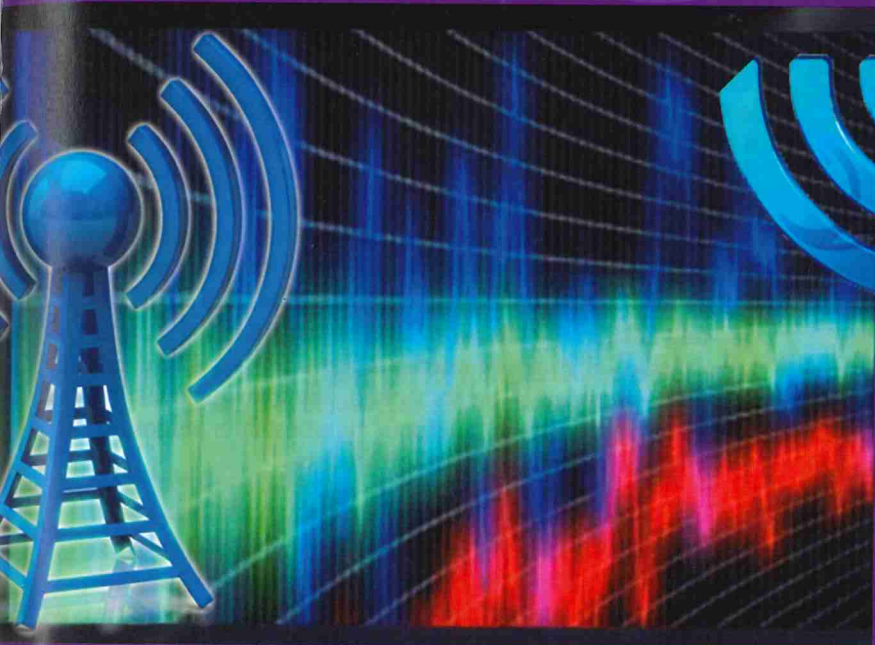


Introducción a los sistemas de radiocomunicaciones



La radiocomunicación es una forma de telecomunicación que se realiza a través de ondas de radio u ondas hertzianas, que a su vez está caracterizada por el movimiento de los campos eléctricos y magnéticos. La comunicación vía radio se realiza a través del espectro radioeléctrico cuyas propiedades son diversas dependiendo de sus bandas de frecuencia. Así, tenemos bandas conocidas como baja frecuencia, media frecuencia, alta frecuencia, muy alta frecuencia, ultra alta frecuencia, etc.

Uno de los usos de la radiofrecuencia más importantes son las radiocomunicaciones. Aunque se emplea la palabra radio, las transmisiones de televisión, radio, radar y telefonía móvil están incluidas en esta clase de emisiones de radiofrecuencia. Otros usos son audio, vídeo, radionavegación, servicios de emergencia y transmisión de datos por radio digital; tanto en el ámbito civil como militar. También son usadas por los radioaficionados.

1

Contenidos

- 1.1. Introducción a los sistemas de telecomunicación
- 1.2. Características de las señales
- 1.3. Espectro radioeléctrico
- 1.4. Cuadro nacional de atribución de frecuencias (CNAF)
- 1.5. Clasificación de diferentes sistemas y servicios de radiocomunicaciones
- 1.6. Transmisión punto a punto y punto a multipunto
- 1.7. Reglamentación y estándares

Objetivos

- Conocer los sistemas de transmisión para radio y televisión.
- Saber cuáles son los modos de transmisión. Transmisión simplex, semidúplex, dúplex.
- Distinguir la transmisión punto a punto y la transmisión punto a multipunto.
- Conocer la utilidad del espectro, sus bandas y servicios de radiodifusión.
- Identificar la asignación nacional de frecuencias.
- Saber cuáles son los organismos reguladores y la legislación vigente.

1.1. Introducción a los sistemas de telecomunicación

La finalidad de un sistema de telecomunicaciones es la transmisión. La **transmisión** es el proceso de enviar y transportar información de un punto (fuente) hasta otro punto (destino) a través de un canal o medio de transmisión.



Figura 1.1. Sistema de telecomunicación.

Los elementos básicos de un **sistema de telecomunicación** son: los elementos de recogida de información ($S_f(t)$) y entrega de información ($S_r(t)$), es decir la fuente y el destino (terminales), y la red de telecomunicaciones, constituida esta última por un conjunto organizado de recursos físicos y lógicos como:

- **Medios de transmisión:** propagación electromagnética de señales.
- **Protocolo:** reglas que ordenan la transmisión.
- **Interfaces:** puntos de referencia entre entidades funcionales.
- **Señalización:** señales que permiten ordenar la transmisión.

El concepto de **telecomunicaciones** puede definirse, en términos generales, como el conjunto de recursos en espectro, espacio, tiempo y equipos, necesarios para realizar una comunicación. En su forma más general, se reduce a un transmisor, un receptor y un medio de transporte de la energía electromagnética, como se ilustra en la Figura 1.2:

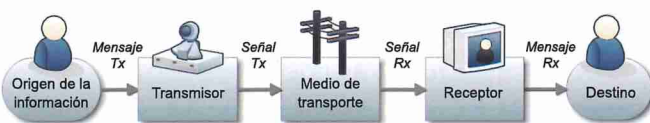


Figura 1.2. Concepto de telecomunicaciones.

- **Transmisor.** Su función es acondicionar las señales de información en ancho de banda y potencia para entregarlas al medio de transporte.
- **Receptor.** Su función es capturar las señales en el medio de transporte, amplificarlas y acondicionarlas a fin de que resulten inteligibles al usuario final, bien sea este una persona, un animal, una máquina, etc.

- **Medio de transporte.** Puede ser el vacío, el aire, un cable, el agua u otro medio material. La mayoría de las comunicaciones eléctricas emplean como medio de transporte el aire, los cables metálicos o la fibra óptica.

Igualmente se definen:

- **Radio.** Término general que se aplica al empleo de las ondas radioeléctricas.
- **Ondas radioeléctricas u ondas hertzianas.** Ondas electromagnéticas, cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3000 GHz, que se propagan por el espacio sin guía artificial.
- **Radiocomunicación.** Toda telecomunicación transmitida por ondas radioeléctricas.

Así pues, la **radiocomunicación** es una forma de telecomunicación que se realiza a través de ondas de radio u ondas hertzianas, que a su vez está caracterizada por el movimiento de los campos eléctricos y magnéticos. La comunicación vía radio se realiza a través del espectro radioeléctrico cuyas propiedades son diversas dependiendo de sus bandas de frecuencia. Así tenemos bandas conocidas como baja frecuencia, media frecuencia, alta frecuencia, muy alta frecuencia, ultra alta frecuencia, etc. En cada una de ellas, el comportamiento de las ondas es diferente. Aunque se emplea la palabra radio, las transmisiones de televisión, radio, radar y telefonía móvil están incluidos en esta clase de emisiones de radiofrecuencia.

En el **canal de radio**, la energía electromagnética generada en el transmisor es radiada al medio de transmisión y transportada hasta el receptor, sin conexión física entre este y el transmisor. La radiodifusión sonora, la televisión y la telefonía móvil son los ejemplos más comunes de canales de radio. La estructura general del canal de radio se ilustra en la Figura 1.3 y comprende desde la salida del transmisor a la entrada del receptor, incluyendo las respectivas líneas de transmisión y antenas. La porción del canal de radio que comprende solo el medio de transporte, es decir, el vacío, el aire u otro medio material en el que se propaga la energía electromagnética, suele designarse como **canal de propagación** en cuyo caso no se incluyen ni las antenas ni las líneas de transmisión.

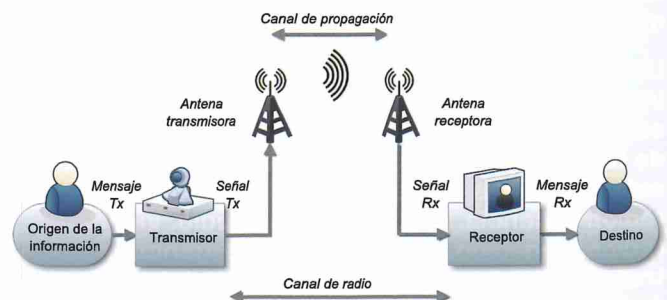


Figura 1.3. Canal de radio y canal de propagación.

En el mundo de la radiocomunicación podemos distinguir entre:

- **Radiocomunicación terrenal.** Toda radiocomunicación distinta de la radiocomunicación espacial o de la radioastronomía.
- **Radiocomunicación espacial.** Toda radiocomunicación que utilice una o varias estaciones espaciales, uno o varios satélites reflectores u otros objetos situados en el espacio.
- **Radiodeterminación.** Determinación de la posición, velocidad u otras características de un objeto, u obtención de información relativa a estos parámetros, mediante las propiedades de propagación de las ondas radioeléctricas.
 - *Radionavegación.* Radiodeterminación utilizada para fines de navegación, inclusive para señalar la presencia de obstáculos.
 - *Radiolocalización.* Radiodeterminación utilizada para fines distintos de los de radionavegación.
 - *Radiogoniometría.* Radiodeterminación que utiliza la recepción de ondas radioeléctricas para determinar la dirección de una estación o de un objeto.
- **Radioastronomía.** Astronomía basada en la recepción de ondas radioeléctricas de origen cósmico.

Sabías que...

La Unión Europea espera que el sistema de navegación Galileo esté plenamente operativo antes de 2020, con una constelación de 30 satélites. Este Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), ofrecerá un servicio abierto de acceso gratuito para el posicionamiento, navegación y temporalización.



http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Galileo/What_is_Galileo



Figura 1.4. Satélites ofreciendo el servicio GNSS.



En los recursos digitales disponibles en www.paraninfo.es se ha incorporado una hoja informativa del programa de Europa para un sistema global de la navegación de satélite, Galileo.

Así, solamente la radiocomunicación terrenal y la radiocomunicación espacial caracterizan los sistemas de transmisión para radio y televisión con fines de distribución, es decir, la transmisión cuyo objeto es poner las señales de radio y televisión al alcance del público en general.

Para la mayoría de los fines prácticos asociados con el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), incluidos los sistemas de transmisión para radio y televisión, el Tiempo Universal Coordinado (UTC) es la escala de tiempo basada en el **segundo** (SI), definida en la Recomendación UIT-R TF.460-6. El UTC es equivalente a la hora solar media en el meridiano origen (0° de longitud), anteriormente expresada en GMT.

En principio, para caracterizar los sistemas de transmisión para radio y televisión correctamente se debe tener claro las características de las señales fundamentales que se han de transmitir como información.

1.2. Características de las señales

En los sistemas de telecomunicación es usual la representación en el dominio de frecuencia, ya que esta proporciona información sobre el ancho de banda en que está contenida la energía de la señal. En general, cuando aquí se habla del dominio de frecuencia, se entiende por él la transformada de Fourier de la función que describe a la señal en el dominio del tiempo. En la Figura 1.5 observamos la transformada de Fourier de tres señales: la primera es continua con $f = 0$ Hz y el dominio de frecuencia nos la sitúa en dicha posición, la segunda onda de 8 ciclos/s indica efectivamente que la onda está en los 8 Hz y la tercera de 16 ciclos/s la sitúa a 16 Hz.

Sabías que...

La información que viaja por los sistemas de radiocomunicaciones está constituida por un conjunto de señales con unas características determinadas.



En los recursos digitales disponibles en www.paraninfo.es se incorpora un documento sobre «Características de la señales en el tiempo».

Sabías que...

Las series y transformadas de Fourier fundamentan la representación en el dominio de la frecuencia.



En los recursos digitales disponibles en www.paraninfo.es se ha incorporado, para entender el dominio de la frecuencia, un anexo sobre representaciones de Fourier para las señales.

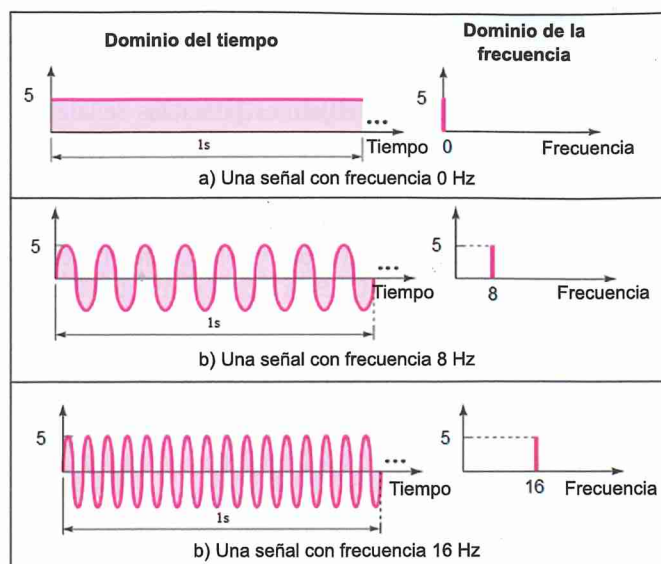


Figura 1.5. Ejemplos de señales sinusoidales simples de una sola frecuencia representadas en el dominio del tiempo y en frecuencia.

