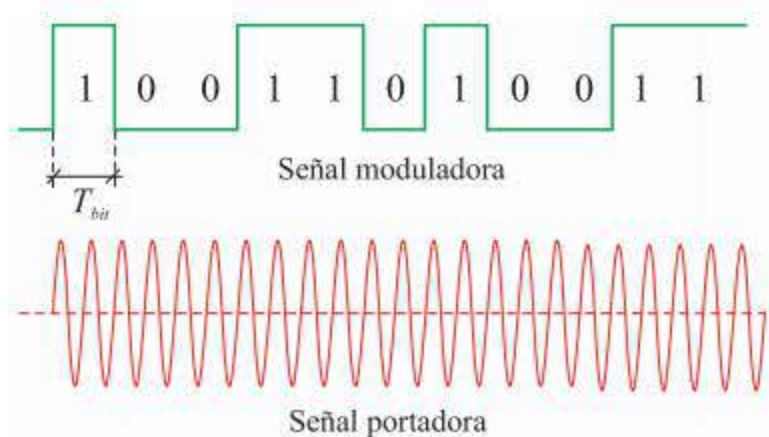


Figura 2.5. Señales que intervienen en una modulación digital.

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*). La Figura 2.6a muestra el resultado 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.
- **Modulación de frecuencia** (FSK, *Frequency Shift Keying*). La información se encuentra en la frecuencia de la señal portadora, que ha sido modificada por el valor de cada bit de información, tal y como se muestra en la Figura 2.6b.
- **Modulación de fase** (PSK, *Phase Shift Keying*). En esta modulación, el valor de cada bit modifica la fase de la señal portadora (Figura 2.6c).

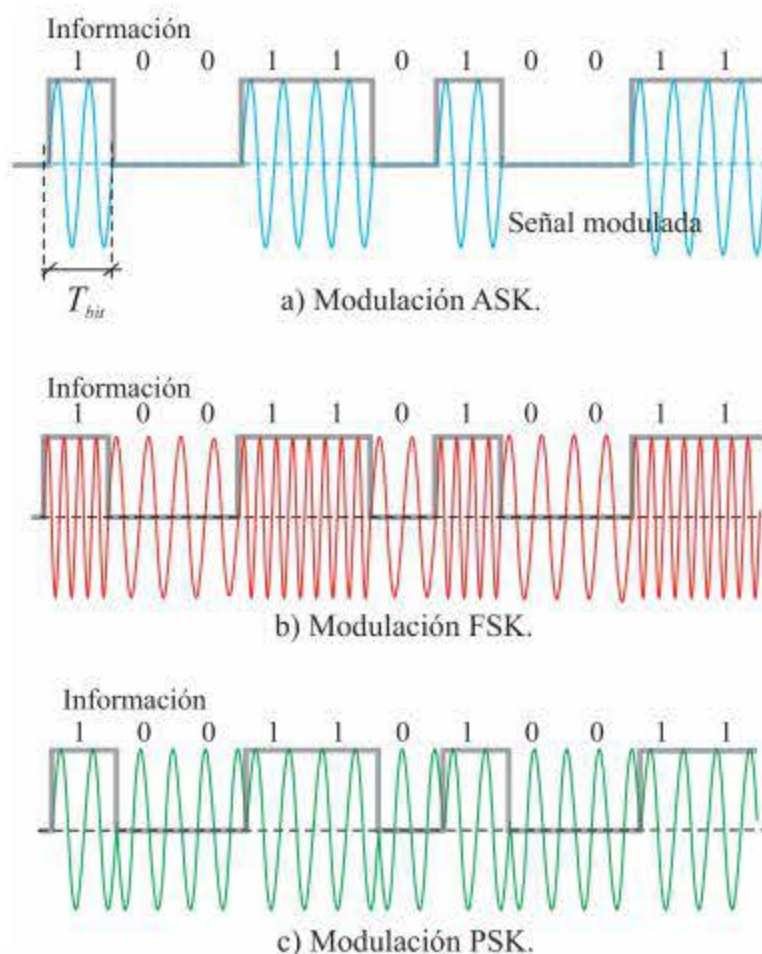


Figura 2.6. Modulaciones digitales básicas.

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 periodo de bit (T_{bit}) de $10 \mu s$ (Figura 2.7a). Su velocidad de transmisión es de 100 kbps:

$$v_t = \frac{1}{T_{bit}} = \frac{1}{10 \cdot 10^{-6} s} = 100\,000 \text{ bps} = 100 \text{ kbps}$$

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):

$$v_m = \frac{1}{T_{Símbolo}}$$

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

$$v_t = v_m \cdot n$$

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

Ejemplo 2.2. Velocidad de transmisión y velocidad de modulación

En la Figura 2.7 se compara una modulación ASK convencional con una modulación ASK multinivel. En esta última se transmiten 4 símbolos diferentes (4-ASK), por agrupación de 2 bits, por lo que la señal modulada tendrá también 4 amplitudes diferentes:

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

El tiempo asignado a la transmisión de un símbolo ($T_{símbolo}$) en la modulación es de $10 \mu s$, por lo que la velocidad de modulación (v_m) es:

$$v_m = \frac{1}{T_{Símbolo}} = \frac{1}{10 \cdot 10^{-6} s} = 100\,000 \text{ símbolos/s}$$

Como cada símbolo está formado por dos bits, la velocidad de transmisión (v_t) es de 200 kbps:

$$v_t = v_m \times n = 100\,000 \text{ símbolos/s} \times 2 \text{ bits} = 200\,000 \text{ bps} = 200 \text{ kbps}$$

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

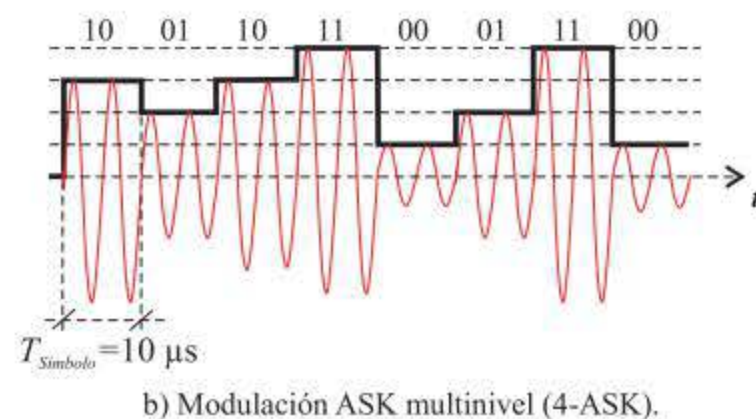
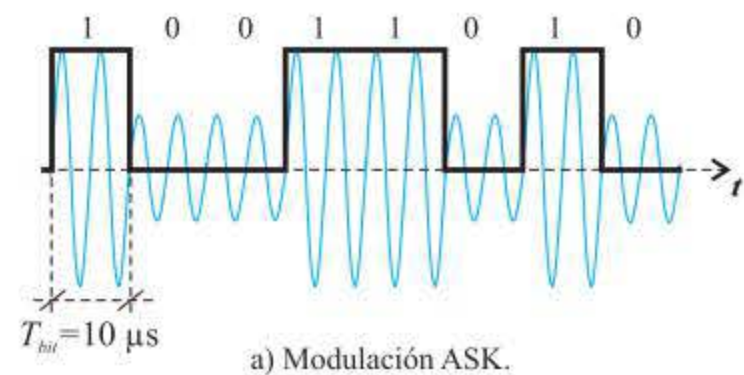


Figura 2.7. Modulación ASK multinivel.

2.3.4. Representación de las modulaciones digitales

En las modulaciones multinivel se utiliza una **modulación en cuadratura**, que consiste en la utilización de dos portadoras que tienen la misma frecuencia pero están desfasadas 90° . La información binaria a transmitir se agrupa en símbolos, donde los bits de cada símbolo se reparten entre las dos portadoras: la portadora en fase (señal I) y la portadora en cuadratura (señal Q), tal y como se muestra en la Figura 2.8.

En la práctica, las modulaciones digitales modifican la amplitud y la fase de la señal portadora, de manera que es fácil la representación de todos los símbolos posibles mediante un diagrama como el que se muestra en la Figura 2.9,



denominado **constelación**. En este diagrama se representan la amplitud y la fase de cada uno de los símbolos que resulta del proceso de modulación.

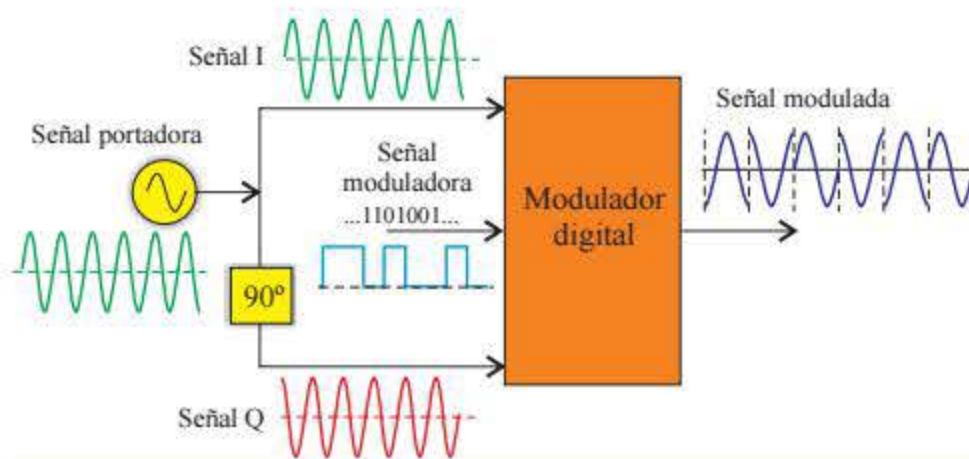


Figura 2.8. Principio de la modulación en cuadratura.

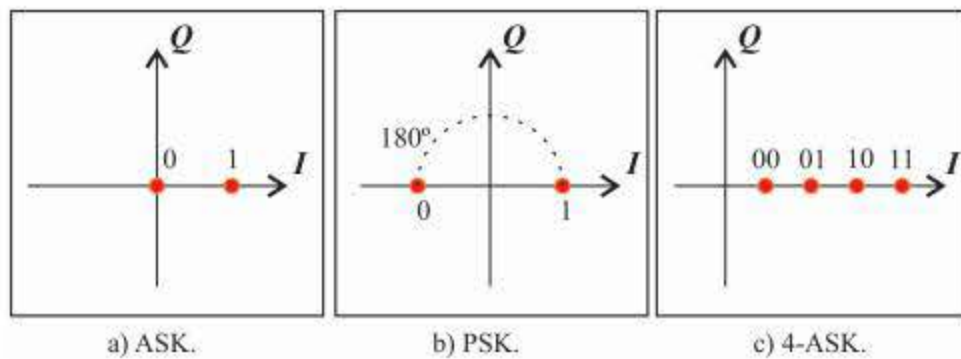


Figura 2.9. Constelaciones de las modulaciones digitales básicas.

2.3.5. Modulación QPSK

La **modulación QPSK** (*Quadrature Phase Shift Keying*) utiliza una modulación en cuadratura a partir de símbolos de dos bits.

La Figura 2.10 representa un ejemplo donde se muestran las diferentes señales que intervienen en esta modulación.

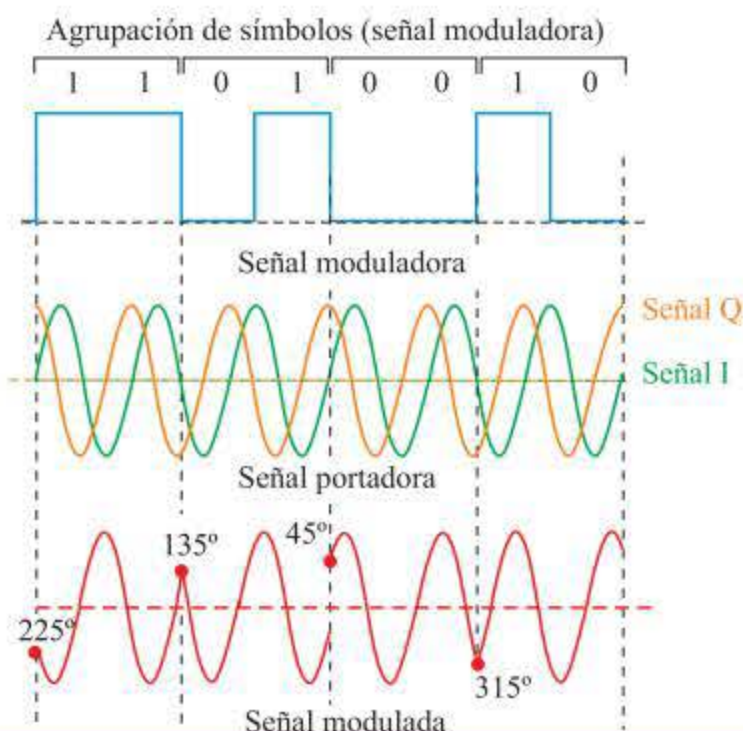


Figura 2.10. Señales de una modulación QPSK.

La Figura 2.11 representa la constelación de una modulación QPSK. La información contenida en la señal QPSK es fácilmente identificable por su fase, ya que cada símbolo tiene una fase asociada diferente, siendo su amplitud siempre la misma.

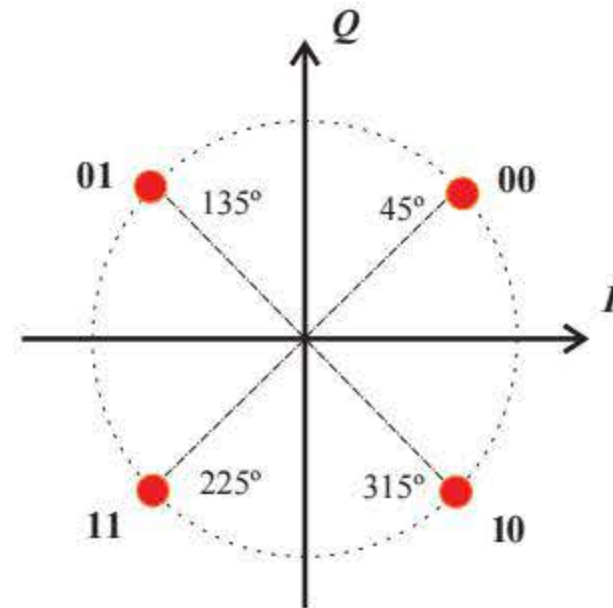


Figura 2.11. Constelación QPSK.



Sabías que...

La modulación QPSK es la utilizada en las transmisiones de TV satélite digital de primera generación (DVB-S).

2.3.6. Modulación N-QAM

La **modulación QAM** (*Quadrature Amplitude Modulation*) es una modulación combinada de amplitud y fase.

En función del número de bits que se agrupan por cada símbolo, se clasifican diferentes esquemas de modulación N-QAM:

- **4-QAM:** 2 bits por símbolo.
- **16-QAM:** 4 bits por símbolo.
- **64-QAM:** 6 bits por símbolo.
- **256-QAM:** 8 bits por símbolo.
- Etc.

En la Figura 2.12 se comparan diferentes constelaciones de las modulaciones N-QAM. A medida que el número de símbolos aumenta, la velocidad de transmisión también lo hace, ya que se transmiten 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.

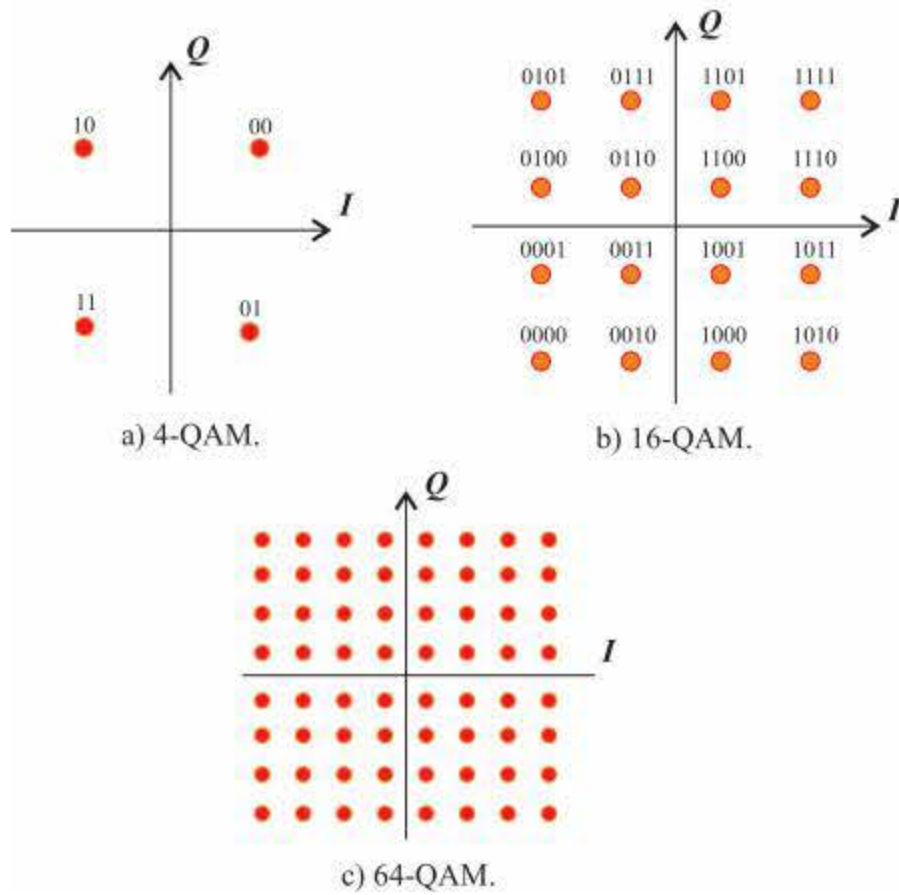


Figura 2.12. Comparación de diferentes constelaciones N-QAM.



Sabías que...

La modulación N-QAM se utiliza en las transmisiones de TV terrestre digital (TDT) junto con una técnica de modulación denominada COFDM.

2.3.7. Modulación N-PSK

Utilizando el mismo principio de la modulación PSK, cuando se utilizan agrupaciones de bits para modular la señal portadora se obtienen diferentes modulaciones N-PSK:

- 8-PSK: 3 bits/símbolo.
- 16-PSK: 4 bits/símbolo.
- 32-PSK: 5 bits/símbolo.

La modulación más utilizada en la práctica es la **modulación 8-PSK**, que utiliza símbolos de 3 bits, por lo que se obtienen 8 fases diferentes (2^3). En la Figura 2.13 se compara la constelación de la modulación 8-PSK con la de una modulación 4-PSK, donde se observa la disposición de los símbolos y la variación de fase relativa entre ellos. En todos los casos, la amplitud de los símbolos es la misma.



Sabías que...

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

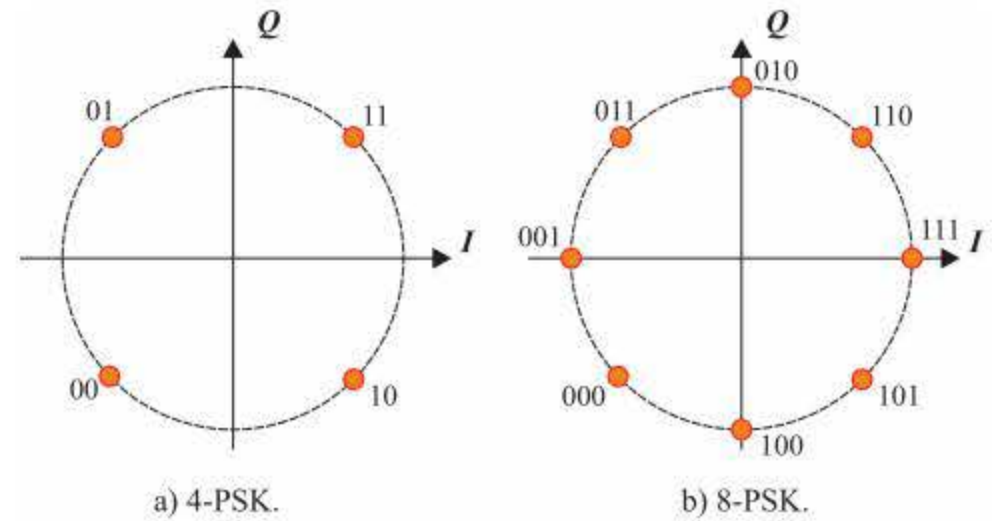


Figura 2.13. Constelaciones N-PSK.

2.3.8. Modulación COFDM

En la técnica de modulación **COFDM** (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) 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.

Como se observa en la Figura 2.14, la potencia de la señal digital que resulta del proceso de modulación se distribuye de manera uniforme en todo el ancho de banda (aproximadamente 8 MHz).

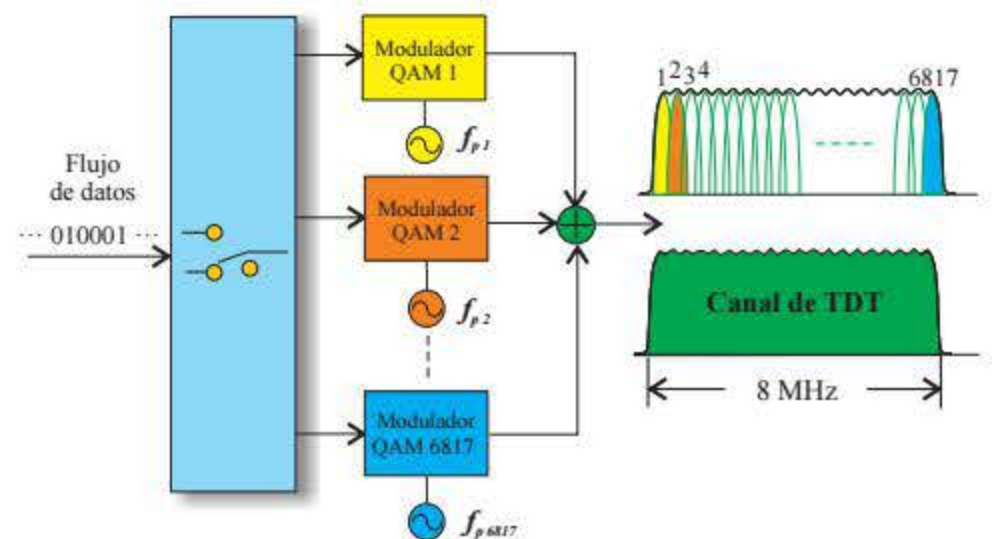


Figura 2.14. Técnica COFDM.

En la técnica COFDM utilizada en España se utilizan 6817 portadoras (8K) que modulan en 4-QAM, 16-QAM o 64-QAM el flujo de datos digital.

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.



2.4.1. Espectro radioeléctrico

El **espectro radioeléctrico** que se muestra en la Figura 2.15 es el conjunto de ondas radioeléctricas de frecuencia comprendida entre 3 kHz y 3000 GHz en los que se distribuyen los principales servicios de radiodifusión.

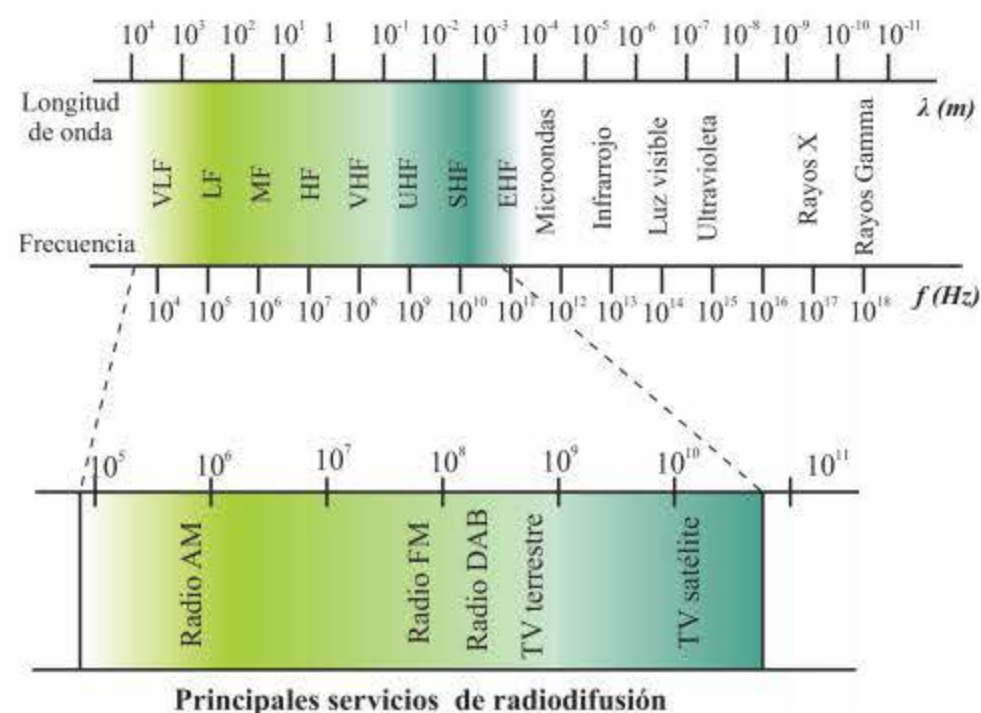


Figura 2.15. Espectro radioeléctrico.

Este espectro está dividido conforme al Reglamento de radiocomunicaciones de la UIT (RRUIT) en las bandas que se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. 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)
300-3000 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)
300-3000 MHz	100-10 cm	UHF (ultra alta frecuencia)
3-30 GHz	10-1 cm	SHF (super alta frecuencia)
30-3000 GHz	10-1 mm	EHF (extra alta frecuencia)



Recuerda

La relación entre la frecuencia (f) y la longitud (λ) 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. Servicios de radiodifusión

Cuando se utiliza el aire como medio de transmisión los sistemas de transmisión se pueden dividir en **terrestres** o **vía satélite**.

En los **sistemas de transmisión terrestres** la señal de televisión llega a la antena receptora a través de los transmisores o repetidores terrestres (Figura 2.16a). 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 2.16b).

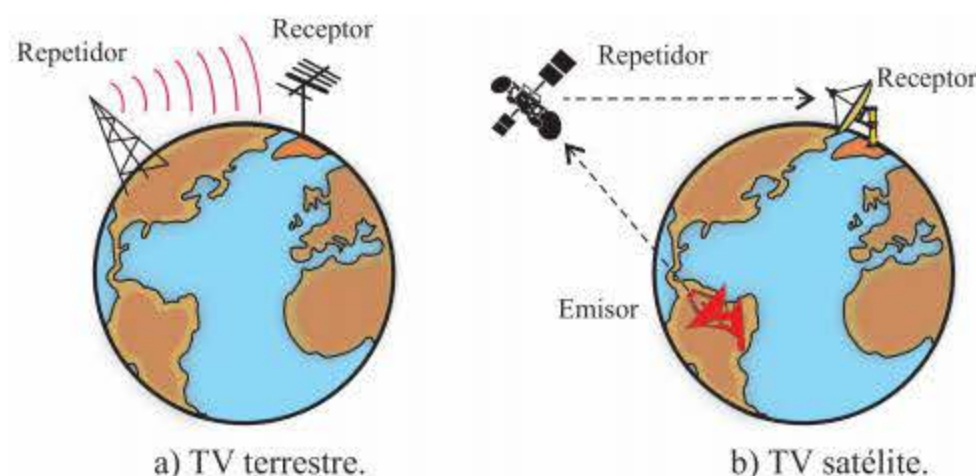


Figura 2.16. Clasificación de los sistemas de transmisión.



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. Los sistemas de televisión por cable tienen la capacidad de incorporar un canal de retorno, dotando al sistema de bidireccionalidad, es decir, permite que el usuario no solo sea capaz de recibir señales sino que pueda también enviar información hacia el equipo emisor.

Los **servicios de radiodifusión** admiten la clasificación de la Figura 2.17, donde se indica además las principales bandas asignadas.