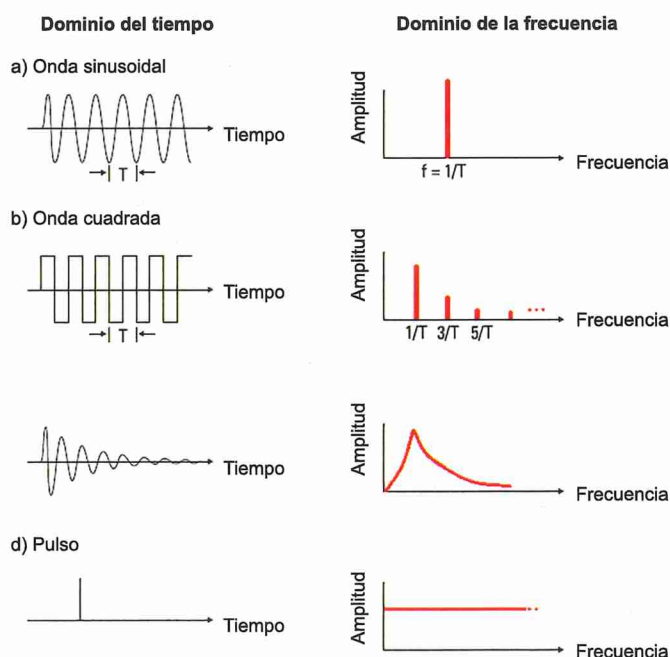


Figura 1.6. Diferentes señales de ondas representadas en el dominio del tiempo y en frecuencia.

El desarrollo en series de Fourier nos muestra que toda señal en el tiempo (que cumpla ciertas condiciones) puede ser representada como una suma de señales senoidales de distintas frecuencias. La representación en frecuencia de una señal muestra cómo se distribuye la energía de la señal entre las distintas senoides que la componen.

Por tanto, el espectro de una señal cuadrada como en el caso de la Figura 1.6 no estaría formado por una única

frecuencia, sino por muchas diferentes y con distintas amplitudes, como podemos ver en la siguiente gráfica (Figura 1.7): a la componente de frecuencia con mayor amplitud se le llama frecuencia fundamental, y se corresponde con la frecuencia de la señal cuadrada, es decir, la frecuencia que vemos si visualizamos la señal en un osciloscopio. Las otras frecuencias son múltiplos de la frecuencia fundamental, y tienen un valor de amplitud menor. A estas frecuencias se les llama armónicos, y son frecuencias que no podemos ver si representamos la señal en el dominio del tiempo (con un osciloscopio, por ejemplo).

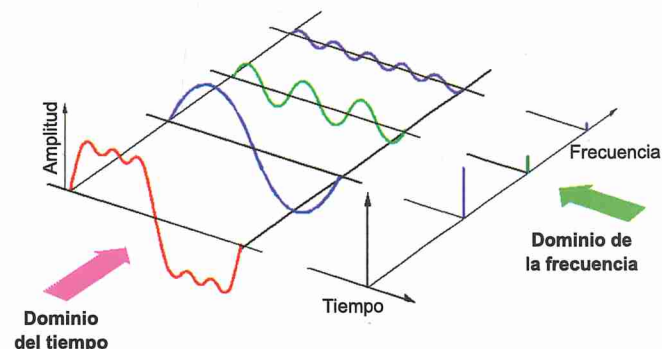


Figura 1.7. Señal periódica compuesta y sus armónicos sinusoidales representados en el dominio del tiempo y en frecuencia.

Recuerda que...

El aparato utilizado para representar las señales en el dominio de la frecuencia se designa como analizador de espectro.

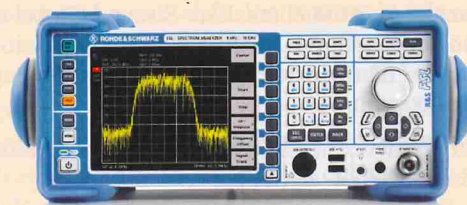


Figura 1.8. Analizador de espectro R&S FSL con un rango de frecuencia de 9 kHz a 3 GHz, con un ancho de banda de análisis de señal de 28 MHz. (Cortesía de Rohde & Schwarz.)



Figura 1.9. Bolsa para su desplazamiento. (Cortesía de Rohde & Schwarz.)

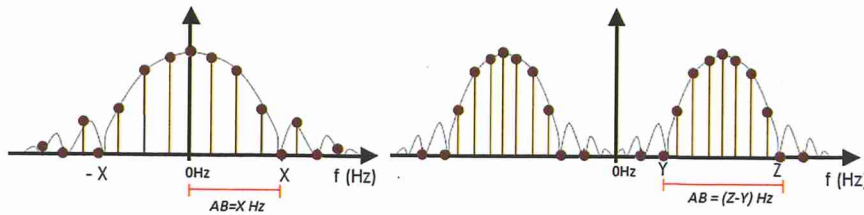


Figura 1.10. Ancho de banda de dos señales.

Definimos el **ancho de banda** de una señal como el intervalo de frecuencias en el cual se concentra la mayor parte de la energía de la señal. Para señales reales el espectro en frecuencia es simétrico respecto al eje de ordenadas, pero solo tendremos en cuenta las frecuencias positivas.

El ancho de banda de las dos señales de la Figura 1.10 será X Hz y $(Z-Y)$ Hz, respectivamente.

Por ejemplo, en la voz humana la mayor parte de la potencia de la señal se encuentra en un margen de 300 a 3400 Hz, aunque emitimos dentro de un margen de frecuencias mayor, las que son audibles por el oído humano van de 20 Hz a 20 KHz. Por eso, cuando escuchamos a alguien por teléfono (cuyo ancho de banda es de 3400 Hz) le reconocemos aunque notemos la voz cambiada (hay componentes de frecuencia que no están). También puede ser que en una determinada aplicación no queramos perder ninguna componente espectral (frecuencia) por muy poca potencia que aporte al conjunto de la señal, entonces el ancho de banda será todo el espectro de frecuencias donde tenemos señal; por ejemplo, si la primera componente está a 1 kHz y la última a 21 kHz el ancho de banda de la señal es de 20 kHz.

En la Figura 1.11 observamos una señal correspondiente a una frase pronunciada por un hombre. Vemos cómo la señal varía en el tiempo y tiene pequeños cortes que se corresponden al microsilenio entre palabras. En el panel inferior vemos cómo se distribuye la energía de dicha frase en las diferentes frecuencias. Observamos que la voz del hombre tiene energía en bajas frecuencias (cerca de 0 Hz), un pico alrededor de los 250 Hz, y que a partir de los 500 Hz ya casi no tiene energía. Si la voz fuera más aguda, lo que ocurriría es que las cuerdas vocales vibrarían más rápidamente (un período de vibración más pequeño) y veríamos que las componentes en frecuencia llegarían hasta los 700 Hz (por ejemplo). Por tanto, el espectro nos proporciona una idea de cómo de rápido varía una señal, siempre teniendo en cuenta que una señal real tendrá diferentes componentes en un intervalo de frecuencias, no solamente en una.

En los **sistemas digitales**, el ancho de banda es la velocidad de datos en bits por segundo (bps). Así, un módem que funciona a 57 600 bps tiene el doble de ancho de banda que un módem a 28 800 bps. En los **sistemas analógicos**, el ancho de banda se define en términos de la diferencia entre el componente de señal de frecuencia más alta y el de

la más baja. La frecuencia se mide en ciclos por segundo (**hertzios o hertz**). Una señal común de voz tiene un ancho de banda de aproximadamente 3 kHz; una señal de vídeo de transmisión analógica para televisión (TV) tiene un ancho de banda de 6 MHz... Unas dos mil veces más ancha que la señal de voz.

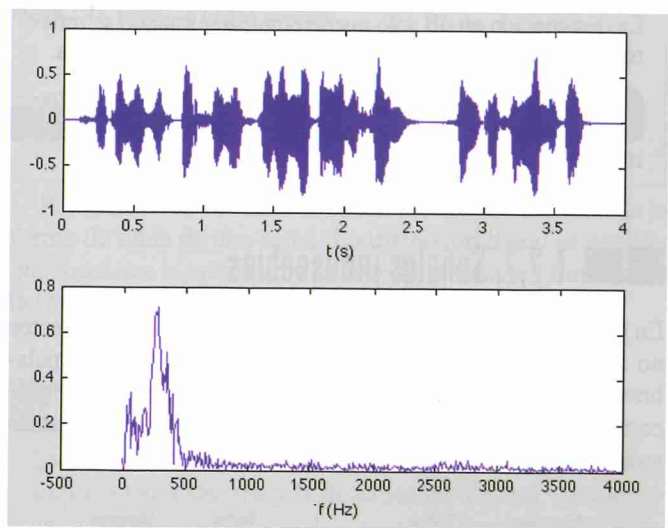


Figura 1.11. Voz humana en el tiempo (panel superior) y en frecuencia (panel inferior).

Actividades propuestas

- 1.1. Calcula la velocidad a la que viajará una onda en un pantano si oscila cinco veces por segundo y cada onda tiene una longitud de 20 centímetros.
- 1.2. ¿Cuánto tiempo tardará la onda en alcanzar el otro extremo del pantano, situado a 300 metros de distancia?
- 1.3. Teniendo en cuenta que la velocidad del sonido es de 343 m/s, ¿cuál será la longitud de onda del sonido que sale de una guitarra oscilando a 3,5 kHz?
- 1.4. ¿Qué es el armónico de una señal?
- 1.5. Dibuja el espectro de una señal cuadrada de 10 kHz, en el que se represente la frecuencia fundamental y los cinco primeros armónicos.
- 1.6. Repite el ejercicio anterior para una señal senoidal de 4 kHz.

Debido a las características de las señales utilizadas en la transmisión, se suelen emplear las siguientes unidades de medida.

1.2.1. Unidades logarítmicas

Se utilizan magnitudes logarítmicas para relacionar dos potencias, dos tensiones o dos corrientes, donde podemos relacionar una de sus magnitudes con respecto a otra usada como referencia.

$$P_{dB} = 10 \times \log_{10} \left(\frac{W}{W_{ref}} \right) \text{ decibels (dB)}$$

Sabías que...

La designación en dB solo puede emplearse cuando se refiere a magnitudes adimensionales, por ejemplo la **ganancia**.



En los recursos digitales disponibles en www.paraninfo.es se adjunta un anexo sobre «Unidades logarítmicas».

1.2.2. Señales indeseables

En los sistemas de comunicaciones pueden producirse efectos no deseados que deterioren la comunicación, en otras palabras, que den lugar a que la señal recibida no sea tan «limpia» como la transmitida. Entre estos efectos o señales indeseables se encuentran el ruido, la distorsión y las interferencias.

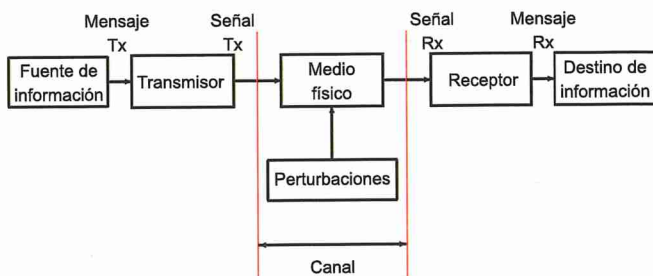


Figura 1.12. Sistemas de comunicaciones considerando las perturbaciones.

Ruido

En cualquier sistema de radiocomunicaciones, se producen fluctuaciones de corriente ajenas a las señales que maneja el sistema. Estas fluctuaciones son de tipo aleatorio y pueden tener diversos orígenes; al agregarse a la señal, deterioran la calidad de la comunicación. Esta situación algunas veces puede evitarse o reducirse y en otras es inevitable, de modo que al diseñar un sistema de comunicaciones es imprescindible tener en cuenta los efectos del ruido de modo que resulten mínimos.

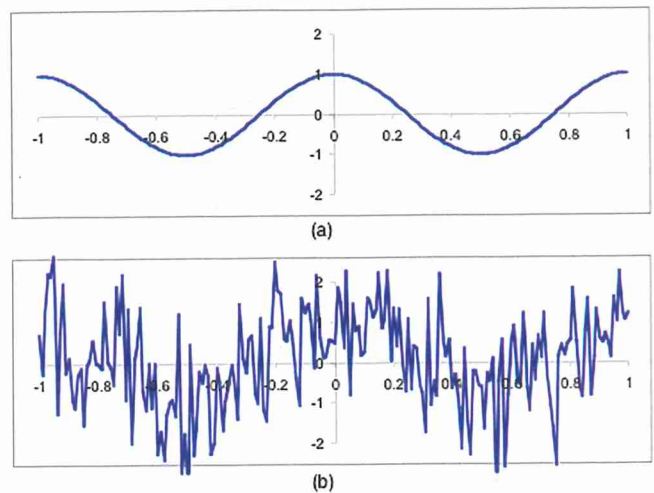


Figura 1.13. a) Señal analógica. b) Suma de la señal y el ruido.

Un tipo de ruido que está presente siempre en todos los circuitos eléctricos es el **ruido térmico**, debido a la agitación electrónica en los conductores y semiconductores como consecuencia de la temperatura; se trata, por tanto, de un ruido de origen natural.

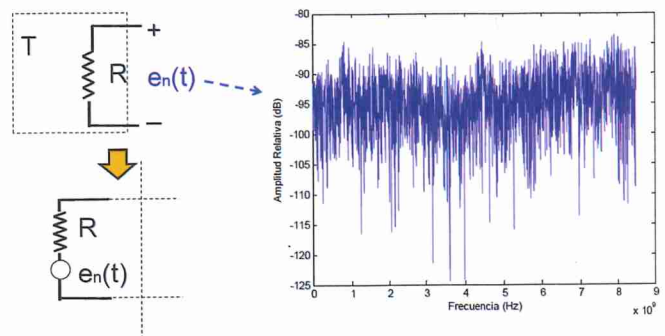


Figura 1.14. Representación del ruido blanco o ruido térmico.