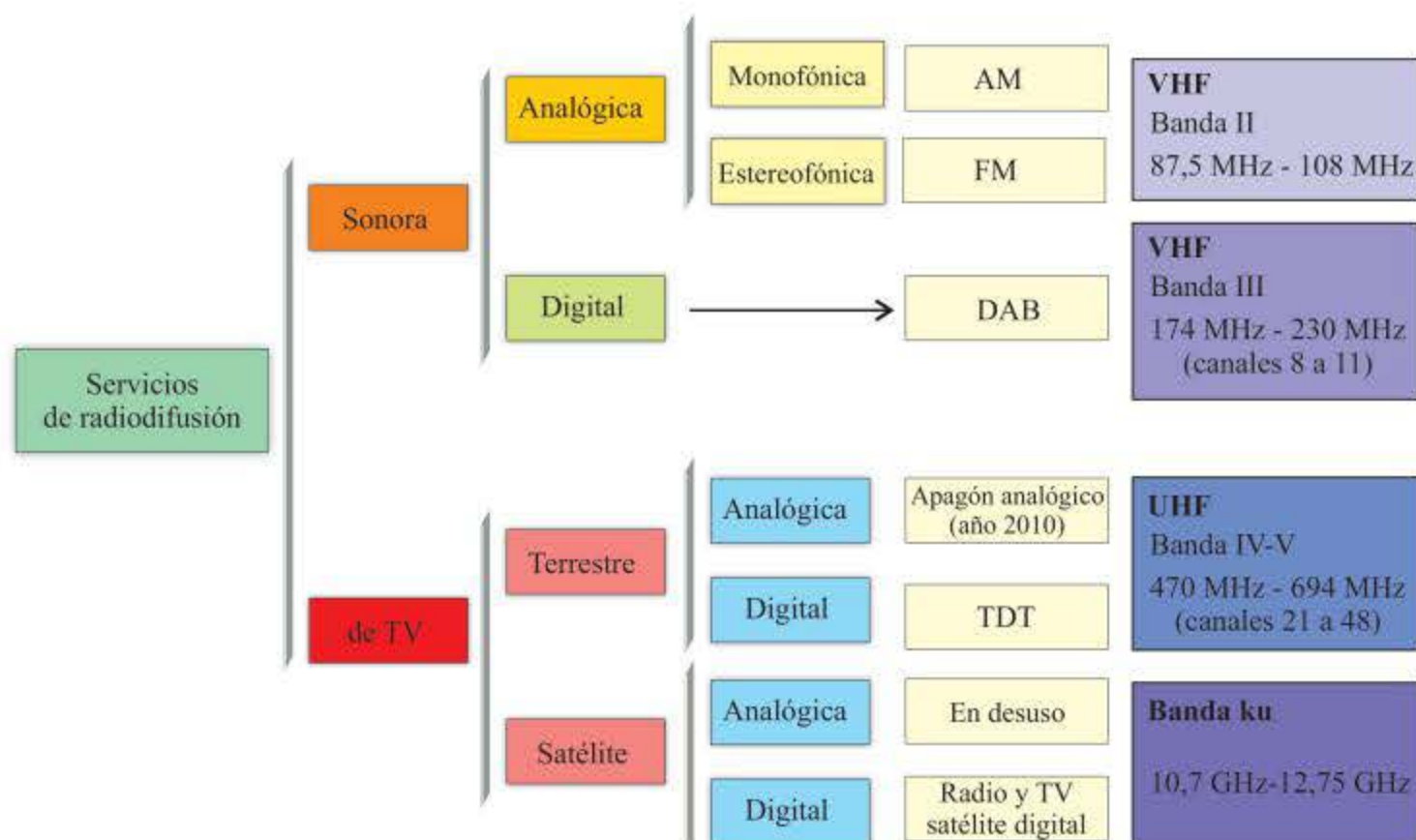


Figura 2.17. Clasificación de los servicios de radiodifusión.

2.4.3. Canalización

La asignación de los canales radioeléctricos en cada una de las bandas de radiodifusión se denomina **canalización**.

En España se utiliza un tipo de canalización normalizada denominada **canalización CCIR**, que se muestra en las Tablas 2.2 y 2.3.



Recuerda

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

La Figura 2.18 resume la asignación de canales a los servicios de las bandas de VHF y UHF.

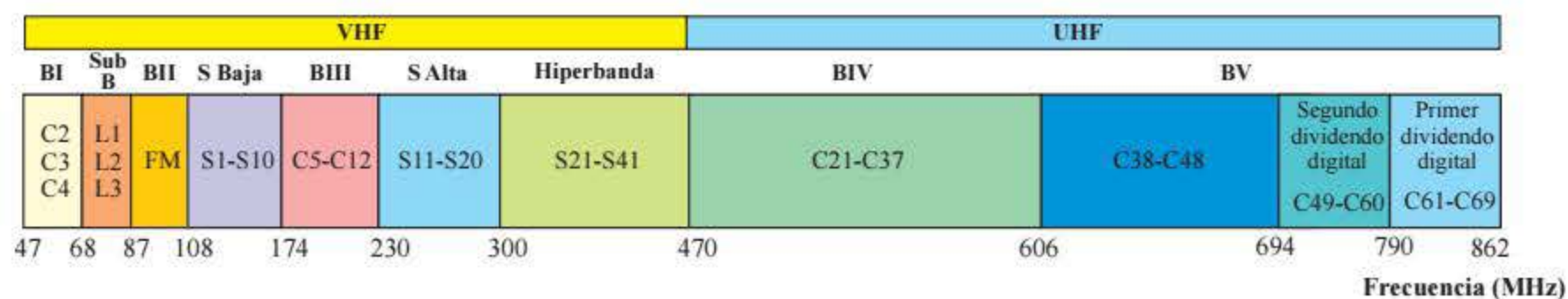


Figura 2.18. Canales de las bandas de VHF y UHF.

Tabla 2.2. Canalización CCIR. Bandas 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

Banda	Canal	Frecuencias (MHz)	Frecuencia central (MHz)
Banda III (VHF) (cont.)	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



Sabías que...

El dividendo digital es la liberación de la parte alta de la banda de UHF para otros servicios diferentes al de la TV terrestre.

Tabla 2.3. Canalización CCIR. Bandas 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	542-550	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		—	—	—

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 ha ido reduciendo hasta que finalmente solo se emite en digital.

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

2.5.1. Sistemas analógicos de televisión terrestre

Aunque ya no 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.

Cada país adopta un **sistema de televisión analógico** 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 (AM-TV).

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 España se utiliza el sistema **PAL B** en la banda de VHF y el sistema **PAL G** en la banda de UHF.

2.5.2. 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 (radio FM), que se realiza en la banda de 87,5 a 108 MHz atribuida internacionalmente a este fin.

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 multi-trayecto. 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.

2.6.1. Transmisión digital de un canal de TV

La Figura 2.19 resume de manera simplificada el proceso utilizado para la **transmisión de un canal de TV digital**.

Una vez realizado el proceso de **digitalización** de la señal de sonido y de vídeo, se realiza la codificación de fuente.

La **codificación de fuente** es el proceso al que se somete la señal de vídeo para comprimirla y disminuir el ancho de banda necesario para su difusión. En este proceso se utilizan estándares de compresión basados en MPEG-2 o MPEG-4.

El flujo de datos que resulta del proceso de codificación de fuente es digital y, por tanto, no es adecuado para su transmisión por un medio analógico como es el radioeléctrico. Por ello, antes de transmitir la señal se somete a un proceso de **codificación de canal** que adecua la señal al medio de transmisión.

Durante la codificación de canal se protege el flujo de bits transmitido mediante **códigos de protección de errores**, de manera que en recepción es posible la detección y, si es el caso, la corrección, de los errores producidos durante la transmisión. Dos ejemplos de codificadores

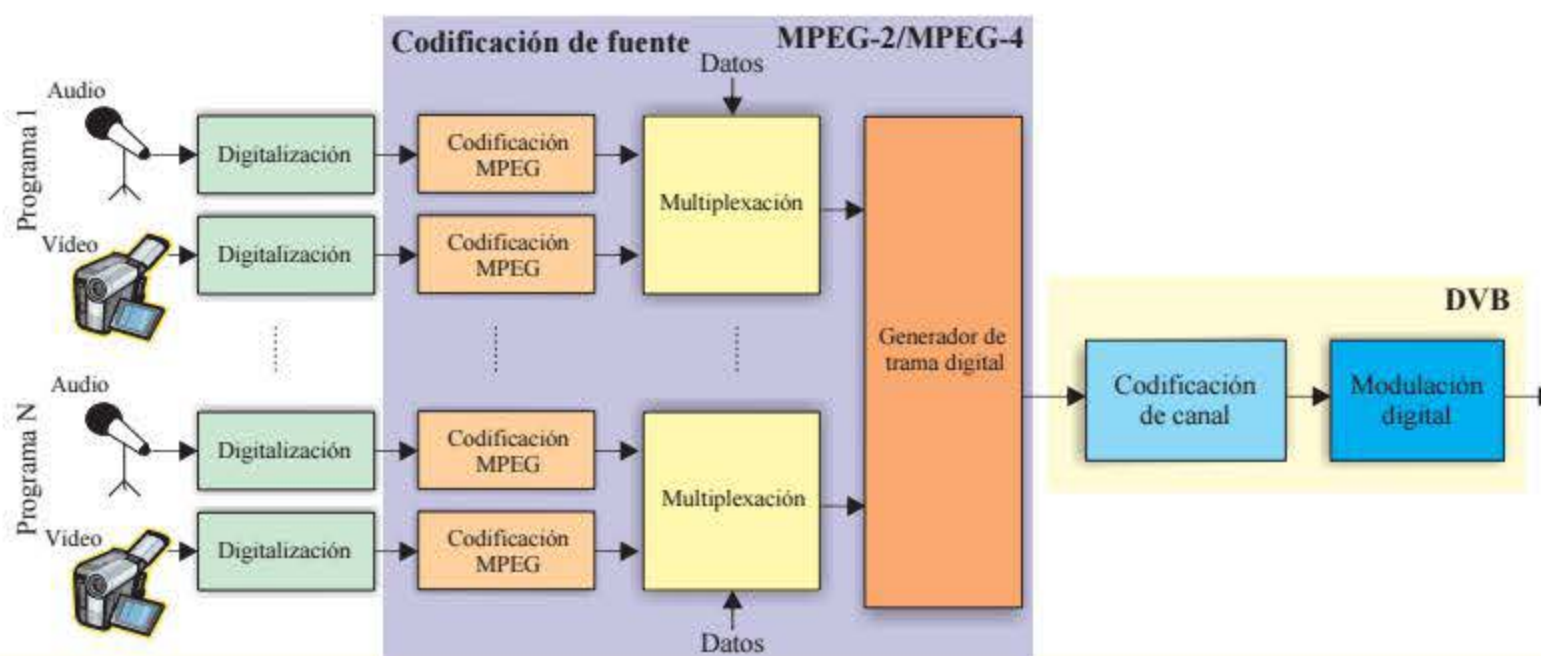


Figura 2.19. Proceso de transmisión digital de un canal de televisión.



que proporcionan protección de la información durante la transmisión son:

- **Codificación Reed-Solomon:** proporciona protección del paquete de datos frente a errores en la transmisión.
- **Codificación de Viterbi:** introduce un código de protección contra errores que garantiza protección a nivel de bit.

 Sabías que...

La protección contra errores en los sistemas de segunda generación se realiza con otros codificadores: BCH (*Bose-Chaudhuri-Hocquenghem*) y LDPC (*Low Density Parity Check*).

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

 Recuerda

Los códigos de protección frente a errores añaden 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.

■ ■ 2.6.2. Canales múltiples digitales

La principal característica de los sistemas de transmisión digital es que un canal de radiofrecuencia permite incorporar las señales correspondientes a varios programas de televisión y de radio y a los servicios asociados.

La señal compuesta de un canal de TV que transmite diferentes programas se denomina **múltiplex digital** o canal múltiple digital.

Por ejemplo, el múltiplex asociado a un canal de televisión digital terrestre (TDT) transmite un número de programas de TV variable, generalmente entre 4 y 6, dependiendo de la calidad de emisión de cada programa.

■ ■ 2.6.3. Estándares de TV digital

DVB (*Digital Video Broadcasting*) es un organismo que tiene como objetivo la definición de los sistemas de televisión digital para la difusión vía satélite 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-T (DVB terrestre).
- DVB-S (DVB satélite).

Con el objetivo de conseguir un mayor aprovechamiento del ancho de banda disponible y, por tanto, un aumento en el número y la calidad de los programas transmitidos en un canal radioeléctrico, se ha desarrollado la segunda generación de estos sistemas (DVB-S2 y DVB-T2), escogiendo como estándar de **codificación MPEG-4**.

La modulación utilizada en cada sistema dependerá del medio de transmisión y, por tanto, será diferente para cada estándar. En la Figura 2.20 se resumen las principales características de cada estándar.

■ ■ 2.6.4. Sistemas digitales de radiodifusión sonora

La **radio digital DAB** (*Digital Audio Broadcasting*) es la evolución natural de la radio FM, que permite la transmisión de señales de radio digital, con el aumento de la calidad que conlleva. La evolución del sistema DAB se denomina **DAB+**.

		Codificación de fuente	Codificación de canal (protección de errores)	Modulación	
Estándar	TV terrestre	DVB T →	MPEG-2	Viterbi + Reed-Solomon	COFDM (4-QAM, 16-QAM , 64-QAM)
		DVB T2 →	MPEG-2/MPEG-4 AVC	LDPC + BCH	COFDM (4-QAM, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM)
	TV satélite	DVB S →	MPEG-2	Viterbi + Reed-Solomon	QPSK
		DVB S2 →	MPEG-2/MPEG-4 AVC	LDPC + BCH	QPSK/8PSK

Figura 2.20. Estándares DVB.



DAB utiliza una compresión basada en el estándar de audio MPEG-1 (capa 2) y MPEG-2 (capa 2), mientras que DAB+ es más eficiente ya que utiliza una codificación denominada ACC+.

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).

2.7. Difusión de los servicios de radio y TV

El **área de cobertura** de las emisiones de radio y TV es la zona de un territorio cubierta por los centros emisores que radian la misma señal.

Las señales radiadas por un centro de emisión dependerán de la **planificación de frecuencias** establecida para cada territorio. Por tanto, los canales radioeléctricos asignados a cada servicio dependerán de cada centro emisor.

2.7.1. PTNTDT

El **Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Terrestre (PTNTDT)** establece la planificación de canales radioeléctricos para las emisiones de cobertura estatal, autonómica y local del servicio de TDT (televisión digital terrestre).

De acuerdo con el actual PTNTDT, en España se utiliza la banda de frecuencias de 470 MHz a 694 MHz (banda IV y parte de la banda V de UHF) que comprende los canales 21 a 48 para la transmisión de la señal de TDT.

El rango de frecuencias comprendido entre 694 y 862 MHz se ha asignado para el despliegue de los servicios de comunicaciones móviles LTE/4G y LTE2/5G, tal y como se muestra en la Figura 2.21.

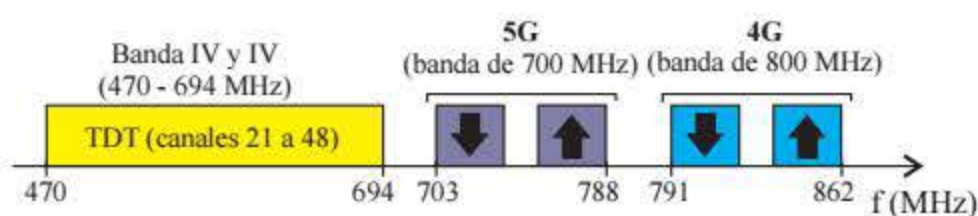


Figura 2.21. Asignación de bandas a las tecnologías 4G y 5G.

2.7.2. Organización de los canales de la TDT

Los **canales de la TDT** se organizan en redes de diferente cobertura:

- **RGE** (red global de cobertura estatal). Canales múltiples digitales de cobertura estatal asignados a RTVE (RGE1, RGE2).
- **MPE** (múltiplex privado de cobertura estatal). Canales múltiples digitales de cobertura estatal que distribuyen la programación de los operadores privados (MPE1, MPE2, MPE3, MPE4 y MPE5).
- **MAUT** (múltiplex autonómico). Este múltiplex integra tanto los canales públicos como los privados de cada comunidad autónoma. Aunque como normal general se distribuye un único múltiplex digital por comunidad autónoma, existen comunidades autónomas con dos múltiplex asignados (MAUT1 y MAUT2).
- **TL** (múltiplex digital local). Estos múltiplex se establecen por demarcaciones de televisión digital local, donde, dependiendo del territorio, puede haber diferentes múltiplex.

La Figura 2.22 muestra un ejemplo de distribución de los canales de TDT en el espectro de radiofrecuencia.

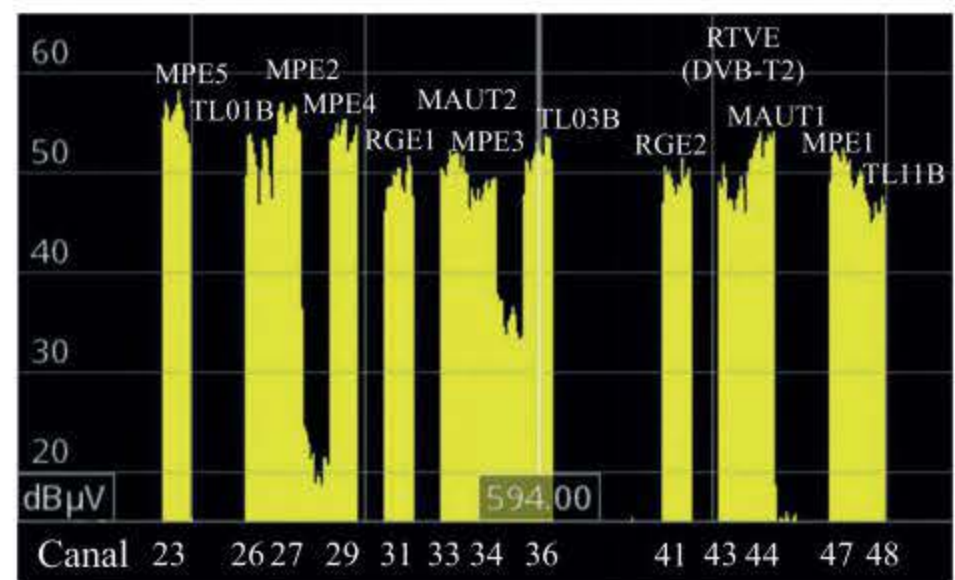


Figura 2.22. Ejemplo de distribución de los canales de TDT.

2.7.3. Dividendo digital

Las señales de las bandas de frecuencias de 700 MHz (694 a 790 MHz) y 800 MHz (790 a 862 MHz) tienen mejores propiedades de propagación y penetración en el interior de edificios que las bandas más altas, utilizadas habitualmente para las comunicaciones móviles inalámbricas.

Por ello, los organismos internacionales especializados en telecomunicaciones han adoptado que las bandas de 700 MHz y 800 MHz puedan ser utilizadas para otros usos diferentes a los de radiodifusión, siendo asignadas para el despliegue de los servicios de nueva generación de telefonía móvil.

El **dividendo digital** es el proceso consistente en dejar libres algunos de los canales de la banda alta de UHF para



que puedan ser utilizados para nuevos servicios de banda ancha, principalmente de telefonía móvil:

- **Primer dividendo digital:** liberación de la banda de frecuencias de 800 MHz (790-862 MHz), que se corresponde con los canales 61 a 66 de UHF, para su asignación a los operadores de telefonía móvil para la prestación de servicios de banda ancha de cuarta generación (4G). Este proceso finalizó en el año 2015.
- **Segundo dividendo digital:** liberación de las frecuencias entre 694 MHz y 790 MHz de la banda de 700 MHz (canales 49 al 60) para su utilización por los servicios de telefonía móvil 5G. Este proceso finalizó en el año 2020.

2.7.4. DAB

La **radio digital terrestre (DAB)** se despliega en los canales 8 a 11 de la banda III de VHF (195-223 MHz).

La Tabla 2.4 muestra la asignación de frecuencias para el servicio DAB en la banda III.

Tabla 2.4. Bloques de frecuencias asignados al servicio DAB

Margen de frecuencias	Canal (bloque)	Frecuencia central
Banda III	8A	195,936
	8B	197,648
	8C	199,360
	8D	201,072
	9A	202,928
	9B	204,640
	9C	206,352
	9D	208,064
	10A	209,936
	10B	211,648
	10C	213,360
	10D	215,072
	11A	216,928
	11B	218,640
	11C	220,352
	11D	222,064

Cada canal radioeléctrico (Figura 2.23) en radio digital DAB 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).

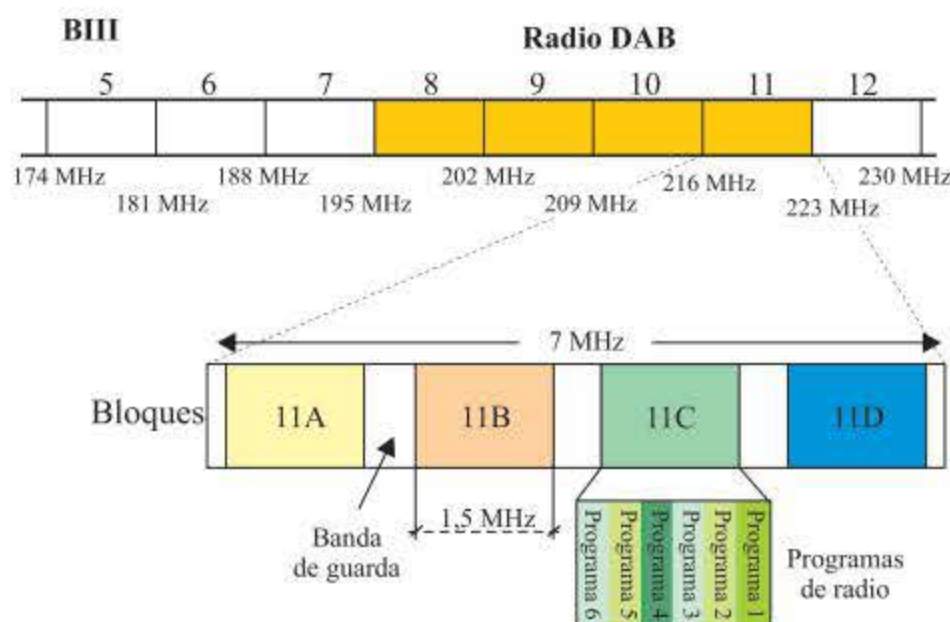


Figura 2.23. Asignación de frecuencias al servicio DAB.

En la Figura 2.24 se muestra un ejemplo de distribución en frecuencia de tres bloques de radio DAB. Cada uno de estos bloques es un canal múltiple que transmite diferentes programas de radio.

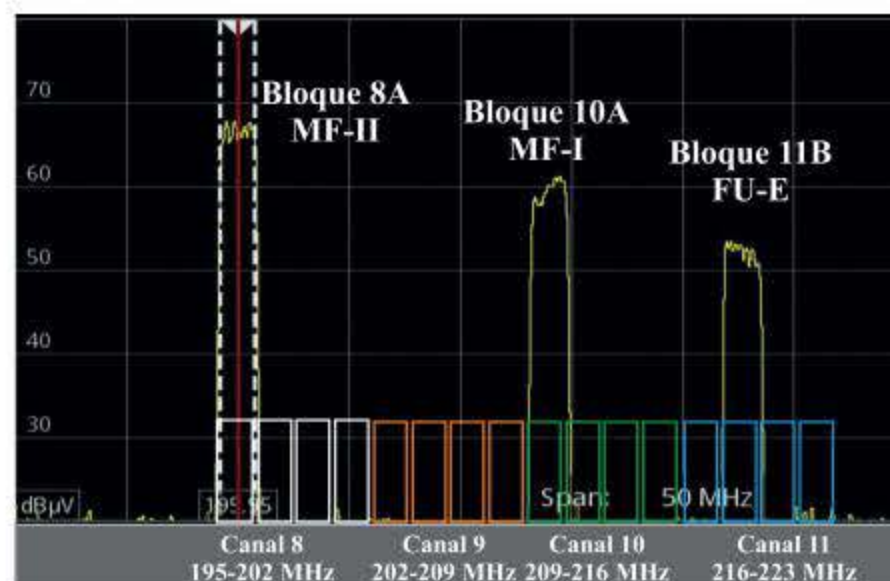


Figura 2.24. Ejemplo de distribución de bloques de radio DAB.

2.7.5. Radio FM

La banda atribuida internacionalmente al servicio de **radio FM** se corresponde con el margen de frecuencias de 87,5 a 108 MHz de la banda de VHF (banda II).

En la Figura 2.25 se muestra un ejemplo de distribución de los diferentes canales de radio FM en la banda asignada.

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.

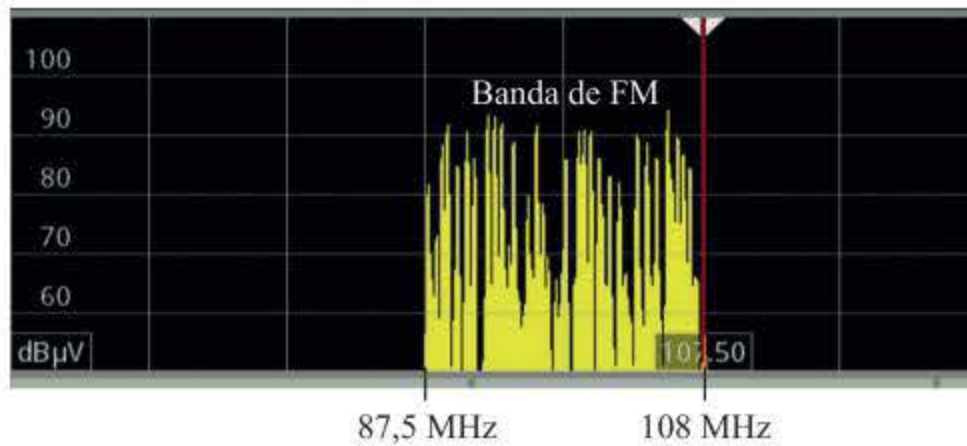


Figura 2.25. Canales en la banda de FM.

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...

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 2.3. Canalización FM

En la Figura 2.26 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.

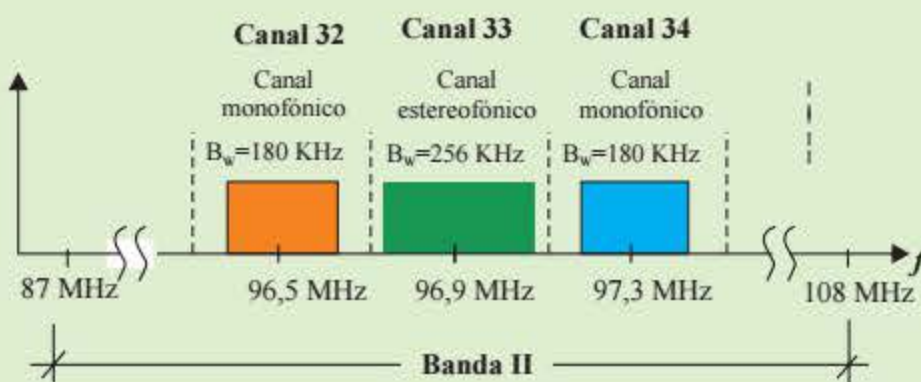


Figura 2.26. Ejemplo de canalización FM.

2.7.6. Radio y TV satélite

Para los servicios de radiodifusión por satélite (Figura 2.27) se utiliza la **banda ku** (12-18 GHz), donde los satélites de comunicaciones actúan como repetidores de la señal (enlace descendente) recibida del centro emisor (enlace ascendente).

En el enlace descendente, el satélite de comunicaciones retransmite a una frecuencia diferente la señal de TV recibida por el enlace ascendente, focalizando la emisión sobre una parte de la superficie de la Tierra (zona de cobertura). Para evitar interferencias, el enlace descendente utiliza la banda de frecuencias de 12 GHz (10,7-12,75 GHz) y el enlace ascendente la banda de 14 GHz (12,75 -14,50 GHz).

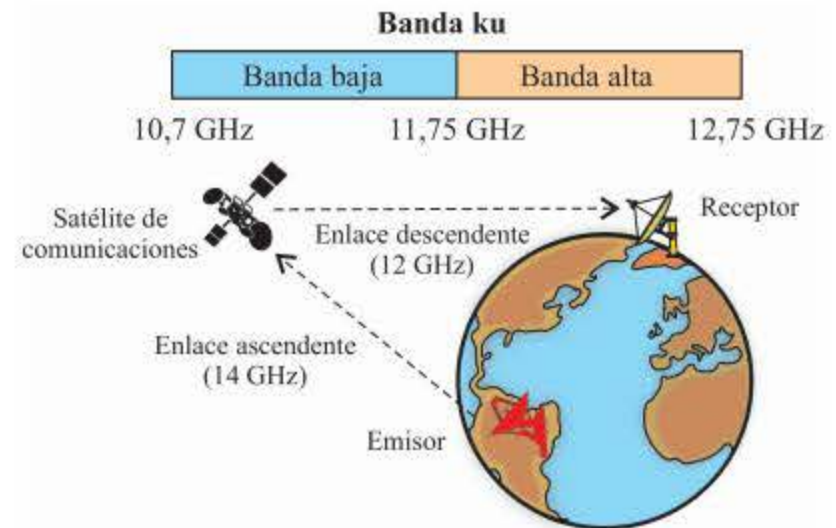


Figura 2.27. Radiodifusión satélite.