Otras fuentes naturales de ruido son, por ejemplo, el propio universo que nos rodea, el sol, algunas estrellas, etc. Este ruido se designa como **ruido cósmico** y es importante en los sistemas radioeléctricos de comunicaciones, ya que es captado por las antenas receptoras juntamente con la señal. La atmósfera también es fuente de ruido eléctrico, en especial los rayos. Este tipo de ruido se denomina **ruido atmosférico**.

Otras fuentes de ruido son de **origen humano**. Entre ellas se encuentran los motores eléctricos en que se producen pequeñas chispas entre las escobillas y el colector, las chispas actúan como pequeñas antenas transmisoras y la energía emitida es captada también por las antenas de los receptores. Lo mismo ocurre con los motores de combustión interna a gasolina, en que las bujías también producen chispas. En zonas industriales y urbanas los niveles de ruido de origen humano pueden ser muy elevados.

Actividad resuelta

1.1. ¿Cuál es la potencia de ruido térmico (n) a la salida de una resistencia conectada a un sistema de radiodifusión AM, a la temperatura típica de referencia $t_0 = 290 \text{ °K}$ (17 °C)? El ancho de banda del sistema es de $b = 5 \text{ kHz}$. ¿Cuánto vale en dBm?

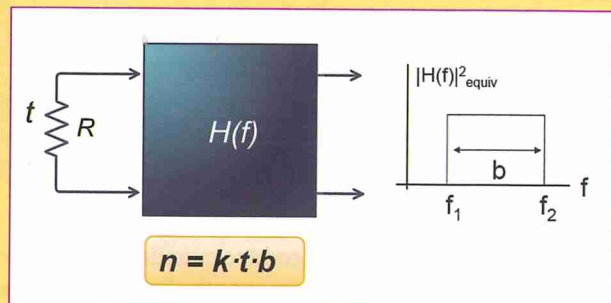


Figura 1.15. Representación de la resistencia conectada al sistema.

Donde:

n : potencia de ruido en W.

k : constante de Boltzman = $1,381 \cdot 10^{-23} \text{ jul/°K}$.

t : temperatura absoluta °K.

b : ancho de banda en Hz del sistema.

Solución:

Hay que considerar el ancho de banda equivalente de ruido del sistema donde se conecta la resistencia.

$$n = K \cdot t \cdot b = 1,381 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot 5000 = 2 \cdot 10^{-17} \text{ W} = 0,00002 \text{ pW}$$

¿En dBm vale?

$$N = 10 \log \frac{2 \cdot 10^{-17} \text{ W}}{10^{-3} \text{ W}} = -137 \text{ dBm}$$

En general, no es posible eliminar el ruido térmico, si bien algunas técnicas de procesamiento digital de señales permiten, en algunos casos, reducirlo considerablemente.

Los ruidos de origen humano también son difíciles de eliminar, aunque algunas medidas pueden reducir su efecto, por ejemplo blindando o apantallando los circuitos y utilizando algunos tipos de antenas altamente direccionales. El filtrado no suele surtir efecto más que en algunos casos, ya que el ruido, y en particular el térmico, tiene componentes espectrales a todas las frecuencias, de modo que si se utilizan filtros para dejar pasar solamente la banda de una señal, inevitablemente en esa banda también habrá ruido y lo único que se eliminará será el ruido fuera de la banda de interés.



Figura 1.16. Ruido de origen humano.

Distorsión

Por distorsión se entiende la alteración, no deseada, de la forma de onda de una señal. La distorsión lineal es aquella que modifica la amplitud y la fase de la señal en función de la frecuencia.

Recuerda que...

La distorsión expresa la diferencia entre la señal que entra a un equipo o sistema y la de salida del mismo, debido a una respuesta imperfecta, la cual altera la señal debido a las características propias del sistema. La distorsión desaparece cuando no hay señal, esta puede afectar en amplitud, fase o frecuencia.

Esto ocurre en cualquier circuito cuya respuesta en frecuencia no sea plana, es decir, que no deje pasar por igual todos los componentes espectrales de una señal. Supóngase, por ejemplo, un amplificador de sonido en que las frecuencias superiores a, digamos, 5 kHz, se amplifican a la mitad del valor que las frecuencias inferiores a ese valor. El amplificador puede resultar adecuado para la voz humana en que es suficiente un ancho de banda del orden de 4 kHz, pero no será satisfactorio para amplificar música en que el ancho de banda requerido es del orden de 12 a 15 kHz. En este caso, el sonido de algunos instrumentos perderá su tonalidad, como consecuencia de la amplificación desigual de los componentes frecuenciales del sonido de esos instrumentos. Esa amplificación desigual de los componentes frecuenciales de una señal da lugar a una alteración de sus características espectrales originales y, por tanto, a distorsión.

Ejemplo 1.1

¿Veamos el efecto de la distorsión sobre una señal de prueba constituida por tres tonos: uno fundamental y dos armónicos:

$$x(t) = \cos \omega_0 t - \frac{1}{3} \cos 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \cos 5\omega_0 t$$

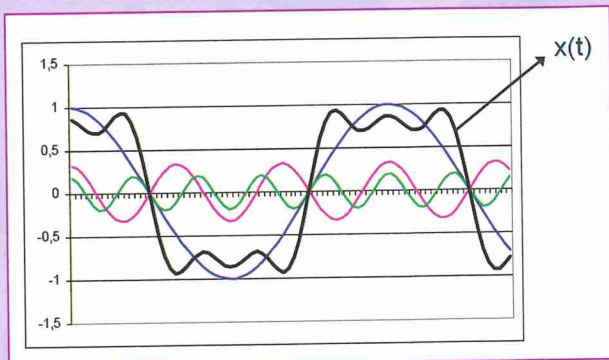


Figura 1.17. Señal de los tres tonos.

Veamos el efecto de una distorsión lineal de amplitud que atenúe 6 dB la amplitud del armónico fundamental (reduciendo la amplitud a la mitad).

$$x(t) = \frac{1}{2} \cos \omega_0 t - \frac{1}{3} \cos 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \cos 5\omega_0 t$$

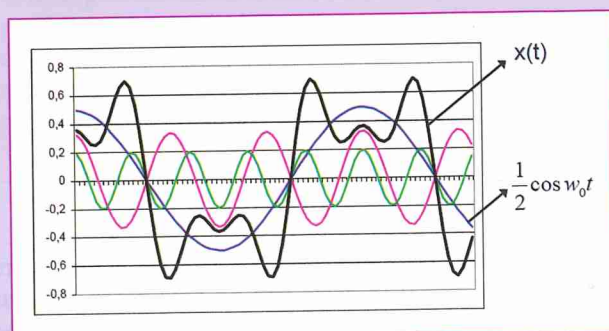


Figura 1.18. Señal con distorsión lineal de amplitud.

Veamos lo que ocurre si en vez de distorsión de amplitud se produce una distorsión de fase debido a que $\tau = -\pi/2\omega$ varía con la frecuencia:

$$x(t) = \cos \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right) - \frac{1}{3} \cos \left(3\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right) + \frac{1}{5} \cos \left(5\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right)$$

ELECTRICIDAD-ELECTRÓNICA

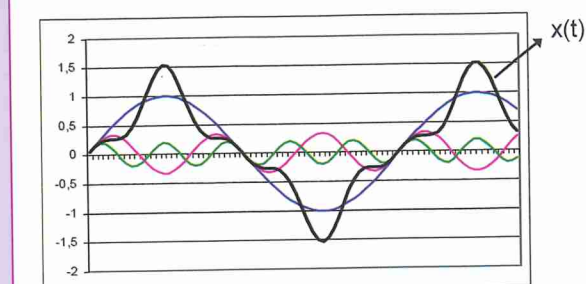


Figura 1.19. Señal con distorsión lineal de fase.

La **distorsión no lineal** se produce cuando en la señal de salida del sistema aparecen componentes frecuenciales que no existían en la señal de entrada.

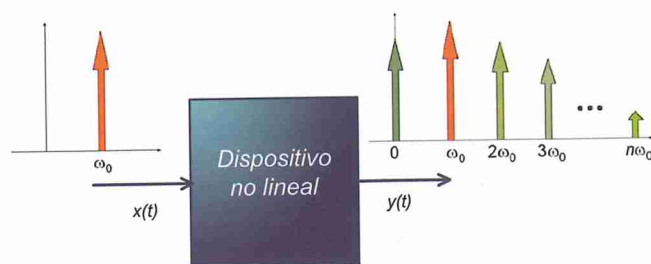


Figura 1.20. Distorsión no lineal.

En un circuito, la distorsión puede ser el resultado del funcionamiento de algunos dispositivos del circuito en regiones no lineales de sus características, que da lugar a una forma de distorsión de interés particular en los sistemas de comunicaciones, designada como **distorsión por intermodulación**.

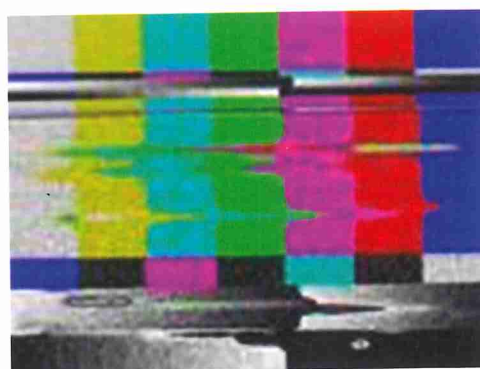


Figura 1.21. Interferencias en la transmisión de la señal de ajuste de la televisión.

Por **interferencia** se entiende la presencia de señales indeseables en un sistema de comunicaciones determinado, originadas por otros sistemas de comunicaciones.

En sistemas radioeléctricos, esto ocurre cuando en una misma zona se reciben simultáneamente señales de dos o más sistemas que funcionan en la misma banda de frecuencia, o cuando uno de los sistemas produce señales indeseadas fuera de su banda de trabajo y cuyas frecuencias caen dentro de la banda de otro sistema. En los sistemas de cable, las interferencias son causadas por la inducción del campo electromagnético producido por la señal en un cable y que abarcan el espacio ocupado por otro cable.

La **relación señal/ruido** se define como relación señal a ruido, S/N o SNR, al cociente de la potencia de la señal entre la potencia de ruido en un punto dado de un sistema, es decir:

$$S/N = \frac{\text{Potencia de señal}}{\text{Potencia de ruido}}$$

O, expresada en dB,

$$(S/N)_{dB} = 10 \cdot \log_{10}(S/N)$$

La relación S/N proporciona una medida de la calidad de una señal en un sistema determinado y depende tanto del nivel de señal recibida como del ruido total, es decir, la suma del ruido procedente de fuentes externas y el ruido inherente al sistema. En el diseño de sistemas, se desea que la relación señal a ruido tenga un valor tan elevado como sea posible.

En los sistemas digitales de comunicaciones suele utilizarse el concepto de tasa de errores (BER), equivalente, en cierta medida, a la relación señal a ruido, más empleado en los sistemas analógicos.

1.3. Espectro radioeléctrico

La **radiación electromagnética** es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.

La radiación electromagnética puede manifestarse de diversas maneras como calor radiado, luz visible, rayos X o rayos gamma. A diferencia de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética se puede propagar en el vacío.

Existen multitud de fenómenos físicos asociados con la radiación electromagnética que pueden ser estudiados de manera unificada, como la interacción de ondas electromagnéticas y partículas cargadas presentes en la materia. Entre estos fenómenos están, por ejemplo, la luz visible, el calor radiado, las ondas de radio y televisión o ciertos tipos

Sabías que...

El **éter luminífero** fue la entidad propuesta como medio de propagación para las ondas electromagnéticas. Se entendió que los fenómenos electromagnéticos consistían en ondas y, bajo la óptica de la época, tenía que existir un medio de propagación: el éter.

El éter debía poseer ciertas características muy extrañas para realizar su función adecuadamente. Tan extrañas, que los místicos de la época lo asociaban a algo que estaba a medio camino entre lo material y lo espiritual. Algunos estaban convencidos que pronto la ciencia daría la razón a sus especulaciones. Cuando alguien, por fin, intentó medir la velocidad relativa que guardábamos con el hipotético éter, se descubrió que tal velocidad no existía. Que la velocidad de las ondas electromagnéticas era «absoluta» y siempre la misma, sin importar el estado de movimiento del observador. La relatividad, y todo lo que surgió a raíz de dicho descubrimiento, es historia.

El éter fue suplantado por el **campo electromagnético**. Lo que hiciera posible la existencia de las ondas electromagnéticas tenía que ser muy extraño. El concepto de campo es extraño. Al campo no se le puede agarrar, tocar o encerrar. Es etéreo y algo mucho más profundo. ¡Gracias a la repulsión eléctrica que puede provocar dicho campo podemos agarrar las cosas! El campo no se agarra, ¡pero hace que agarrar sea posible! Según la postura filosófica que se desee adoptar, podemos pensar en el campo como algo que objetivamente está «ahí», en todos lados, permeando el espacio. O bien, podemos verlo como un artilugio matemático, del cual no tiene sentido preguntarse si representa algo «real».

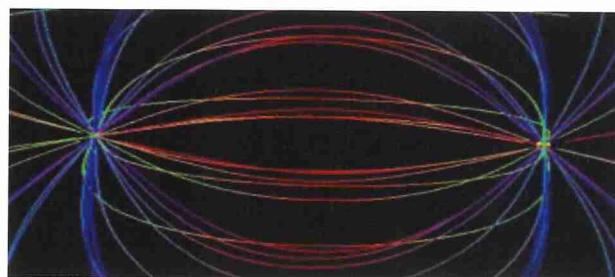


Figura 1.22. Campo de un dipolo.

de radioactividad por citar algunos de los fenómenos más destacados. Todos estos fenómenos consisten en la emisión de radiación electromagnética en diferentes rangos de frecuencias (o equivalentemente diferentes longitudes de onda), siendo el rango de frecuencia o longitud de onda el más usado para clasificar los diferentes tipos de radiación electromagnética. La ordenación de los diversos tipos de radiación electromagnética por frecuencia recibe el nombre de espectro electromagnético.

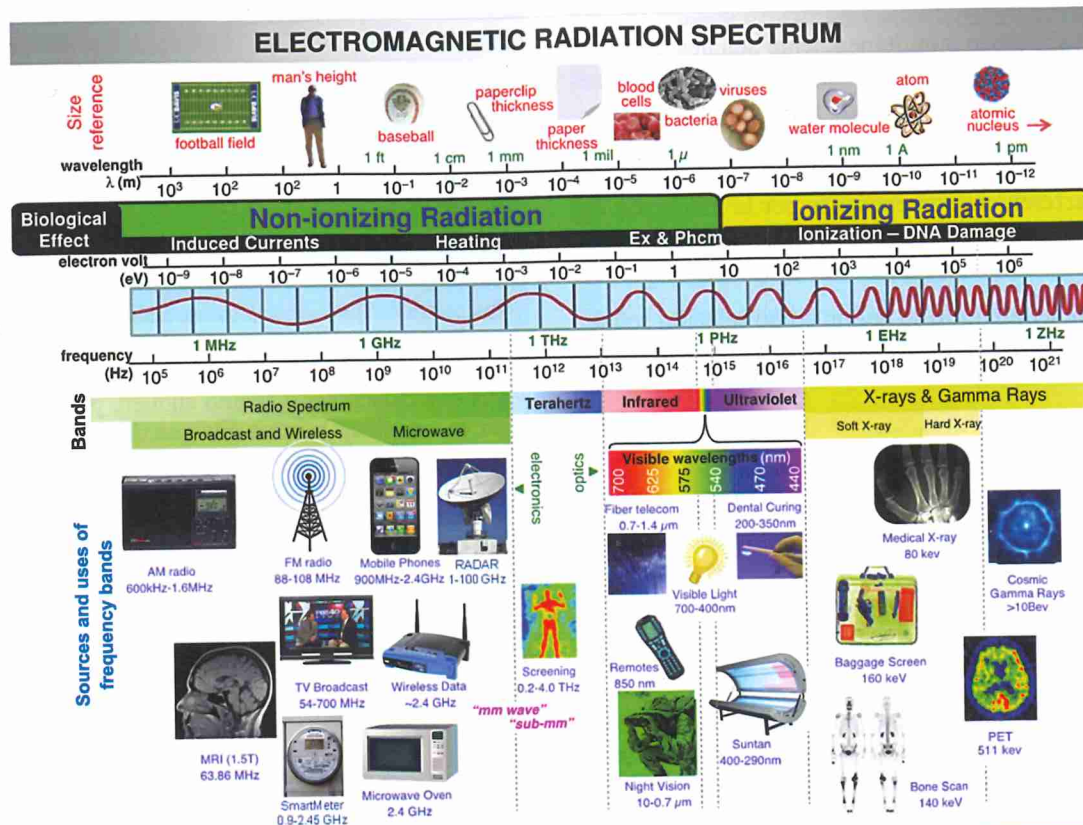


Figura 1.23. Espectro electromagnético y sus aplicaciones.

Recuerda que...

La radiación (radioeléctrica) es el flujo saliente de energía de una fuente cualquiera en forma de ondas radioeléctricas, o esta misma energía.

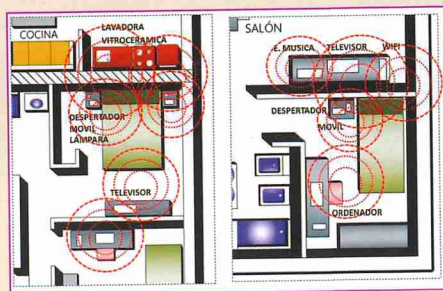


Figura 1.24. Fuentes de energía en forma de radiación radioeléctrica. (Cortesía de Isabel Rendón.)

Para conocer la energía disponible en el ambiente en forma de radiación radioeléctrica (líneas eléctricas, aparatos eléctricos y electrónicos, como despertadores, hornos de microondas y televisiones, teléfono móvil, etc.) hay que medir en rangos de valores muy pequeños y que la potencia obtenida de la fuente de energía «Radio Frecuencia Ambiental» es del orden de $< 1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (para campo lejano).

Los sistemas de radiocomunicación utilizan el espectro radioeléctrico, que comprende las bandas de frecuencias útiles para los servicios de radiocomunicación y que se designan por números enteros, en orden creciente. Dado que la unidad de frecuencia es el hertzio (Hz), abarca desde frecuencias inferiores a 1 kHz hasta alrededor de 300 GHz.

Una **banda de radiofrecuencia** es una pequeña sección de frecuencias del espectro radioeléctrico utilizada en comunicaciones por radio, en la que los canales de comunicación se utilizan para un mismo propósito.

Para evitar interferencias y permitir un uso eficiente del espectro radioeléctrico, se colocan servicios similares en la misma banda. Por ejemplo, radiodifusión, telefonía móvil o radionavegación, se colocan en rangos de frecuencias no solapados.

Cada una de estas bandas tiene un plan de banda que determina cómo se utiliza y se comparte para evitar interferencias entre canales y especificar el protocolo de comunicación que permita la comunicación entre el emisor y el receptor.

Existe una convención para separar las bandas según la longitud de onda en divisiones de 10^n metros, o frecuencias de 3×10^n hercios. Por ejemplo, 30 MHz o 10 m divide onda corta de VHF (de menor longitud de onda y mayor frecuencia). Estas son las partes del espectro radioeléctrico, y no la asignación de frecuencias.

Recuerda que...

La emisión es la radiación producida, o producción de radiación, por una estación transmisora radioeléctrica. Por ejemplo, la energía radiada por el oscilador local de un receptor radioeléctrico no es una emisión, sino una radiación.

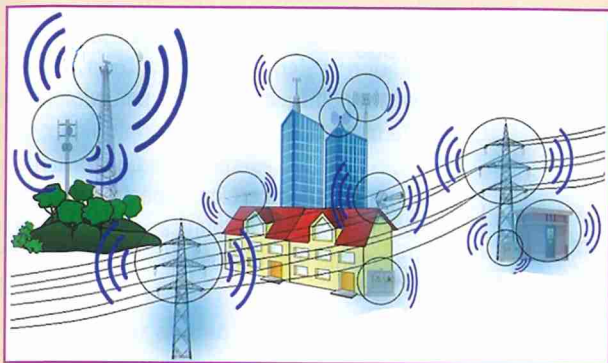


Figura 1.25. Las emisiones realizadas por diferentes estaciones.

A partir de 1 GHz las bandas entran dentro del espectro de las microondas. Por encima de los 300 GHz, la absorción de la radiación electromagnética por la atmósfera es tan grande que es, de hecho, opaca hasta que se convierte en transparente, de nuevo cerca del infrarrojo y en los rangos de frecuencia visuales.

Las bandas ELF, SLF, ULF y VLF comparten el espectro de la AF (*audiofrecuencia*), que se encuentra entre 20 y 20 000 Hz aproximadamente. Sin embargo, estas se tratan de ondas de presión, como el sonido, por lo que se desplazan a la velocidad del sonido sobre un medio material. Mientras que las ondas de radiofrecuencia, al ser ondas electromagnéticas, se desplazan a la velocidad de la luz y sin necesidad de un medio material.

Los sistemas de comunicaciones ópticas funcionan a frecuencias superiores, correspondientes al espectro visible y en el infrarrojo. Las principales bandas del espectro radioeléctrico suelen definirse en términos de las longitudes de onda, según la designación de la UIT, de la forma que se indica en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Nomenclatura de las bandas de frecuencias

Distribución de bandas de frecuencias				
Banda ITU	Nombre Nombre inglés	Símbolos (en inglés)	Gama de frecuencias Longitud de onda	Ejemplos de uso
	Frecuencia tremendamente baja Tremendously low frequency	TLF	< 3 Hz > 100 000 km	Ruido natural o provocado por el hombre
	Frecuencia extremadamente baja Extremely low frequency	ELF	3-30 Hz 100 000-10 000 km	Comunicación con submarinos
	Súper baja frecuencia Super low frequency	SLF	30-300 Hz 10 000-1000 km	Radar. Enlace de radio
	Ultra baja frecuencia Ultra low frequency	ULF	0,3 a 3 kHz 1000 a 100 km	Enlaces de radio. Ayuda a navegación aérea. Comunicaciones en minas a través de la tierra
4	Muy baja frecuencia Very-low frequency	VLF	3 a 30 kHz 100 a 10 km	Radioayuda, señales de tiempo, comunicación submarina, pulsómetros inalámbricos, geofísica
5	Media frecuencia Low frequency	LF	30 a 300 kHz 10 a 1 km	Radiodifusión en AM (onda larga) (Europa y partes de Asia), RFID, radioafición
6	Media frecuencia Medium frequency	MF	300 a 3000 kHz 1000 a 100 m	Radiodifusión en AM (onda media), radioafición, balizamiento de aludes
7	Alta frecuencia High frequency	HF	3 a 30 MHz 100 a 10 m	RFID, radar, comunicaciones ALE, comunicación cuasi-vertical (NVIS), telefonía móvil y marina
8	Muy alta frecuencia Very-high frequency	VHF	30 a 300 MHz 10 a 1 m	FM, televisión, comunicaciones con aviones a la vista entre tierra-avión y avión-avión, telefonía móvil marítima y terrestre

(continúa)

Distribución de bandas de frecuencias				
Banda ITU	Nombre Nombre inglés	Símbolos (en inglés)	Gama de frecuencias Longitud de onda	Ejemplos de uso
9	Ultra alta frecuencia Ultra-high frequency	UHF	300 a 3000 MHz 1 m a 10 cm	Comunicaciones por microondas, radioastronomía, redes inalámbricas, <i>bluetooth</i> , GPS
10	Súper alta frecuencia Super-high frequency	SHF	3 a 30 GHz 10 a 1 cm	Comunicaciones por satélite, televisión por satélite, DBS
11	Frecuencia extremadamente alta Extra-high frequency	EHF	30 a 300 GHz 10 a 1 mm	Radioastronomía, transmisión por microondas de alta frecuencia, teledetección
12	Terahercios o frecuencia tremendamente alta Terahertz or tremendously high frequency	THz o THF	> 300 GHz < 1 mm	Radiografía de terahercios, espectroscopia mediante terahercios, comunicaciones/computación mediante terahercios

Esta división del espectro de frecuencias fue establecida por el Consejo consultivo internacional de las comunicaciones de radio (CCIR) en el año 1953. Debido a que la radiodifusión nació en Estados Unidos, las denominaciones de las divisiones se encuentran en inglés y de allí las abreviaturas, tal cual las conocemos, adoptadas en la Convención de Radio celebrada en Atlantic City en 1947.

A su vez, la UIT dividió al planeta en tres regiones, en las cuales la distribución de las frecuencias para los distintos usos y servicios son similares para los países que integran una región determinada. La Región 1, en la que nos hallamos, está compuesta por Europa, África, Medio Oriente, Mongolia y las Repúblicas de la ex-Unión Soviética. La Región 2 son los países de América. La Región 3 es el resto del mundo, principalmente Asia y Oceanía. Además, también existen diversas legislaciones sobre la potencia máxima en la que se puede emitir para cada una de las bandas.

En España (Región 1), la asignación de frecuencias viene dada por el vigente Cuadro nacional de atribución de frecuencias (CNAF).

Actividades propuestas

- 1.7. Calcula la longitud de onda de la radiación producida por un horno que trabaja a la frecuencia de 2450 MHz.
- 1.8. Calcula el tiempo que tardaría la emisión KissFm sintonizada en Valencia a 96,9 MHz en recorrer la distancia entre la Tierra y la Luna, que es de 384 000 km.
- 1.9. Indica algunas aplicaciones de los rayos X, la radiación infrarroja, las ondas de microondas y las ondas de radiofrecuencia.

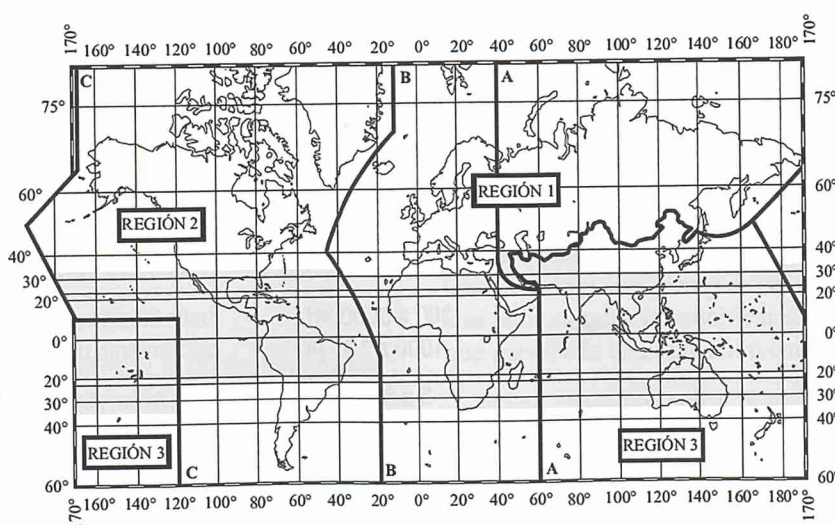


Figura 1.26. División del planeta en regiones frecuenciales según la ITU-T.