En el enlace descendente, dividido en dos bandas diferentes (banda alta y banda baja), se distribuyen los canales de TV digital satélite que recibe el usuario final. En la Figura 2.28 se muestra un ejemplo de distribución de canales de TV digital en la banda alta de un satélite.

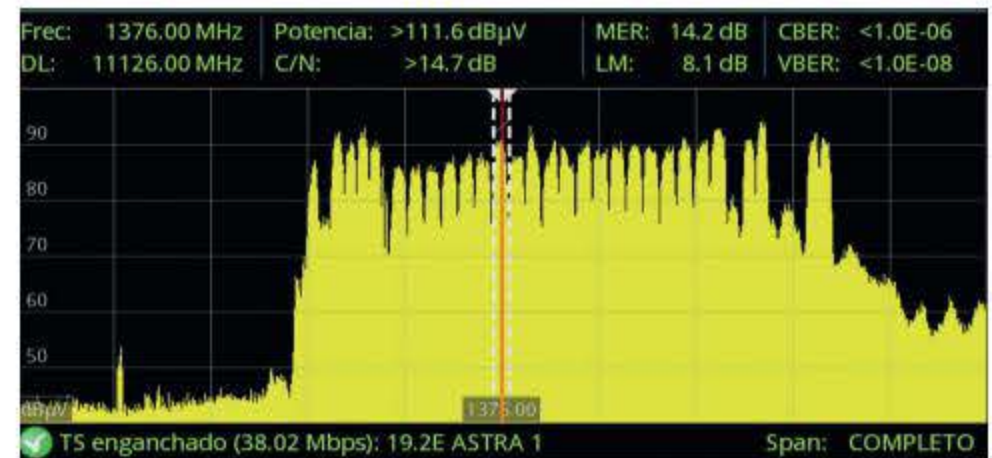


Figura 2.28. Espectro de la banda alta de un satélite.

2.8. 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.



2.8.1. Ganancia

La **ganancia** de un sistema determina la relación entre el valor de una magnitud a la salida del sistema y el nivel o valor a su entrada. En función de las magnitudes que relaciona permite hablar de ganancia de potencia (G_p), ganancia de tensión (G_v) o ganancia de corriente (G_i), tal y como se muestra en la Figura 2.29.

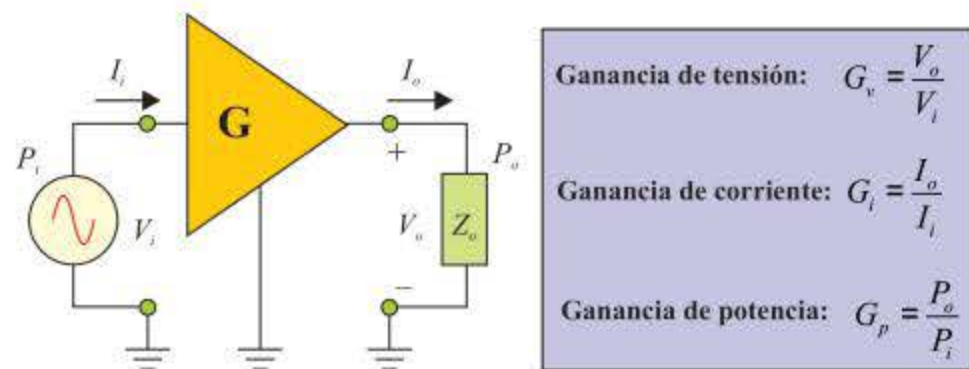


Figura 2.29. Ganancia de un sistema.

2.8.2. Atenuación

La **atenuación** (L) representa la pérdida de nivel (potencia, tensión...) que sufre una señal cuando atraviesa un dispositivo o un medio de transmisión. Por tanto, la atenuación se define como la inversa de la ganancia:

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

Ejemplo 2.4. Cálculo de la ganancia y de la atenuación

La señal de entrada (V_i) de la línea de transmisión de la Figura 2.30 es de 100 mV. Una vez que la señal atraviesa la línea de transmisión (V_o), a la entrada del amplificador, la tensión es de 10 mV. La ganancia de tensión de la línea de transmisión será menor que 1, ya que añade pérdidas:

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

La atenuación indica el factor que la señal de salida se atenúa respecto de la entrada. La línea de transmisión tiene una atenuación de 10:

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

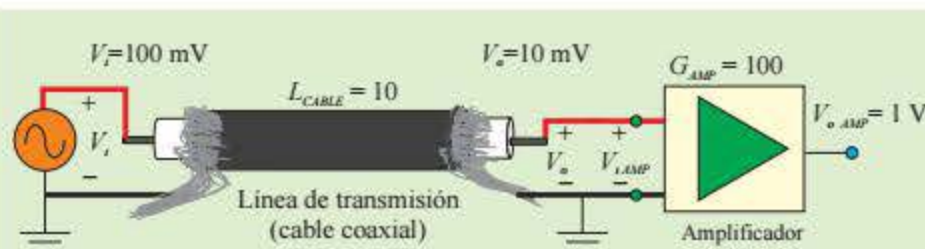


Figura 2.30. Atenuación de un cable coaxial.

La salida de la línea de transmisión se aplica a la entrada de un amplificador (V_{iAMP}). A la salida del amplificador se obtiene un 1 V de señal, es decir, 1000 mV. La ganancia del amplificador es de 100:

$$G_{AMP} = \frac{V_{oAMP}}{V_{iAMP}} = \frac{1000 \text{ mV}}{10 \text{ mV}} = 100$$

2.8.3. El decibelio

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:

$$P(\text{dB}) = 10 \cdot \log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right)$$

donde P es el valor de la magnitud medida, en unidades lineales del Sistema Internacional y P_{ref} es el valor de la magnitud escogida como referencia. Dependiendo de los niveles de referencia tomados, podemos considerar las siguientes unidades de medida:

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

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

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

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

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

$$V(\text{dB} \mu\text{V}) = 20 \log\left(\frac{V(\mu\text{V})}{1 \mu\text{V}}\right) = 20 \log\left(\frac{V(\text{V})}{1 \cdot 10^{-6} \text{ V}}\right)$$



Sabías que...

En telecomunicaciones, al igual que en otras disciplinas, normalmente no se utilizan directamente las magnitudes lineales expresadas en unidades del Sistema Internacional. En su lugar se utilizan los decibelios (dB).



Sabías que...

En ocasiones interesa expresar una magnitud logarítmica en unidades diferentes. La relación entre dBw, dBm y dBμV, cuando se utiliza una impedancia de referencia de 75 Ω, es:

$$\begin{aligned} \text{dBm} &= \text{dBw} + 30 \text{ dB} \\ \text{dB}\mu\text{V} &= \text{dBm} + 108,8 \text{ dB} \\ \text{dB}\mu\text{V} &= \text{dBw} + 138,8 \text{ dB} \end{aligned}$$

■ ■ ■ Ganancia

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:

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

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

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



Recuerda

La ganancia no tiene unidades, es una medida adimensional que se especifica en dB. En cambio, el nivel de señal sí que tiene unidades: cuando la magnitud medida es la tensión se especifica en dBμV.

■ ■ ■ Operación con dB

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):

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

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

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



Recuerda

El decibelio de una magnitud A (A_{dB}) se define como:

$$A(\text{dB}) = 10 \times \log A [\text{potencia}] \text{ o } A(\text{dB}) = 20 \times \log A [\text{tensión}]$$

De la misma forma, se puede expresar una magnitud expresada en dB en unidades lineales (A) utilizando las propiedades de los logaritmos:

$$A = 10^{A(\text{dB})/10} [\text{potencia}] \text{ o } A = 10^{A(\text{dB})/20} [\text{tensión}]$$

Ejemplo 2.5. Operación con dB

Los dos amplificadores de la Figura 2.31 representan el mismo amplificador. En el primero se indican los valores de señal en magnitudes lineales, mientras que en el segundo en dB.

En este ejemplo se muestra la aplicación del cambio de unidades.

Conocidos los valores de señal de entrada en unidades lineales, se puede calcular el nivel de señal de salida a partir de la ganancia:

$$V_o = V_i \times G = 24 \mu\text{V} \times 100 = 2400 \mu\text{V} = 2,4 \text{ mV}$$

Conocida la ganancia en dB, podemos evaluar el nivel de salida en dBμV:

$$V_o(\text{dB}\mu\text{V}) = V_i(\text{dB}\mu\text{V}) + G(\text{dB}) = 27,6 \text{ dB}\mu\text{V} + 40 \text{ dB} = 67,6 \text{ dB}\mu\text{V}$$

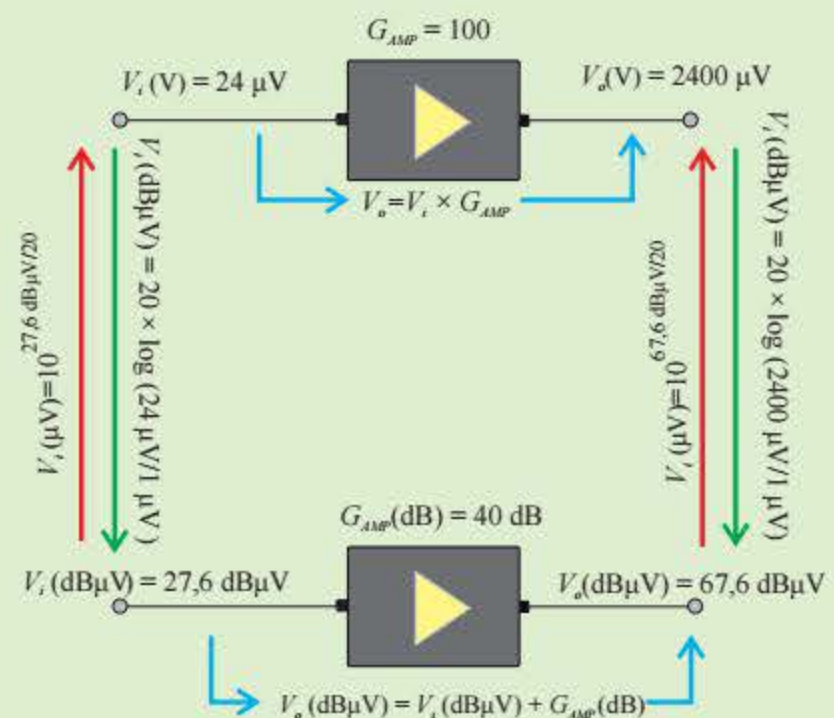


Figura 2.31. Operación con dB.

Conocido el nivel de entrada en μV, podemos calcular el nivel equivalente en dBμV:

$$V_i(\text{dB}\mu\text{V}) = 20 \log [V(\mu\text{V})/1 \mu\text{V}] = 20 \log(24) = 27,6 \text{ dB}\mu\text{V}$$

Conocido el nivel de salida en dBμV, podemos calcular el nivel equivalente en μV:

$$V_o (\mu V) = 10^{V(\text{dB}\mu V)/20} = 10^{67,6 \text{ dB}\mu V/20} = 2399 \mu V$$

De la misma manera, conocida la relación entre los niveles de entrada y de salida se calcula la ganancia:

$$G = \frac{V_o (V)}{V_i (V)} = \frac{2400 \mu V}{24 \mu V} = 100$$

La ganancia en dB:

$$G(\text{dB}) = V_o(\text{dB}\mu V) - V_i(\text{dB}\mu V) = 67,6 \text{ dB}\mu V - 27,6 \text{ dB}\mu V = 40 \text{ dB}$$

2.8.4. Nivel de señal

El principal parámetro que evalúa la calidad de una comunicación es el **nivel de señal** o **potencia**.

En los sistemas de recepción y distribución de la señal de TV la unidad de medida preferida es el dBμV.

Como en las modulaciones digitales la señal se distribuye de manera uniforme en todo el ancho de banda del canal, el nivel de señal en las modulaciones digitales se refiere al valor de la potencia en todo el ancho de banda del canal.

Ejemplo 2.6. Espectro de un canal de TDT

En la Figura 2.32 se 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 y por sus frecuencias superior e inferior.

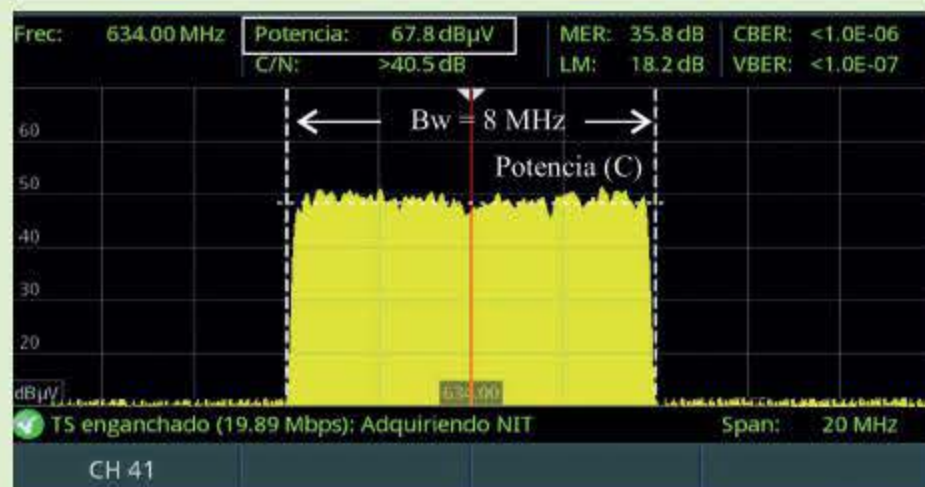


Figura 2.32 Nivel de potencia de un canal digital.

El canal de TV representado es el canal 41, el cual tiene asignado un ancho de banda de canal de 8 MHz.

El nivel de potencia medido en todo el ancho de banda del canal es de 67,8 dBμV.

El margen de frecuencias asignado, según la Tabla 2.3, es de 630 MHz a 638 MHz. La frecuencia central (f_c) del canal es de 634 MHz:

$$f_c = \frac{f_s + f_i}{2} = \frac{630 + 638}{2} = 634 \text{ MHz}$$

2.8.5. 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 2.33).