1.4. Cuadro nacional de atribución de frecuencias (CNAF)

El espectro radioeléctrico es un bien de dominio público, cuya titularidad y administración corresponden al Estado. Dicha administración se ejercerá de conformidad con lo dispuesto en la Ley de Telecomunicaciones 9/2014 y en los tratados y acuerdos internacionales en los que España sea parte, atendiendo a la normativa aplicable en la Unión Europea y a las resoluciones y recomendaciones de la UIT y de otros organismos internacionales.

En particular, son principios aplicables a la administración del dominio público radioeléctrico, entre otros, los siguientes:

- Garantizar un uso eficaz y eficiente de este recurso.
- Fomentar la neutralidad tecnológica y de los servicios, y el mercado secundario del espectro.
- Fomentar una mayor competencia en el mercado de las comunicaciones electrónicas.

La administración del dominio público radioeléctrico tiene por objetivo el establecimiento de un marco jurídico que asegure unas condiciones armonizadas para su uso y que permita su disponibilidad y uso eficiente, y abarca un conjunto de actuaciones entre las cuales se incluyen las siguientes:

- **Planificación:** elaboración y aprobación de los planes de utilización.
- **Gestión:** establecimiento, de acuerdo con la planificación previa, de las condiciones técnicas de explotación y otorgamiento de los derechos de uso.
- **Control:** comprobación técnica de las emisiones, detección y eliminación de interferencias, inspección técnica de instalaciones, equipos y aparatos radioeléctricos, así como el control de la puesta en el mercado de estos últimos.

Igualmente, incluye la protección del dominio público radioeléctrico, consistente, entre otras actuaciones, en la realización de emisiones sin contenidos sustantivos en aquellas frecuencias y canales radioeléctricos cuyos derechos de uso, en el ámbito territorial correspondiente, no hayan sido otorgados, con independencia de que dichas frecuencias o canales radioeléctricos sean objeto en la práctica de ocupación o uso efectivo.

Ordenación del dominio público radioeléctrico

La utilización de frecuencias radioeléctricas mediante redes de satélites se incluye dentro de la administración del dominio público radioeléctrico.

Así mismo, la utilización del dominio público radioeléctrico necesaria para la utilización de los recursos orbitales en el ámbito de la soberanía española y mediante satélites de comunicaciones queda reservada al Estado. Su explotación estará sometida al derecho internacional y se realizará, en la forma que mediante Real Decreto se determine, mediante su gestión directa por el Estado o mediante concesión. En todo caso, la gestión podrá también llevarse a cabo mediante conciertos con organismos internacionales.

El Estado desarrollará mediante Real Decreto las condiciones para la adecuada administración del dominio público radioeléctrico. En dicho Real Decreto se regulará, como mínimo, el procedimiento para la elaboración de los planes de utilización del espectro radioeléctrico, que incluyen el CNAF, los planes técnicos nacionales de radiodifusión y televisión, cuya aprobación corresponderá al Estado, y las necesidades de espectro radioeléctrico para la defensa nacional. Los datos relativos a esta última materia tendrán el carácter de reservados.

El CNAF es el instrumento legal, dependiente de la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital (SESIAD) del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, de España, utilizado para asignar a los distintos servicios de radiocomunicaciones las diferentes bandas de frecuencias, estas bandas se extienden desde 9 KHz hasta 105 GHz. En el CNAF también se especifica la metodología de uso del espectro radioeléctrico de España.

Sabías que...

El CNAF fue editado por primera vez en 1990, ha tenido varias ediciones, la última edición fue en 2017, según la Orden ETU/1033/2017, de 25 de octubre. Debido a su contenido regulador y técnico, todas las ediciones, a su vez, han sido sometidas a numerosas revisiones parciales.

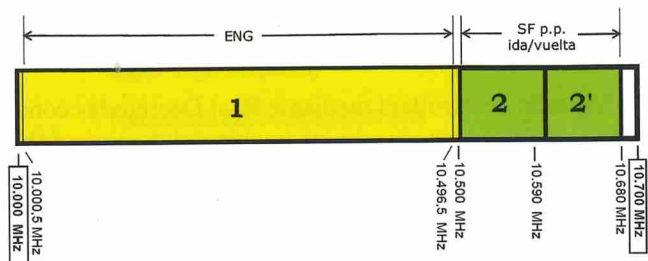


En los recursos digitales disponibles en www.parainfo.es se ha incorporado el CNAF 2017 y sus revisiones.

El CNAF podrá establecer, entre otras, las siguientes previsiones:

- La reserva de parte del espectro para servicios determinados.
- Preferencias por razón del fin social del servicio a prestar.
- Delimitación de las bandas, canales o frecuencias que se reservan a las Administraciones Públicas o entes públicos de ellas dependientes para la gestión directa de sus servicios.
- Previsión respecto de la explotación en el futuro de las distintas bandas de frecuencias, fomentando la neutralidad tecnológica y de los servicios.

Sus cambios son consecuencia de la evolución tecnológica en materia de radiocomunicaciones, de los nuevos servicios y dispositivos en los últimos tiempos y las decisiones y recomendaciones de los organismos internacionales competentes de los que España forma parte, que hacen necesario un uso óptimo del espectro.



APLICACIONES DE LA BANDA:

SUBBANDA 1: 62 canales de 8 MHz para radioenlaces digitales en aplicaciones ENG.

SUBBANDAS 2 y 2': Canalización basada en pasos de 3,5 MHz con una separación Tx/Rx de 91 MHz para radioenlaces digitales de pequeña y mediana capacidad. Dispone de 24 canales dúplex de 3,5 MHz o de 12 canales dúplex de 7 MHz.

Figura 1.27. Ordenación de la banda 10,0 a 10,7 GHz según el CNAF.

El CNAF es el marco fundamental del ordenamiento legal del espectro radioeléctrico y es a su vez un marco técnico de referencia para la gestión de sus distintos usos. Su contenido se comprende, en primer lugar, de las notas del Artículo 5 del RR que complementa la constitución y el convenio de la UIT, seguidas de la atribución de bandas de frecuencias según dicho artículo; en segundo lugar, la atribución nacional hasta el valor de 105 GHz, seguida de observaciones donde se insertan notas del RR sobre aplicación, notas de Utilización Nacional (UN) y finalmente

usos que se corresponden ordenadamente con la atribución nacional. Además, también estipula los canales dentro de cada banda con su correspondiente frecuencia portadora, potencia máxima y demás parámetros de transmisión.

En el CNAF también se incluyen las atribuciones de las bandas de frecuencias de las tres regiones en las que está dividido el mundo, según la UIT. España pertenece a la Región 1.

La designación anterior es sumamente general, ya que cada una de las bandas se subdivide, a su vez, en numerosas bandas, o subbandas asignadas a diferentes tipos de servicios.

En particular, las bandas de frecuencias asignadas para los servicios de radiodifusión de televisión digital son designadas de forma especial como indica la nota de utilización UN-36 del CNAF que establece que la banda de frecuencias 470 a 790 MHz (canales radioeléctricos 21 a 60) se utilizará por las entidades habilitadas para la prestación de los servicios de televisión con tecnología digital, y su utilización será regulada conforme a los Planes Técnicos Nacionales.

Como comentábamos anteriormente, el espectro radioeléctrico, es decir, el conjunto de bandas de frecuencia que pueden utilizar los diversos servicios de radiocomunicación, constituye un recurso natural limitado de propiedad nacional, es decir, no puede utilizarse libremente por cualquier persona, ya que las emisiones en una frecuencia y lugar específicos deben ser únicas. De otra forma, interferirían con otros servicios que funcionaran en la misma región y, además, serían interferidos por ellos, por ello en

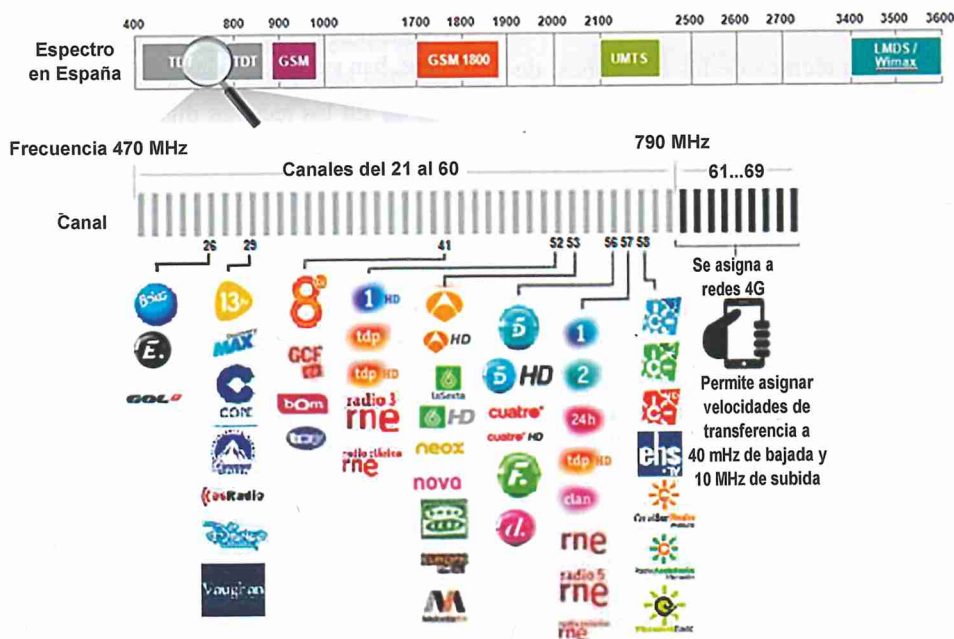


Figura 1.28. Ordenación de la banda 470 a 790 MHz según el CNAF.

Sabías que...

La situación de parte del espectro de frecuencias que encontramos hoy en España y el dividendo digital

El 31 de marzo de 2015 se liberó el dividendo digital adaptándose las antenas colectivas al proceso de reordenación de frecuencias necesario para que la banda 800 MHz quedase disponible en toda Europa, y se asignase a los operadores de la tecnología banda ancha móvil 4G/LTE.



Figura 1.29. Torrespaña adapta el servicio a los principales radiodifusores españoles. (Cortesía de Abertis).

En los recursos digitales disponibles en www.paraninfo.es se incorpora un documento sobre el dividendo digital.

la gestión de frecuencias se debe diferenciar entre los conceptos de atribución, adjudicación y asignación:

- **Atribución** (de una banda de frecuencias): inscripción en el Cuadro de atribución de bandas de frecuencias, de una banda de frecuencias determinada, para que sea utilizada por uno o varios servicios de radiocomunicación terrenal o espacial o por el servicio de radioastronomía en condiciones especificadas. Este término se aplica también a la banda de frecuencias considerada.
- **Adjudicación** (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico): inscripción de un canal determinado en un plan, adoptado por una conferencia competente, para ser utilizado por una o varias administraciones para un servicio de radiocomunicación terrenal o espacial en uno o varios países o zonas geográficas determinados y según condiciones especificadas.
- **Asignación** (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico): autorización que da una administración para que una estación radioeléctrica utilice una frecuencia o un canal radioeléctrico determinado en condiciones especificadas.

Actividades propuestas

- 1.10. ¿Qué es el CNAF? ¿Quién lo elabora? ¿Para qué sirve?
- 1.11. Consulta en los recursos digitales disponibles en www.paraninfo.es el CNAF y averigua las frecuencias o bandas de frecuencias de los siguientes servicios:
 - a) Localización de víctimas de avalanchas.
 - b) Compañías de transporte aéreo.
 - c) Telemandos para aeromodelismo.

1.5. Clasificación de diferentes sistemas y servicios de radiocomunicaciones

Los sistemas de radiocomunicación pueden clasificarse según criterios diversos, dependiendo de características o aplicaciones específicas. Sería muy difícil intentar una clasificación exhaustiva, por lo que utilizaremos solo algunos de los criterios más usuales:

- Desde el punto de vista del tipo de señales que manejan, pueden clasificarse en analógicos y digitales
- Según el tipo de usuarios, en sistemas punto a punto o punto a multipunto.
- Según el tipo de comunicación, en unidireccionales o bidireccionales.
- Según la banda de frecuencias, en sistemas de banda estrecha o banda ancha.

Es claro que se pueden establecer muchas otras definiciones igualmente válidas; sin embargo, las anteriores resumen las principales características de interés para este libro.

Un **servicio de radiocomunicación** es un servicio que implica la transmisión, la emisión o la recepción de ondas radioeléctricas para fines específicos de telecomunicación.

Sabías que...

La UIT ha clasificado los diferentes sistemas y servicios de radiocomunicaciones y los términos referentes a la transmisión en sistemas radioeléctricos.

En los recursos digitales disponibles en www.paraninfo.es se incorpora un documento sobre la «Clasificación de diferentes sistemas y servicios de radiocomunicaciones».

1.6. Transmisión punto a punto y punto a multipunto

Desde la perspectiva del usuario, usualmente la comunicación obedece a dos tipos de necesidades: de intercambio de información entre un punto y otro, por ejemplo en forma de diálogo de voz o de comunicación interactiva de datos, que puede multiplicarse entre un punto y cada uno de otros puntos de la red, o la de distribución de una misma señal de un punto hacia múltiples puntos.

Vamos a ver cómo se satisfacen dichas necesidades mediante la utilización del **servicio fijo por satélite**. Existen dos formas básicas en que las estaciones terrenas de una red pueden conectarse entre sí a través de un satélite: de punto a punto y de punto a multipunto. Cada forma de conectividad es característica de uno o más tipos de servicios o aplicaciones.

1.6.1. Punto a punto

Esta forma de conectividad permite la comunicación entre dos estaciones, como se ilustra en la Figura 1.30. En este caso, las dos estaciones participantes pueden intercambiarse tráfico simultáneamente si se requiere, formando un circuito denominado dúplex, constituido por el semicircuito de A hacia B y el semicircuito de B hacia A. Cada estación transmite en una frecuencia diferente al satélite (por su enlace ascendente) y recibe en otra (por su enlace descendente) que corresponde a la transposición de la frecuencia de transmisión de la otra estación, realizada en el repetidor del satélite en que operan.

Cada enlace es un trayecto de la radiación desde una de las estaciones terrenas hasta el satélite o viceversa.

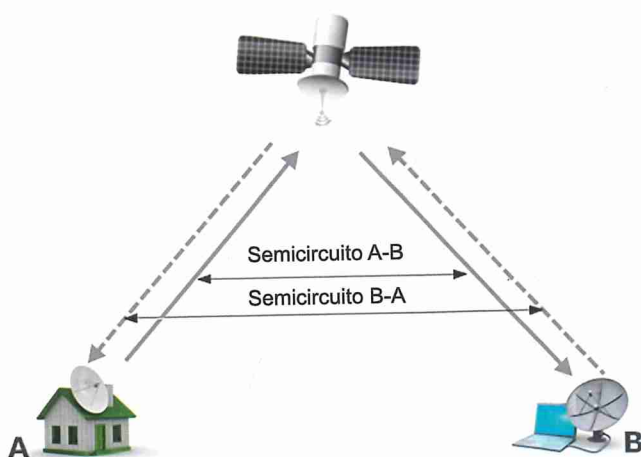


Figura 1.30. Conectividad punto a punto de un reportero ENG con sus estudios.

Sabías que...

Estos sistemas simplifican el trabajo para los operadores de cámara y realizadores y ofrecen a las estaciones de emisión y proveedores de servicios la capacidad de transmitir vídeo en alta definición o en calidad estándar en directo de una forma más eficiente y económica. El servicio también es ideal para la transmisión rápida de copias de grabaciones y transferencia de archivos *proxy* desde cualquier lugar.



Figura 1.31. El mundo del SNG. (Cortesía de Links Broadcast.)

Un modo simple de comunicar más estaciones consiste en establecer los circuitos punto a punto que requiera cada estación con las demás, con la ventaja encontrada en cualquier red por satélite de que su antena actúa como un elemento común a todos ellos, la cual, si es direccional, apunta hacia el satélite, para transmitir y recibir señales hacia y de una sola dirección precisa.

En esta forma de conectividad punto a punto por medio de enlaces independientes, las redes terrenales pueden ser muy competitivas y técnicamente más convenientes que por satélite, especialmente para tráfico de alta capacidad entre pocos sitios, aunque puede tener la desventaja de que la comunicación deba pasar por múltiples estaciones de repetición.

Un caso común de comunicación punto a punto corresponde a una estación maestra, compartida o no, desde la cual se establecen varios enlaces como el descrito con varias estaciones remotas, cada una de las cuales se comunica solo con la maestra. Los enlaces de la maestra con cada estación remota son independientes y les permiten cursar simultáneamente tráfico bidireccional utilizando frecuencias diferentes para cada uno, a fin de evitar interferencias entre ellos. Esta configuración de la comunicación se denomina en **estrella** y se ilustra en la Figura 1.32.

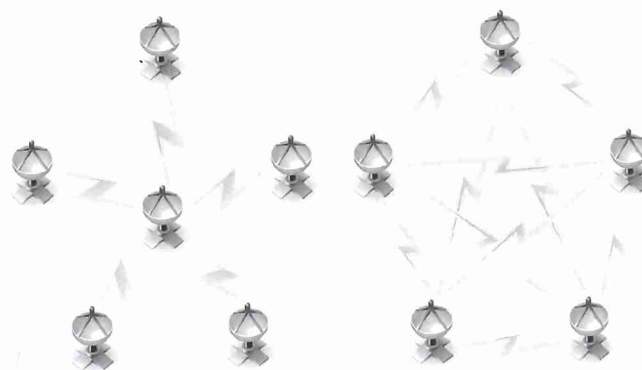


Figura 1.32. Configuraciones de red en estrella y en malla.

La configuración de la comunicación en estrella puede lograrse así mismo por medio de otras tecnologías que, sin utilizar circuitos dúplex independientes con frecuencias diferentes para cada enlace, también logran evitar que las estaciones de la red se interfieran entre sí, las cuales, dependiendo de las características del tráfico, pueden ser más eficientes, porque reducen la capacidad total del satélite requerida para la red. Se denomina **acceso múltiple** al conjunto de las técnicas que permiten lograr dicho propósito, las cuales también son útiles para otras formas de configuración o encaminamiento de la comunicación, como el caso extremo en que cada una de las estaciones requiere comunicación con todas las demás, denominada configuración en **mall** o **Trellis** que se ilustra en la Figura 1.32. Son muy comunes también las redes que combinan parcialmente las configuraciones estrella y mall.

1.6.2. Punto a multipunto

Los sistemas punto a multipunto conectan una estación central a un gran número de posibles receptores. Los ejemplos más comunes son los sistemas de difusión AM y FM de radio y televisión comercial, donde un transmisor central usa una antena con haz amplio para alcanzar a muchos oyentes y televidentes.

Los satélites tienen la ventaja inherente de permitir que se transmita la misma señal desde una estación de una red a un número ilimitado de estaciones receptoras dentro de la zona de cobertura del enlace descendente. En este caso, todas las estaciones de destino reciben la señal en la misma frecuencia, al no haber en la red otras señales que se requieran recibir selectivamente o que puedan interferirla. La Figura 1.33 ilustra esta forma de conectividad.

Dentro de los límites de operación establecidos, a mayor potencia enviada por la estación transmisora en dirección del satélite, mayor será la potencia recibida por las antenas receptoras y menor el diámetro requerido de sus reflectores (cuando se utilizan) para obtener una buena recepción de la

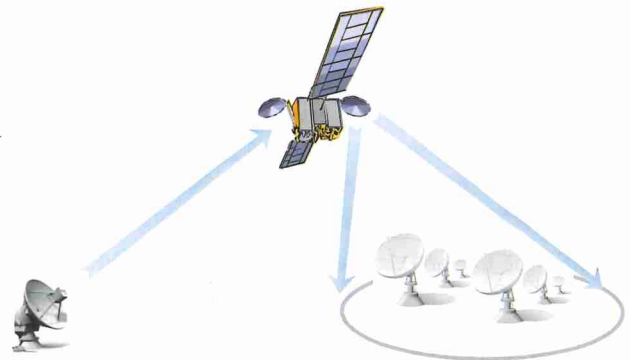


Figura 1.33. Red con conectividad punto a multipunto.

señal, por lo que para un alto número de puntos de recepción puede ser conveniente aumentar la potencia de transmisión y reducir el tamaño de las antenas receptoras para reducir el coste de estas. Este procedimiento permite un intervalo de variación de las potencias muy limitado, debido a la proporción relativamente rígida que tienen los recursos de potencia y de anchura de banda de los transpondedores, por lo que para los servicios en que quiera llevarse a un mayor extremo deben emplearse satélites o transpondedores especialmente diseñados para alta potencia.

Esta forma de conectividad, normalmente, tiene mayor dificultad, mayor coste y menor fiabilidad de operación en las redes terrenales de amplia cobertura, ya que aun en el extremo en que se utilice solo una ruta de la red básica sin ramificaciones, requieren equipos repetidores intermedios y derivaciones de la señal hacia cada uno de los puntos terminales a lo largo de aquella, reduciendo la seguridad de la comunicación.

1.6.3. Sistemas multipunto a multipunto

Los sistemas multipunto a multipunto permiten comunicaciones simultáneas entre usuarios individuales (quienes pueden no estar en ubicaciones fijas). Estos sistemas no co-

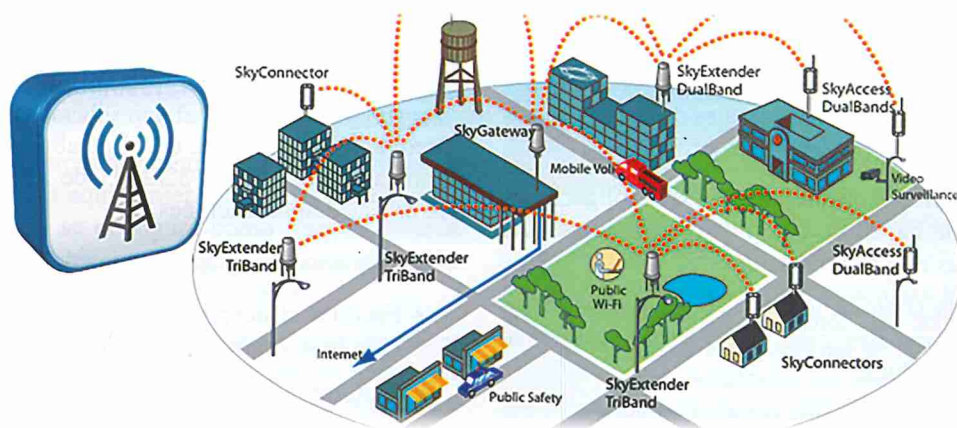


Figura 1.34. Sistema multipunto a multipunto de una red inalámbrica MESH. (Cortesía de FLYNET.)

nectan directamente a dos usuarios, pero se apoyan en una infraestructura de estaciones base que conectan a los usuarios individuales a una oficina central de conmutación, que a su vez se conecta con otra estación base y de esta hacia el otro usuario. Los sistemas celulares y ciertos tipos de redes LAN (*Local Area Network*) inalámbricas son ejemplos de este tipo de aplicación como la MESH.

MESH es una red de malla inalámbrica (WMN), es decir, una red de comunicaciones por radio de los nodos organizados en una topología de malla. El área de cobertura de la emisora de radio nodos que trabajan como una sola red a veces se denomina una nube de malla. El acceso a esta nube de malla depende de los radionodos que trabajan en armonía unos con otros para crear una red de radio. Una malla de la red es fiable y ofrece redundancia. Cuando un nodo ya no puede funcionar, el resto de los nodos pueden todavía comunicarse unos con otros, directamente o por conducto de uno o más nodos intermedios.

1.7. Reglamentación y estándares

España pertenece a organismos, como: la UIT, la Conferencia Europea de Administraciones Postales y de Telecomunicación (CEPT), la UE y el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI), que aprueban reglamentos, decisiones y recomendaciones, encaminados generalmente hacia una armonización del espectro radioeléctrico. Esto nos obliga a regular y reglamentar mediante las siguientes normas nacionales.

1.7.1. Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC)

La Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones (CMT) era la Autoridad Nacional de Regulación (ANR) del sector de las telecomunicaciones en España. Fue creada en 1996, durante el proceso de liberalización del sector de las telecomunicaciones, como organismo público regulador independiente de los mercados nacionales de comunicaciones electrónicas. Tiene varios objetivos principales:

- Establecimiento y supervisión de las obligaciones específicas que hayan de cumplir los operadores del mercado de las telecomunicaciones.
- Fomento de la competencia en los mercados de los servicios audiovisuales, conforme a lo previsto por su normativa reguladora.
- Resolución de los conflictos entre operadores.
- Ejercicio como órgano arbitral de las controversias entre los operadores.

En 2013, la CMT se integró en la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC).

La CNMC se crea en 2013 a partir de la integración de estos cinco organismos: Comisión Nacional de Energía, Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones, Comisión Nacional de la Competencia, Comisión Nacional del Sector Postal, y Comité de Regulación Ferroviaria y Aeroportuaria.

La CNMC se regula por la Ley 3/2013, de 4 de junio, de creación de la CNMC y por el Real Decreto 657/2013, de 30 de agosto, por el que se aprueba el Estatuto Orgánico de la CNMC. La Comisión aplica la Ley 9/2014, de 9 de mayo, de Telecomunicaciones.

Sabías que...

La Dirección de Telecomunicaciones y del Sector Audiovisual es el órgano encargado de las funciones de instrucción de expedientes de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia en materia de comunicaciones electrónicas y del sector audiovisual, con el objetivo de regular, supervisar y controlar el correcto funcionamiento de los mercados de comunicaciones electrónicas y de comunicación audiovisual.



Figura 1.35. Logo de CMT y CNM.

Visita la web de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia concretamente la sección de las comunicaciones electrónicas y del sector audiovisual:



<https://www.cnmc.es/ambitos-de-actuacion/telecomunicaciones>

1.7.2. Ley de Telecomunicaciones

Dero la Ley 11/1998, de 24 de abril, General de Telecomunicaciones, y la Ley 32/2003, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones.

La ley tiene dos grandes objetivos:

- Facilitar el despliegue de las redes de nueva generación fijas y móviles, ampliando su cobertura.
- Mejorar la oferta de servicios innovadores a los ciudadanos, de mayor calidad y a unos precios más asequibles, impulsando unas condiciones más efectivas de competencia.

Los ejes fundamentales son:

1. **Impulso a la competencia** y mejora de los servicios a los usuarios.
2. Recuperar la **unidad de mercado**.
3. Eliminar y reducir **cargas administrativas** a los operadores.
4. Facilitar el **despliegue de redes**.