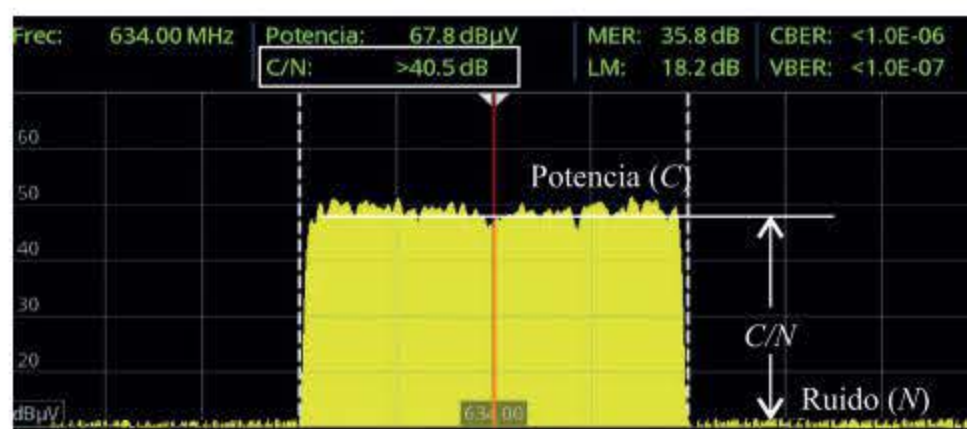


Figura 2.33. Ejemplo de ruido.

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

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.

2.8.6. 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 (C) y la potencia de ruido (N). Expresado en dB:

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

En el ejemplo de la Figura 2.33 la relación C/N medida es de 40,5 dB, es decir, el nivel de potencia de la señal es 40,5 dB superior a la del ruido que la acompaña.



2.8.7. Figura de ruido

Todo elemento utilizado en un sistema introduce ruido. Así, tanto la antena como el cable y los amplificadores introducen ruido que empeoran la calidad de la comunicación, es decir, disminuyen la relación C/N a medida que se propaga por la red.

Para evaluar el ruido que introduce un dispositivo se define la figura de ruido (F).

La **figura de ruido** (F) de un dispositivo, por ejemplo un cable o un amplificador, es la degradación que sufre la relación C/N provocada por el dispositivo, tal y como se muestra en la Figura 2.34:

$$F(\text{dB}) = C/N_i (\text{dB}) - C/N_o (\text{dB})$$

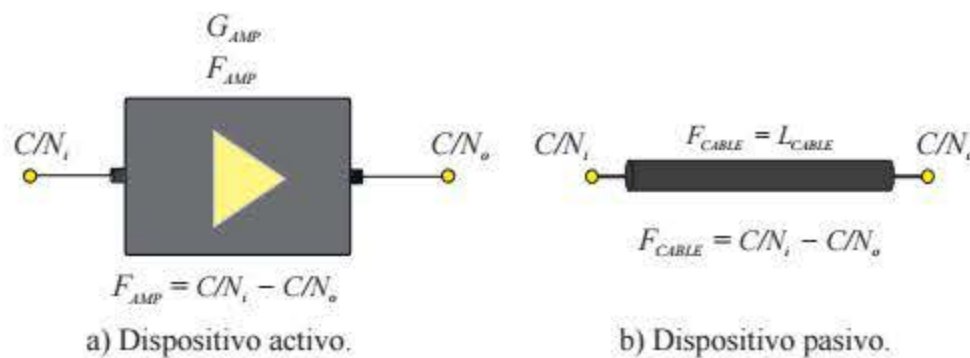


Figura 2.34. Figura de ruido.

La figura de ruido depende del tipo de dispositivo:

- **Dispositivos activos.** El fabricante de los dispositivos activos, tales como amplificadores, siempre suministra la figura de ruido del dispositivo, ya que depende de las características del propio dispositivo.
- **Dispositivos pasivos.** Las redes pasivas, como por ejemplo el cable coaxial, introducen un factor de ruido que depende de su atenuación (L):

$$F(\text{dB}) = L(\text{dB})$$

Ejemplo 2.7. Figura de ruido de un amplificador TDT

En el ejemplo de la Figura 2.35 el fabricante del amplificador especifica una figura de ruido (F_{AMP}) de 9 dB.

Si la relación señal ruido de entrada es de 40 dB, a la salida del amplificador cabe esperar una degradación de la relación señal ruido de 9 dB.

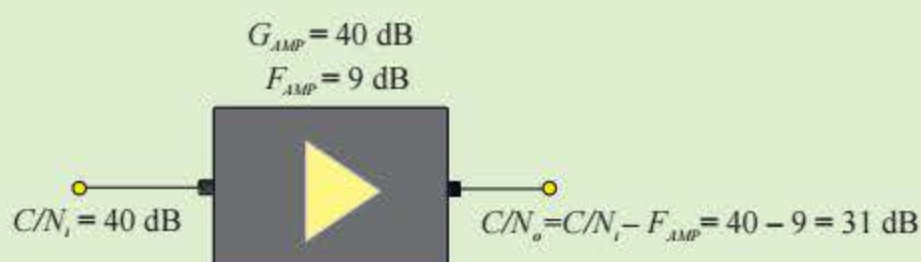


Figura 2.35. Ejemplo de figura de ruido.

2.8.8. Cadena de transmisión

En una cadena de transmisión interesa evaluar el nivel de salida (S_o) y la C/N_o cuando la señal atraviesa todos los dispositivos, a partir de los niveles de entrada.

En la Figura 2.36 se muestra el sistema bajo estudio, que representa la red típica de un sistema de distribución de la señal de TV, formado por las siguientes etapas:

- **Cable de bajada a la antena.** Se caracteriza por su atenuación (L_{CABLE}).
- **Equipo de amplificación.** Formado por dispositivos activos (amplificadores), queda caracterizado por su ganancia (G_{AMP}) y su figura de ruido (F_{AMP}).
- **Red de distribución.** Formada por equipos pasivos (cables, elementos de distribución...) queda caracterizada por su atenuación (L_{RED}).

El punto de entrada del sistema es la salida de la antena, donde se considera el nivel de señal de entrada (S_i) y el nivel de ruido (N_i) asociado.

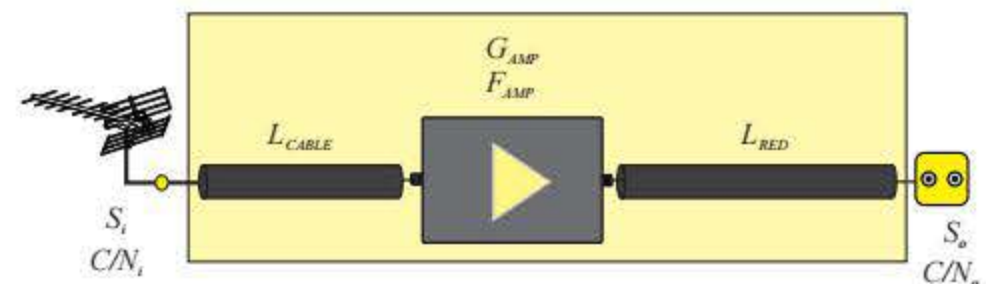


Figura 2.36. Red de distribución de la señal de TV.

Sabías que...

El nivel de ruido a la salida de la antena para un canal de TV digital se considera de 4 dBμV.

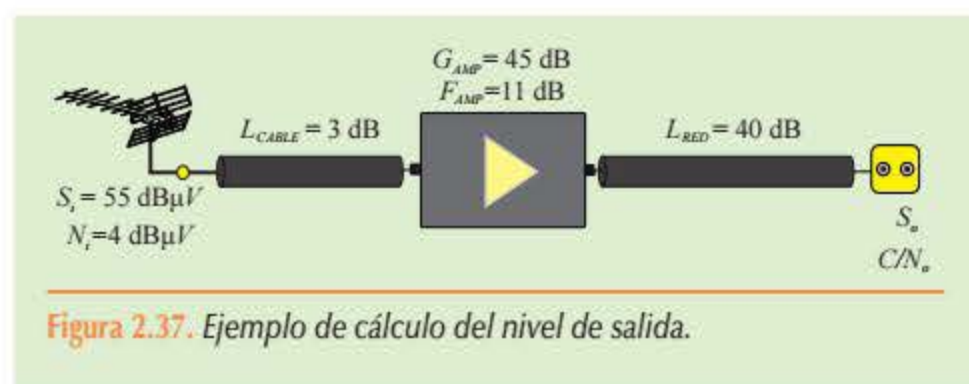
2.8.8.1. Cálculo del nivel de señal de salida

El cálculo del nivel de señal de salida de una cadena de transmisión (diferentes dispositivos conectados en cascada) es sencillo, conocida la ganancia o la atenuación de cada dispositivo y el nivel de señal presente a la entrada.

Ejemplo 2.8. Cálculo del nivel de salida de una cadena de transmisión

Para el ejemplo de la Figura 2.37, el nivel a la salida (S_o) es:

$$S_o = S_i - L_{CABLE} + G_{AMP} - L_{RED} = 55 \text{ dB}\mu\text{V} - 3 \text{ dB} + 45 \text{ dB} - 40 \text{ dB} = 57 \text{ dB}\mu\text{V}$$



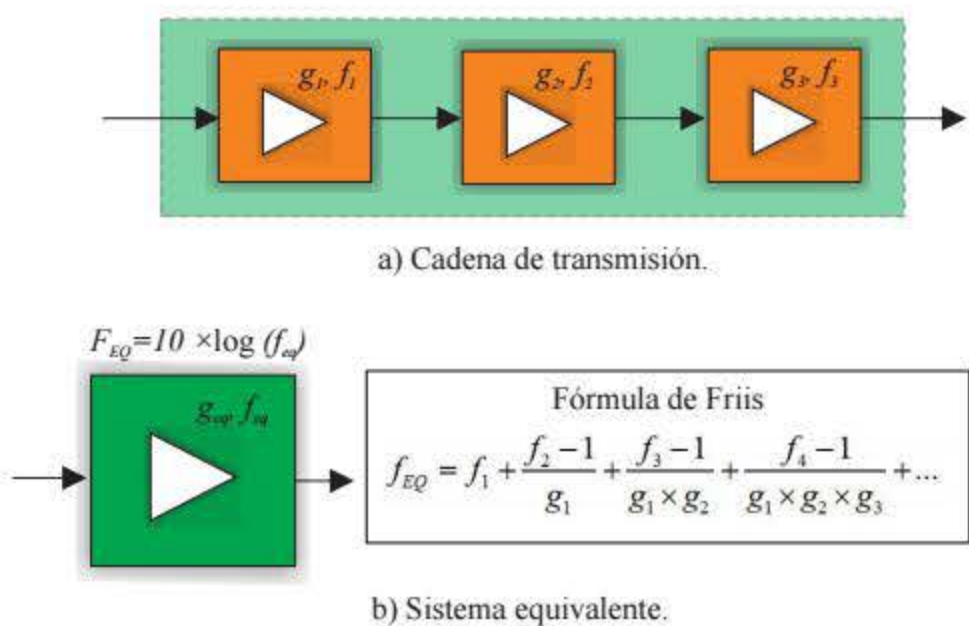
■■■ Cálculo de la relación C/N_o

En una cadena de transmisión, como la que se muestra en la Figura 2.37, el cálculo de la C/N_o a la salida del sistema se complica, ya que cada etapa, además de añadir su propio ruido, amplifica o atenúa las señales presentes a la entrada.

Se puede demostrar que un sistema formado por diferentes etapas (Figura 2.38a) se comporta como una única etapa equivalente en la que se define su figura equivalente de ruido de entrada (F_{EQ}), de manera que es posible evaluar la C/N de salida (C/N_o) a partir de la de entrada (C/N_i):

$$C/N_o = C/N_i - F_{EQ}$$

El cálculo de la F_{EQ} es complejo y se evalúa a partir de la denominada **fórmula de Friis** (Figura 2.38b).



■■■ 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 ($G_{AMP} > L_{RED}$), la figura equivalente de ruido

(F_{EQ}) 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.

Esta aproximación solo es cierta cuando la ganancia del amplificador es mayor que la atenuación de la red de distribución (Figura 2.39).

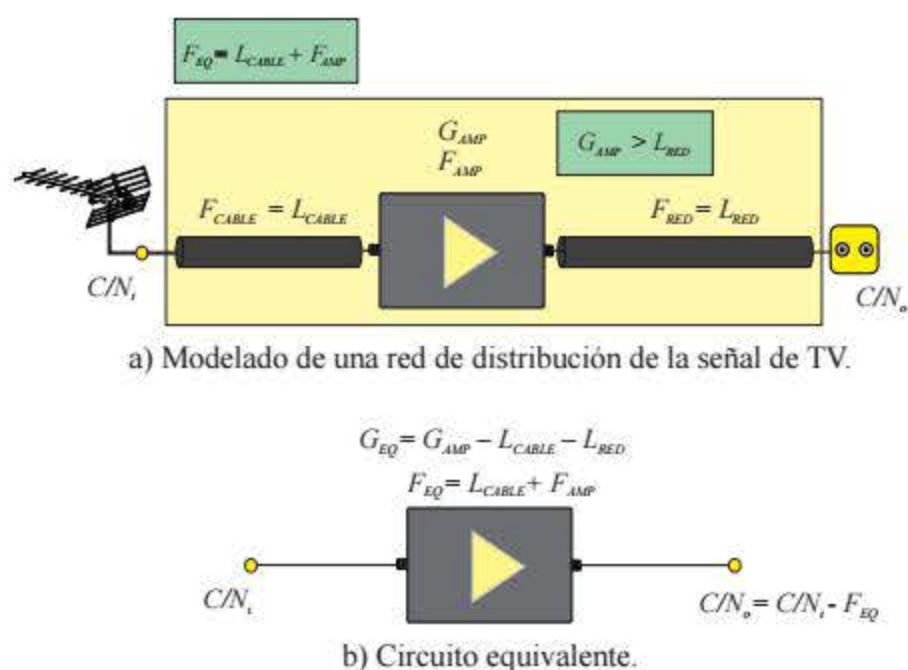


Figura 2.39. Circuito equivalente de una red de distribución de la señal de TV.

En el ejemplo de la Figura 2.37, conocido el nivel de ruido de entrada, se evalúa la relación C/N_i :

$$C/N_i = S_i - N_i = 55 \text{ dB}\mu\text{V} - 4 \text{ dB}\mu\text{V} = 51 \text{ dB}$$

La ganancia del amplificador es suficientemente elevada respecto de la atenuación de la red ($G_{AMP} = 45 \text{ dB} > L_{RED} = 40 \text{ dB}$) por lo que se puede calcular la F_{EQ} sin cometer excesivo error mediante la siguiente aproximación:

$$F_{EQ} = L_{CABLE} + F_{AMP} = 3 \text{ dB} + 11 \text{ dB} = 14 \text{ dB}$$

El cálculo de la C/N de salida (C/N_o) se realiza a partir de la C/N de entrada (C/N_i):

$$C/N_o = C/N_i - F_{EQ} = 51 \text{ dB} - 14 \text{ dB} = 37 \text{ dB}$$

Ejemplo 2.9. Cálculo de la C/N_o de una cadena de transmisión

En el ejemplo de la Figura 2.40 la señal de entrada es de $S_i = 60 \text{ dB}\mu\text{V}$ y la señal de ruido que la acompaña es de $N_i = 4 \text{ dB}\mu\text{V}$.

La relación C/N_i es de 56 dB:

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



Debido a que la ganancia del amplificador es mayor que la atenuación de la red que le sigue, podemos calcular la figura equivalente de ruido (F_{EQ}) aproximada:

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

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

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

Para evaluar el nivel de señal a la salida (S_o):

$$S_o = S_i - L_{CABLE} + G_{AMP} - L_{RED} = 60 \text{ dB}\mu\text{V} - 1,5 \text{ dB} + 40 \text{ dB} - 30 \text{ dB} = 68,5 \text{ dB}\mu\text{V}$$

O de manera equivalente:

$$S_o = S_i + G_{EQ} = 60 \text{ dB}\mu\text{V} + 8,5 \text{ dB} = 68,5 \text{ dB}\mu\text{V}$$

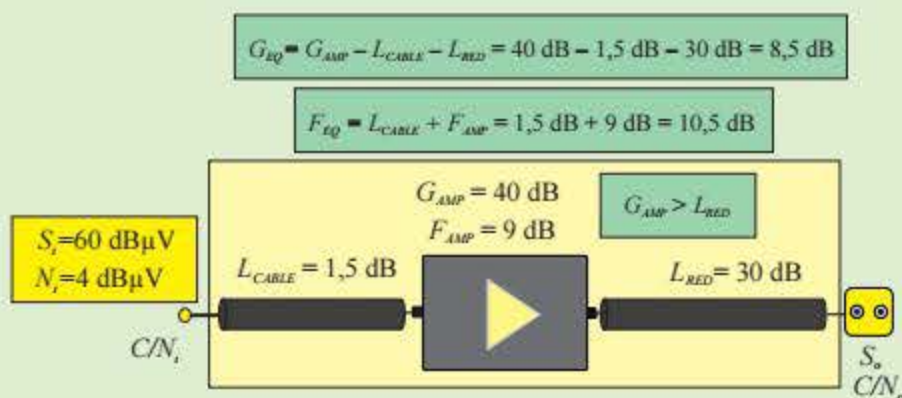


Figura 2.40. Ejemplo.

A diferencia de los sistemas analógicos, en los cuales se puede evaluar de manera subjetiva la calidad de la señal recibida a partir de la imagen visualizada (Figura 2.41), 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 2.42a) y posteriormente desaparece de la pantalla (Figura 2.42b).

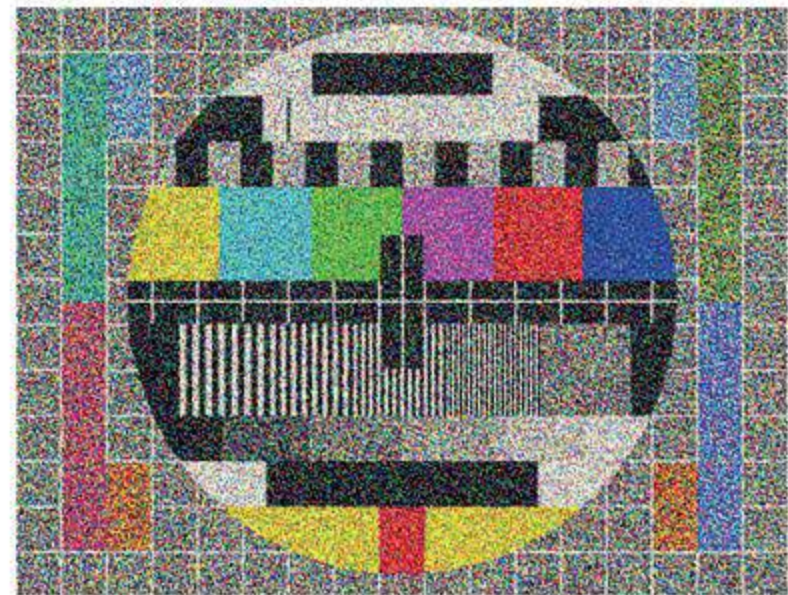


Figura 2.41. Imagen analógica con ruido.

2.8.9. Otras medidas de la calidad de una comunicación

La Tabla 2.5 muestra una comparación entre las diferentes medidas que permiten evaluar la calidad de 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 .



a) Imagen pixelada.



b) Falta de imagen.

Figura 2.42. Imagen digital de baja calidad.

Por ello, las medidas más utilizadas para evaluar la calidad de una comunicación digital están basadas en la **tasa de bits erróneos** o **BER (Bit Error Rate)** recibidos. Los algoritmos correctores de errores utilizados en la transmisión se aplican en el receptor antes del decodificador. Por tanto, cada vez que se aplica una corrección de errores, la tasa de

Tabla 2.5. Evaluación de la calidad de la señal de TV

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



errores varía, siendo necesario definir en qué punto de la cadena de recepción se debe realizar esta medida.



Recuerda

Una BER de $1 \cdot 10^{-10}$ indica que se produce un error en un bit cada 10^{10} bits.

La medida de la tasa de bits erróneos (BER) se realiza después de las dos protecciones contra errores (Viterbi y Reed-Solomon) si las hay. Pero este parámetro también se puede evaluar en otros puntos de la decodificación de la señal:

- **CBER** (*Channel BER*): cuantifica el número de bits erróneos antes de aplicar las correcciones de los errores, es decir, a la salida del demodulador.
- **VBER** (*Viterbi BER*): mide tasa de errores después de Viterbi (si lo hay) y antes de Reed-Solomon.



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 decodificador será incapaz de mostrar la imagen en pantalla.

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. El análisis de la constelación (Figura 2.43) permite analizar de manera subjetiva el ruido que acompaña a cada uno de los símbolos recibidos. En una constelación con mucho ruido 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*).

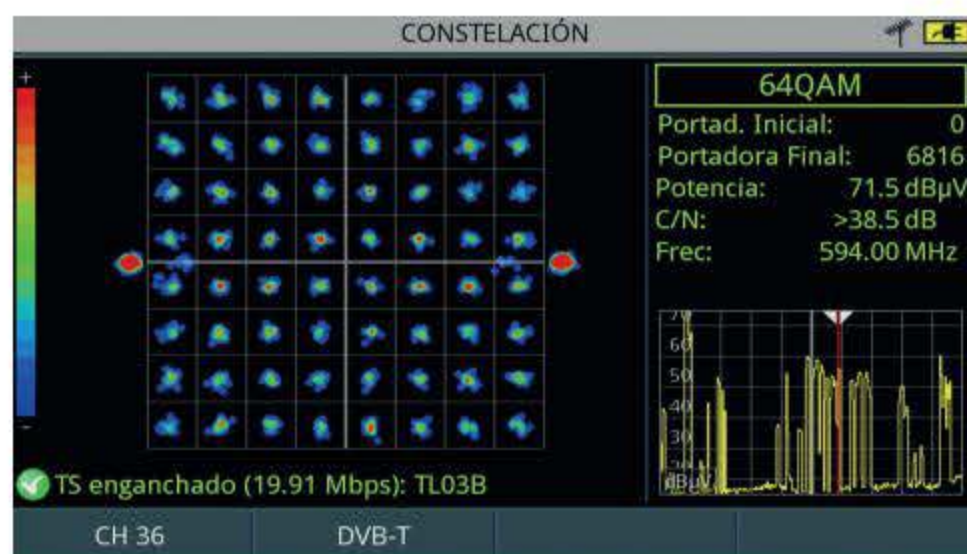


Figura 2.43. Constelación de una modulación digital.

El valor **MER** (*Modulation Error Rate*) 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.

Las **modulaciones** adecuan la señal de información que se desea transmitir al medio de transmisión utilizado y permiten transmitir una información del mismo tipo por un único canal de comunicación, sin que se produzcan superposiciones ni interferencias. Esto se debe a que durante la modulación se pueden asignar frecuencias diferentes a cada comunicación.

Las modulaciones pueden ser **digitales** o **analógicas**. Ambos tipos de modulaciones son **modulaciones de onda continua**, ya que se realizan variando uno de los parámetros de la señal portadora, generalmente de carácter sinusoidal, en función de la señal de información (señal moduladora).

Las **modulaciones analógicas** pueden ser de amplitud (AM), de frecuencia (FM) o de fase (PM).

Las **modulaciones digitales** básicas son de amplitud (ASK, *Amplitude Shift Keying*), de frecuencia (FSK, *Frequency Shift Keying*) o de fase (PSK, *Phase Shift Keying*).

Las **modulaciones digitales multinivel** utilizan símbolos en lugar de bits durante la modulación. Las modulaciones multinivel más utilizadas en la transmisión de la señal de TV se denominan QPSK, N-QAM y N-PSK.

Los **sistemas de radiodifusión** se clasifican en función del medio de transmisión utilizado: sistemas de transmisión terrestres o en sistemas de transmisión vía satélite.

Las principales bandas utilizadas en los sistemas de radiodifusión son la banda II de VHF (87,5-108 MHz) asignada al servicio de **radio FM**, la banda III de VHF (195-223 MHz) asignada al servicio de **radiodifusión sonora digital terrenal** (DAB), la banda de UHF (470-694 MHz) asignada al **servicio de difusión de televisión digital terrestre** y la banda ku (10,7-12,75 GHz) asignada al **servicio de radiodifusión satélite**, tanto de TV como de radio.

La banda alta de UHF (694 a 862 MHz), tradicionalmente asignada al servicio de radiodifusión de televisión digital terrestre, se ha liberado (dividendo digital) para asignarla a nuevos servicios de comunicaciones de telefonía móvil 4G (banda de 800 MHz) y 5G (banda de 700 MHz).

La transmisión digital necesita una **codificación de fuente** para la compresión de la señal de vídeo y audio y una **codificación de canal** con los métodos de codificación necesarios para proporcionar mecanismos de corrección de errores a la que se debe someter a la señal antes de la modulación.

La codificación de fuente se realiza a partir del **estándar MPEG-2** o **MPEG-4**.

La codificación de canal se realiza a partir del estándar DVB, que establece diferentes técnicas en función del medio de transmisión utilizado: DVB-satélite (DVB-S) y DVB-terrestre (DVB-T). Actualmente está en despliegue la segunda generación de estos sistemas (DVB-S2 y DVB-T2).

Durante la codificación de canal se protege el flujo de bits transmitido mediante **códigos de protección de errores** (codificación Reed-Solomon y codificación de Viterbi).

Para cuantificar el nivel de señal en un punto de la instalación se utilizan unidades logarítmicas como el decibelio (dB): dB μ V, dBw y dBm.

Para evaluar la **calidad de la señal** se utilizan diferentes parámetros: nivel de señal, relación C/N , BER (*Bit Error Rate*), VBER y MER.



Actividades de comprobación

- 2.1.** ¿Cuál de las siguientes modulaciones no modifica la amplitud de la señal portadora?
- QPSK.
 - AM.
 - 16-QAM.
 - 64-QAM.
- 2.2.** ¿Cuántos bits tiene cada uno de los símbolos utilizados en la modulación QPSK?
- 1.
 - 2.
 - 3.
 - 4.
- 2.3.** ¿En qué banda de frecuencias se ha introducido la tecnología móvil 5G?
- 600 MHz.
 - 700 MHz.
 - 800 MHz.
 - Ninguna de las respuestas anteriores es correcta.
- 2.4.** ¿En cuál de las siguientes modulaciones la velocidad de transmisión que se puede conseguir es mayor?
- QPSK.
 - 4-QAM.
 - 64-QAM.
 - ASK.
- 2.5.** ¿Cuál de las siguientes modulaciones no es analógica?
- AM.
 - FM.
 - PM.
 - QPSK.
- 2.6.** ¿Cuántos símbolos diferentes y cuántos bits por símbolo se transmiten en una modulación del tipo 16-QAM?
- 16 símbolos diferentes y 4 bits por símbolo.
 - 4 símbolos diferentes y 16 bits por símbolo.
 - 65 536 símbolos diferentes y 16 bits por símbolo.
 - 256 símbolos diferentes y 4 bits por símbolo.
- 2.7.** En una red de distribución de la señal de TV, el cable de bajada de la antena al amplificador tiene una atenuación de 2 dB. ¿Qué figura de ruido (F_{CABLE}) tiene este cable?
- 0 dB.
 - 2 dB.
 - 4 dB.
 - Depende del amplificador.
- 2.8.** El nivel de señal a la salida de una antena es de 80 dB μ V. ¿Cuál es su nivel de señal expresado en μ V?
- 28,8 μ V.
 - 10 μ V.
 - 100 μ V.
 - 1000 μ V.
- 2.9.** ¿Qué ganancia, expresada en dB, tiene una antena omnidireccional ($G=1$)?
- 1 dB.
 - 0 dB.
 - $-\infty$ dB.
 - $+\infty$ dB.
- 2.10.** ¿Qué nivel de señal, expresado en dB μ V, se asocia a un punto donde hay ausencia de señal ($V = 0$ V)?
- 1 dB μ V.
 - 0 dB μ V.
 - $-\infty$ dB μ V.
 - $+\infty$ dB μ V.
- 2.11.** ¿Qué ancho de banda ocupa un canal de TV digital terrestre (TDT)?
- 6 MHz.
 - 8 MHz.
 - 27 MHz.
 - 32 MHz.
- 2.12.** ¿Qué estándar de compresión utiliza el estándar DVB de primera generación?
- MPEG-1.
 - MPEG-2.
 - MPEG-3.
 - MPEG-4.