Las medidas básicas son:

- a) Impulso a la competencia y mejora de los servicios a los usuarios:
 - Se establecen medidas dirigidas a garantizar que con carácter periódico se realicen los análisis de los distintos mercados.
 - Se clarifica la actuación de las Administraciones Públicas en la explotación de redes y provisión de servicios de telecomunicaciones.
 - Se mejoran los derechos de los usuarios de telecomunicaciones relacionados con la protección de datos de carácter personal y la privacidad de las personas.
 - Se refuerza la potestad inspectora y sancionadora para impedir la comisión de infracciones en materia de telecomunicaciones:
 - Se elevan las cuantías de las sanciones, hasta los 20 millones de euros para infracciones muy graves.
 - Se establecen nuevas infracciones administrativas, por ejemplo para una mejor protección del espectro radioeléctrico.
 - Se crea una Comisión Interministerial sobre radiofrecuencias y salud.
- b) Recuperar la unidad de mercado y frenar la dispersión normativa:
 - Se han diseñado nuevos mecanismos de coordinación y colaboración del Estado con las CC. AA. y las entidades locales que faciliten los despliegues.
 - Las redes públicas de comunicaciones electrónicas constituyen un equipamiento de carácter básico y su instalación se configura como obra de interés general. Se establece la obligación de instalar estas redes en zonas de nueva urbanización.
 - Se establecen requisitos técnicos comunes para el despliegue de redes, así como límites máximos únicos en todo el territorio nacional de emisión y exposición a campos electromagnéticos.
- c) Simplificación administrativa:

- Se simplifican los procedimientos administrativos estatales para acceder al uso del espectro radioeléctrico.
 - Se suprimen las licencias urbanísticas y medioambientales para el despliegue de redes de telecomunicaciones en dominio privado. Las licencias serán sustituidas por declaraciones responsables.
- d) Facilitar el despliegue de redes, poniendo a disposición de los operadores los recursos necesarios para ello:
 - Se adoptan medidas dirigidas a facilitar el despliegue de las redes fijas de telecomunicación en los edificios y garantizar el derecho de cualquier usuario a poder acceder a las redes ultrarrápidas. Los operadores podrán utilizar los elementos comunes de los edificios en régimen de propiedad horizontal para instalar dichos accesos ultrarrápidos.
 - Para desplegar las nuevas redes de telecomunicación, los operadores podrán reutilizar las canalizaciones, conductos y emplazamientos de titularidad pública o de otras redes de operadores privados, al objeto de minimizar las obras en los despliegues y con ello las molestias a los ciudadanos.
 - e) Regula las funciones de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia en materia de telecomunicaciones.

Actividades propuestas

- 1.12. Consulta la Ley 9/2014, de 9 de mayo, de Telecomunicaciones y averigua, respecto a las clasificaciones de infracciones muy graves, ¿cuál de las siguientes afirmaciones es correcta?
 - a) La emisión de señales de identificación falsas o engañosas.
 - b) La instalación, puesta en servicio o utilización de terminales o de equipos conectados a las redes públicas de comunicaciones electrónicas que no hayan evaluado su conformidad, conforme al Título IV de esta Ley.
 - c) El ejercicio de la actividad de instalación y mantenimiento de equipos y sistemas de telecomunicación sin haber efectuado la declaración responsable o sin cumplir los requisitos a los que se refiere el Artículo 59 de esta Ley.
 - d) La instalación de estaciones radioeléctricas sin autorización, cuando, de acuerdo con lo dispuesto en la normativa reguladora de las telecomunicaciones, sea necesaria, o la instalación de estaciones radioeléctricas con características distintas a las autorizadas o, en su caso, a las contenidas en el proyecto técnico aprobado.

- e) La realización de emisiones radioeléctricas no autorizadas que vulneren o perjudiquen el desarrollo o implantación de lo establecido en los Planes de utilización del dominio público radioeléctrico o en el Cuadro nacional de atribución de frecuencias.



En los recursos digitales disponibles en www.parainfo.es se adjunta la Ley 9/2014, de 9 de mayo, de Telecomunicaciones.

1.7.3. Ley General de la Comunicación Audiovisual

La Ley 7/2010, de 31 de marzo, General de la Comunicación Audiovisual, regula la normativa básica del servicio público de radio, televisión y oferta interactiva, las condiciones de prestación y los derechos de los prestadores del servicio de comunicación audiovisual y, en particular, la comunicación audiovisual de cobertura estatal.

La CNMC debe asegurar el cumplimiento de la Ley General de la Comunicación Audiovisual (Ley 7/2010), y la Ley 6/2012, de 1 de agosto, de modificación de la Ley 7/2010, de 31 de marzo, General de la Comunicación Audiovisual, para flexibilizar los modos de gestión de los servicios públicos de comunicación audiovisual autonómicos, regulando y aportando norma sobre:

- Los servicios de comunicación audiovisual como servicios de interés general, en concreto sobre la explotación de redes de comunicación electrónica y servicios de comunicación audiovisual.
- Nuevas formas de comunicación audiovisual: televisión en movilidad, televisión en alta definición...



Figura 1.36. Sala de realización de Canal Sur Televisión, durante la emisión de un informativo. (Cortesía de Julián Rojas.)

1.7.4. Planes Técnicos Nacionales de Radiodifusión

El Gobierno desarrolla mediante real decreto las condiciones para la adecuada administración del dominio público radioeléctrico elaborando los planes técnicos nacionales de radiodifusión y televisión.

Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Ondas Medias (hectométricas): fue aprobado por Real Decreto 765/1993, de 21 de mayo (BOE núm. 139, de 11 de junio de 1993).

Este Plan establece que las entidades habilitadas para la prestación de los servicios de radiodifusión sonora en ondas medias (licencia del servicio) son:

- La Corporación de Radio y Televisión Española, S. A., a través de la Sociedad Mercantil Estatal Radio Nacional de España (RNE).
- Las personas físicas o jurídicas mediante concesión administrativa otorgada por el Estado para la explotación en gestión indirecta.

Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora en Ondas Métricas con Modulación de Frecuencia: fue aprobado por Real Decreto 964/2006, de 1 de septiembre (BOE núm. 223, de 18 de septiembre de 2006) y deroga el Real Decreto 169/1989, de 10 de febrero, por el que se aprobó el Plan técnico nacional de radiodifusión sonora en ondas métricas con modulación de frecuencia, y el Real Decreto 1388/1997, de 5 de septiembre, por el que se aprobó un incremento de frecuencias para gestión indirecta de emisoras, dentro del Plan técnico nacional de radiodifusión sonora en ondas métricas con modulación de frecuencia.

Este Plan establece que las entidades habilitadas para la prestación de los servicios de radiodifusión sonora en frecuencia modulada (licencia del servicio) son:

- La Corporación de Radio y Televisión Española, S. A., a través de la Sociedad Mercantil Estatal Radio Nacional de España (RNE).
- Los entes públicos con competencia en la materia de las comunidades autónomas (emisoras FM autonómicas).
- Las corporaciones locales mediante concesión administrativa otorgada por los órganos competentes de las comunidades autónomas (emisoras FM municipales).
- Las personas físicas o jurídicas mediante concesión administrativa otorgada por los órganos competentes de las comunidades autónomas, o en su caso por el Estado, para la explotación en gestión indirecta.



Figura 1.37. Sintonizador de las emisoras de entidades habilitadas para la prestación de los servicios de radiodifusión sonora.

Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora Digital Terrestre: fue aprobado por Real Decreto 1287/1999, de 23 de julio (BOE núm. 177, de 26 de julio de 1999), complementado por la Orden de 15 de octubre de 2001 (BOE núm. 266, de 6 de noviembre de 2001) y modificado por Real Decreto 802/2011, de 10 de junio (BOE núm. 153, de 28 de junio de 2011).

Este Plan establece que las entidades habilitadas para la prestación de los servicios de radiodifusión sonora digital (licencia del servicio) son:

- La Corporación de Radio y Televisión Española, S. A., a través de la Sociedad Mercantil Estatal Radio Nacional de España (RNE).
- Las personas físicas o jurídicas mediante concesión administrativa otorgada por el Estado para la explotación en gestión indirecta en las redes de cobertura estatal.
- Los entes públicos con competencia en la materia de las comunidades autónomas.
- Las personas físicas o jurídicas mediante concesión administrativa otorgada por los órganos competentes de las comunidades autónomas para la explotación en gestión indirecta en las redes de cobertura territorial autonómica.
- Las personas físicas o jurídicas mediante concesión administrativa otorgada por los órganos competentes de las comunidades autónomas para la explotación en gestión indirecta en una demarcación de cobertura local.

Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Terrestre: fue aprobado por Real Decreto 944/2005, de 29 de julio (BOE núm. 181, de 30 de julio de 2005). El Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Local fue aprobado por Real Decreto 439/2004, de 12 de marzo (BOE núm. 85, de 8 de abril de 2004), y complementado por Real Decreto 2268/2004, de 3 de diciembre (BOE núm. 292, de 4 de diciembre de 2004).

El Plan Nacional de Transición a la Televisión Digital Terrestre fue aprobado por Acuerdo del Consejo de Ministros de 7 de septiembre de 2007.

Las entidades habilitadas para la prestación de los servicios de televisión con tecnología digital (licencia del servicio) son:

- La Corporación de Radio y Televisión Española, S. A., a través de la Sociedad Mercantil Estatal Televisión Española (TVE).
- Las sociedades anónimas mediante concesión administrativa otorgada por el Estado para la explotación en gestión indirecta en una red de cobertura estatal actuales:
 - ATRESMEDIA Corporación de Medios de Comunicación, S. A.
 - MEDIASET España Comunicación, S. A.
 - Sociedad Gestora de Televisión Net TV (SGT Net TV).
 - Veo Televisión, S. A., que alquila su otra frecuencia a 13TV, S. A.
- Los entes públicos con competencia en la materia de las comunidades autónomas que han obtenido la concesión para la gestión directa de la televisión en un múltiple digital de ámbito territorial autonómico.
- Las personas físicas o jurídicas mediante concesión administrativa otorgada por los órganos competentes de las comunidades autónomas para la explotación en gestión indirecta en un múltiple digital de cobertura territorial autonómica.
- Los municipios y las organizaciones territoriales insulares mediante concesión administrativa otorgada por los órganos competentes de las comunidades autónomas para la explotación en gestión indirecta en una demarcación de cobertura local.
- Las personas físicas o jurídicas mediante concesión administrativa otorgada por los órganos competentes de las comunidades autónomas para la explotación en gestión indirecta en una demarcación de cobertura local.

En cualquier caso, en los cuatro Planes Técnicos Nacionales, el derecho de uso del dominio público radioeléctrico necesario para la prestación del servicio requiere del correspondiente título habilitante cuyo otorgamiento corresponde al Estado, que revestirá la forma de afectación demanial o concesión administrativa para el uso privativo del dominio público radioeléctrico (licencia de la frecuencia).



Figura 1.38. Canales de las entidades habilitadas para la prestación de los servicios de TDT.

Sabías que...

Puedes consultar los Planes Técnicos Nacionales sobre Radio y Televisión de:

- Radiodifusión sonora en ondas medias (OM).
- Radiodifusión sonora en frecuencia modulada (FM).
- Radiodifusión sonora digital terrestre (RD) y su modificación.
- Televisión digital terrestre (TD).



En los recursos digitales disponibles en www.paraninfo.es se incorporan los cinco documentos.

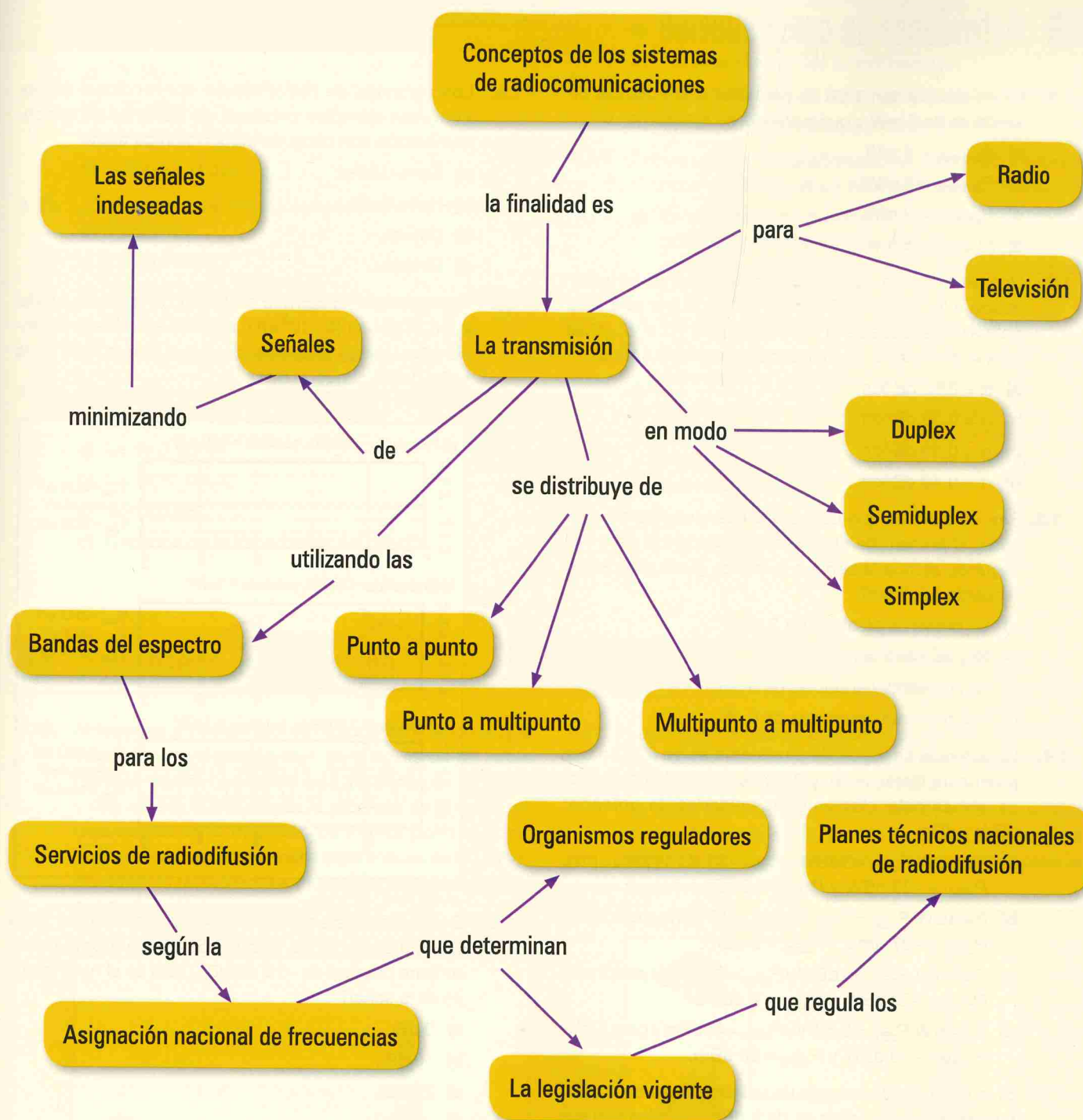
Actividades propuestas

1.13. Consulta en los recursos digitales disponibles en www.paraninfo.es  el marco regulatorio de la radiodifusión sonora en ondas métricas con modulación de frecuencia y después indica la respuesta incorrecta:

- a) Las competencias para la adjudicación de emisoras de radiodifusión sonora en ondas métricas con modulación en frecuencia en la Comunidad

Autónoma de Andalucía residen en la Junta de Andalucía.