- 2.13.** ¿Cuántos programas se transmiten típicamente en un canal de TDT?
- 1.
 - 2.
 - 4.
 - 12.
- 2.14.** ¿Cuántas subportadoras por canal utiliza la técnica COFDM utilizada en la TDT?
- 2K (1705).
 - 4K (3410).
 - 8K (6817).
 - 10K (8918).
- 2.15.** ¿Qué técnica de modulación se utiliza en la TDT?
- COFDM.
 - QPSK.
 - 8-PSK.
 - PSK.
- 2.16.** ¿Qué banda de frecuencias se utiliza para la difusión de la señal de TV satélite?
- Banda II.
 - Banda III.
 - Banda IV.
 - Banda ku.
- 2.17.** ¿En qué banda está situado un canal de TV con frecuencia central de 562 MHz?
- Banda II.
 - Banda III.
 - Banda IV.
 - Banda V.
- 2.18.** ¿Qué banda de frecuencias tiene asignado actualmente el servicio de difusión de la televisión terrestre digital (TDT)?
- 470-694 MHz.
 - 470-830 MHz.
 - 470-862 MHz.
 - Ninguna de las respuestas anteriores es correcta.
- 2.19.** ¿Cuál de las siguientes modulaciones se utiliza en TV digital satélite?
- QPSK.
 - FM.
 - AM.
 - 16-QAM.
- 2.20.** ¿Qué nombre recibe la radio digital terrestre?
- TDT.
 - DVB.
 - DAB.
 - FM.
- 2.21.** ¿Qué nombre reciben los canales múltiples digitales de TDT de cobertura estatal asignados a RTVE?
- RGE.
 - MPE.
 - MAUT.
 - TL.



Actividades de aplicación

- 2.1. Planificación de los canales recibidos en el lugar de emplazamiento de la antena.** Para el diseño de la red de distribución de la señal de TV es necesario conocer las señales que se reciben en el lugar del emplazamiento de la antena, teniendo en cuenta que en general la orientación de la antena se realiza al repetidor de señal más cercano que quede libre de obstáculos. Busca la información de las señales de TV digital terrestre que se reciben en tu ciudad de residencia. Para ello realiza los pasos siguientes:
- Busca en la red el repetidor que da cobertura a tu zona de residencia y los canales que retransmite.

- b) Completa la Tabla 2.6 indicando el canal de radiofrecuencia donde transmite cada múltiplex digital y las frecuencias que definen el canal. Para cada múltiplex indica los programas que emite.

Tabla 2.6. Canales recibidos en el lugar de instalación de las antenas

Múltiplex	Programas	Canal	Frecuencia inferior	Frecuencia superior	Frecuencia central
RGE1					
RGE2					
MP1					
MP2					
MP3					
MP4					
MP5					
MAUT					
TL					



Actividades de ampliación

- 2.1. Explica brevemente qué es la modulación y justifica por qué es necesario utilizarla en las comunicaciones.
- 2.2. Realiza un esquema que clasifique los diferentes tipos de modulación estudiados.
- 2.3. ¿Por qué las modulaciones estudiadas, tanto analógicas como digitales, se denominan de onda continua?
- 2.4. ¿Qué ventajas presentan las modulaciones digitales multinivel respecto de las modulaciones digitales convencionales? ¿Y las desventajas?
- 2.5. La Figura 2.44 muestra constelaciones de diferentes modulaciones digitales. Indica el nombre que recibe cada modulación, el número de símbolos que utiliza y el número de bits que forman cada uno de los símbolos.

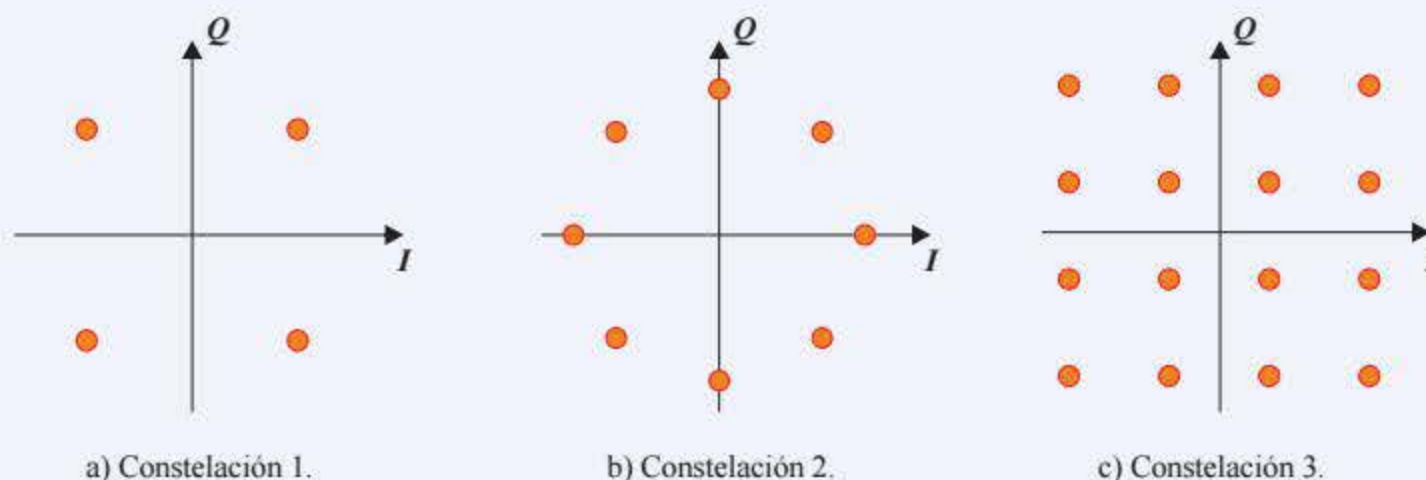


Figura 2.44. Constelaciones de diferentes modulaciones digitales.

- 2.6. ¿Qué es la codificación de vídeo MPEG? ¿Dónde se utiliza?

- 2.7.** Respecto del servicio de radio digital terrestre (DAB):
- ¿En qué banda se distribuye?
 - ¿Qué nombre recibe un canal radioeléctrico?
- 2.8.** Indica los principales parámetros de transmisión (f_i , f_c , f_s , Bw canal) de un canal de TV digital situado en el canal 27 de la banda de UHF.
- 2.9.** Realiza un cambio de unidades de medida, según el caso, en dB μ V o μ V:
- 20 μ V.
 - 20 mV.
 - 47 dB μ V.
 - 70 dB μ V.
- 2.10.** Resume el objetivo de la codificación de fuente y la codificación de canal a la que se somete un canal digital de TV.
- 2.11.** Analiza el espectro de una de las bandas que se distribuyen en el servicio de radiodifusión por satélite, como por ejemplo la que se muestra en la Figura 2.28, y realiza una estimación del número de canales que se distribuyen en cada banda.
- 2.12.** La modulación utilizada en cada medio de transmisión es diferente para adaptarse a las características típicas de cada uno de ellos. Justifica a partir de la Figura 2.45 las características que condicionan la elección del tipo de modulación para cada sistema de TV y la modulación utilizada.

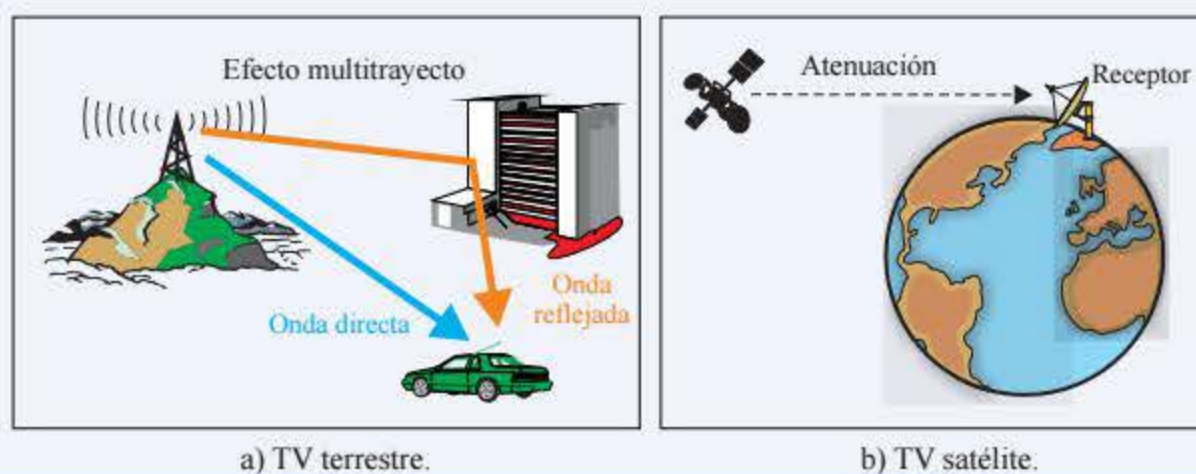


Figura 2.45. Características de los diferentes medios de transmisión.

- 2.13.** ¿Qué es el dividendo digital? ¿Para qué servicios se utiliza?
- 2.14.** ¿Qué indica el BER en la medida de la calidad de la señal de TV digital? Indica diferentes maneras de medir el BER.
- 2.15.** Indica el medio de transmisión y la modulación utilizada en cada uno de los sistemas de transmisión siguientes:
- DVB-S.
 - DVB-S2.
 - DVB-T.
 - DVB-T2.
- 2.16.** ¿Por qué crees que no es posible evaluar la calidad de la señal digital recibida en una instalación a través de la imagen visualizada en el receptor de TV?
- 2.17.** Indica los principales parámetros que permiten evaluar la calidad de una comunicación.

- 2.18.** En la Figura 2.46 se muestra el espectro de la banda de radiodifusión terrestre. Indica qué servicios de radiodifusión se distribuyen en cada banda.

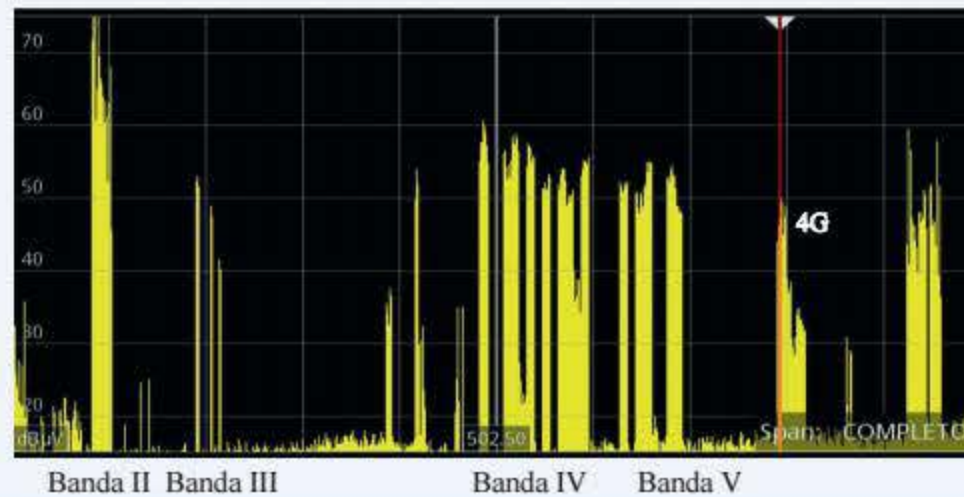


Figura 2.46. Espectro de la banda de radiodifusión terrestre.

- 2.19.** La Figura 2.47 muestra el esquema simplificado de diferentes redes de distribución de la señal de TV. A partir de la aproximación $F_{EQ} = L_{CABLE} + F_{AMP}$ cuando sea posible, calcula para cada una de las instalaciones:

- Nivel de señal de salida (S_o).
- C/N_i .
- F_{EQ} .
- C/N_o .

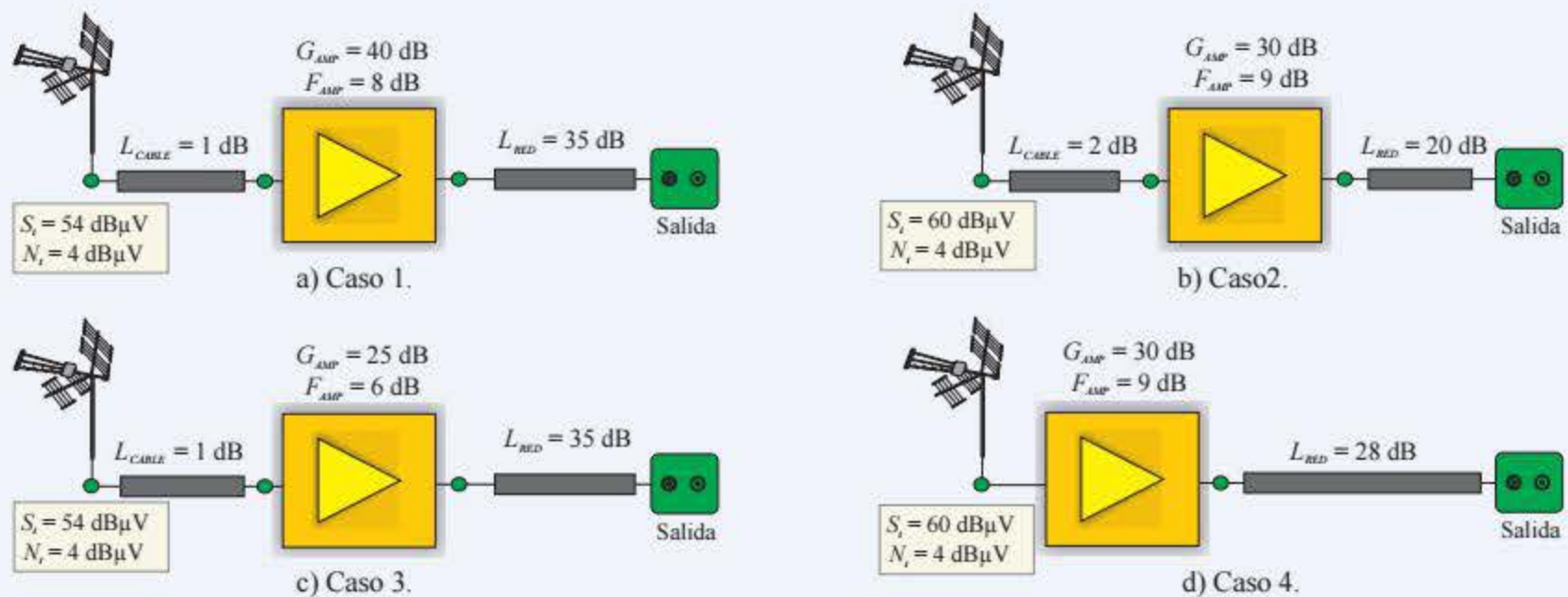


Figura 2.47. Redes de distribución de la señal de TV.