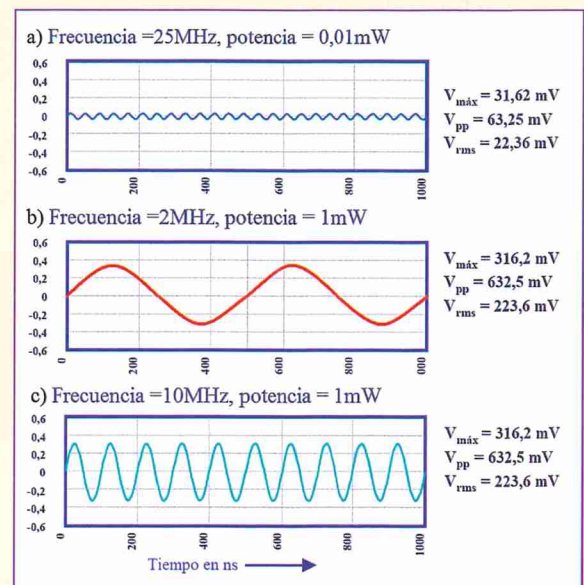
- b) El Real Decreto 964/2006, de 1 de septiembre, aprueba el Plan técnico nacional de radiodifusión sonora en ondas métricas con modulación de frecuencia y la regulación de la posterior asignación de frecuencias para la prestación de servicios de radiodifusión sonora en ondas métricas con modulación de frecuencia, cuya competencia corresponde al Estado.
- c) La zona de cobertura de una estación de radiodifusión sonora en frecuencia modulada es la superficie territorial, que abarca a la zona de servicio, en donde la señal deseada supera el efecto combinado de las señales interferentes y del ruido radioeléctrico, al menos, durante el 99 % del tiempo y, al menos, en el 90 % de las ubicaciones.
- d) Para las emisoras correspondientes a las corporaciones locales la potencia radiada aparente de referencia será de 500 W en municipios con población superior a 50 000 habitantes, 150 W en municipios con población entre 10 000 y 50 000 habitantes, y 50 W en municipios con población inferior a 10 000 habitantes.



Actividades de comprobación

- 1.1. En un circuito con 3 dB de pérdidas, si la potencia de salida es de 2 mW, ¿qué potencia ha entrado en él?
 - a) $P_{\text{entrada}} = 4 \text{ mW}$.
 - b) $P_{\text{entrada}} = 3 \text{ mW}$.
 - c) $P_{\text{entrada}} = 2 \text{ mW}$.
 - d) $P_{\text{entrada}} = 5 \text{ mW}$.
- 1.2. Una señal óptica con una potencia de 4 mW es transmitida a lo largo de 10 km de distancia por una fibra óptica y a la salida de la línea se obtiene 1,2 mW. ¿Cuál será el coeficiente de atenuación de la fibra óptica?
 - a) $\alpha = 0,52 \text{ dB/km}$.
 - b) $\alpha = 0,25 \text{ dB/km}$.
 - c) $\alpha = 0,43 \text{ dB/km}$.
 - d) $\alpha = 0,42 \text{ dB/km}$.
- 1.3. Sea un sistema que consta de dos circuitos en cascada, el primero de ellos tiene una ganancia de 4 y el segundo atenúa la señal a la mitad. ¿Este dispositivo presenta pérdidas?
 - a) Sí, presenta pérdidas de 3 dB.
 - b) No, las pérdidas son 0 dB.
 - c) No, presenta ganancias de 3 dB.
 - d) No, presenta ganancias de 6 dB.
- 1.4. La potencia de salida de un sistema es de 5 W en una prueba de transmisión, y 2 mW en la siguiente. Expresa ambas potencias en otras unidades de potencia: dBW y dBm.
 - a) Para 5 W, $P_{\text{dBW}} \approx 3 \text{ dBW}$ y $P_{\text{dBm}} \approx 33 \text{ dBm}$ y para 2 mW, $P_{\text{dBW}} \approx -33 \text{ dBW}$ y $P_{\text{dBm}} \approx 13 \text{ dBm}$.
 - b) Para 5 W, $P_{\text{dBW}} \approx 7 \text{ dBW}$ y $P_{\text{dBm}} \approx 37 \text{ dBm}$ y para 2 mW, $P_{\text{dBW}} \approx -27 \text{ dBW}$ y $P_{\text{dBm}} \approx 3 \text{ dBm}$.
 - c) Para 5 W, $P_{\text{dBW}} \approx 5 \text{ dBW}$ y $P_{\text{dBm}} \approx 35 \text{ dBm}$ y para 2 mW, $P_{\text{dBW}} \approx -20 \text{ dBW}$ y $P_{\text{dBm}} \approx 2 \text{ dBm}$.
 - d) Para 5 W, $P_{\text{dBW}} \approx 5 \text{ dBW}$ y $P_{\text{dBm}} \approx 45 \text{ dBm}$ y para 2 mW, $P_{\text{dBW}} \approx -20 \text{ dBW}$ y $P_{\text{dBm}} \approx 20 \text{ dBm}$.
- 1.5. Si la potencia de entrada de un sistema es de 3 dBW y su potencia de salida es de 0 dBm, ¿cuáles son sus pérdidas?
 - a) $L = -3 \text{ dB}$.
 - b) $L = -33 \text{ dB}$.
 - c) $L = -3,3 \text{ dB}$.
 - d) $L = -33,3 \text{ dB}$.

- 1.6. Los sistemas de radiodifusión convencional (radio, TV...) son ejemplos prácticos de sistemas de telecomunicación con canal de transmisión de tipo:
 - a) Semi-dúplex.
 - b) Half-dúplex.
 - c) Dúplex.
 - d) Simplex.
- 1.7. Representa en el dominio del tiempo la señal sinusoidal $v = 0,3162 \sin(4 \cdot 10^6 \pi t)$ y obtén el valor de la potencia y los valores máximos, de pico a pico y RMS en la señal de RF con $R_1 = 50 \Omega$.



- 1.8. En un cierto sistema de radiocomunicaciones se tiene un nivel de señal de 10 dBm. Si en ese mismo punto se tiene un nivel de -10 dBm, ¿cuál es el nivel relativo de la señal?
 - a) 0 dBr.
 - b) 10 dBr.
 - c) 20 dBr.
 - d) -20 dBr.
- 1.9. Si una señal de 0 dBm atraviesa un dispositivo que divide por dos la potencia, la potencia de salida es:
 - a) 0 dBm.
 - b) -2 dBm.
 - c) -3 dBm.
 - d) -6 dBm.

- 1.10.** Si en un mismo punto coinciden dos señales aleatorias, una de -10 dBm y otra de 3 dBm, la potencia total será:
- -7 dBm.
 - -30 dBm.
 - $10\log(2,1)$ dBm.
 - $-10\log(2,1)$ dBm.
- 1.11.** ¿Qué señal tiene más potencia, una de 0 dBW o una de 30 dBm?
- La de 0 dBW.
 - La de 30 dBm.
 - Son iguales.
 - Depende de la impedancia del circuito.
- 1.12.** ¿Qué señal tiene más potencia, una de 0 dBmV o una de 30 dB μ V?
- La de 0 dBmV.
 - La de 30 dB μ V.
 - Son iguales.
 - Depende de la impedancia del circuito.
- 1.13.** El ruido de intermodulación es debido a:
- Interferencias de sistemas externos.
 - No linealidad de los amplificadores.
 - Distorsión lineal de fase y amplitud del sistema.
 - Todas las respuestas anteriores son falsas.
- 1.14.** Señala cuál de estas afirmaciones es correcta sobre la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia:
- Es un organismo público con personalidad jurídica propia. Es independiente del gobierno y está sometido al control parlamentario. Entró en funcionamiento el 7 de octubre de 2013.
 - Depende del Ministerio de Ciencia y Tecnología.
 - Fue fundada por la Ley 7/2010, de 31 de marzo, General de la Comunicación Audiovisual.
 - Se superpone a la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones como Autoridad Nacional de Regulación (ANR) del sector de las telecomunicaciones en España.

Actividades de aplicación

- 1.15.** Si tenemos un transmisor en radiocomunicaciones que transmite una potencia de 1 W, a través de un cable hasta la antena que divide esta potencia por la mitad, y una antena que aumenta la potencia de la señal radioeléctrica en la dirección de interés por 10 veces, realiza el cálculo en unidades logarítmicas de la potencia de señal radioeléctrica y las pérdidas que se producen en el cable.

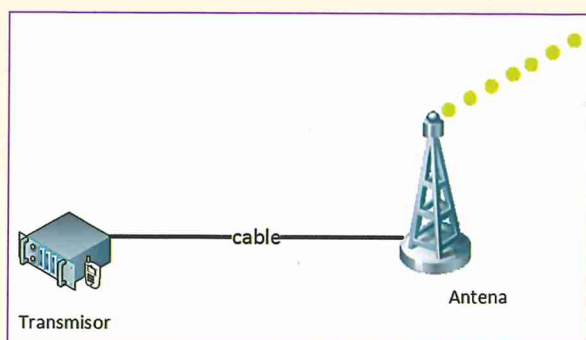


Figura 1.39. Transmisor en radiocomunicaciones.

- 1.17.** Supongamos que en el sistema de radiocomunicaciones existen dos transmisores idénticos que transmiten la señal a una potencia de 1 W cada uno, ambos con su cable atenuador de atenuación 2 , y con su antena que multiplica la señal por 10 . Realiza el cálculo de la potencia total transmitida entre los dos y la potencia de señal radioeléctrica.

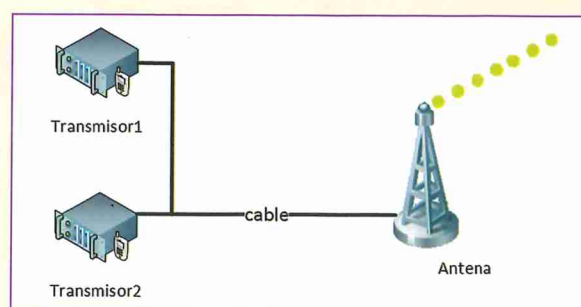


Figura 1.40. Transmisores conectados a una antena de radiocomunicaciones.

- 1.16.** Comprueba que el resultado de la actividad anterior es el mismo en unidades naturales que el resultado obtenido en unidades logarítmicas.

- 1.18.** Repite la actividad anterior asumiendo que la potencia transmitida por cada transmisor es de 5 mW. Realiza el cálculo de la potencia total transmitida entre los dos y la potencia de señal radioeléctrica en dBW.

- 1.19.** Un transmisor transmite a través del aire una potencia de 1 W. En la antena de un receptor se mide la potencia recibida, obteniéndose -40 dBm. Realiza el cálculo de la atenuación que sufre la señal enviada durante su viaje por el aire. Si se quiere obtener en el receptor una potencia de -15 dBm y se pone un amplificador tras la antena para aumentar la potencia recibida, ¿cuál sería la ganancia, en unidades naturales y en unidades logarítmicas, que debería tener el amplificador?

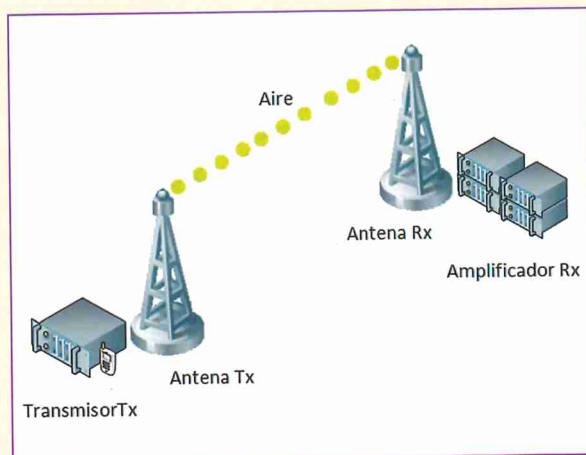


Figura 1.41. Sistema transmisor y receptor en radiocomunicaciones.

- 1.20.** En el sistema reemisor de una estación terrenal que efectúa radiocomunicaciones terrenales participando en una transmisión punto a punto, simplex, calcula las ganancias de voltaje, corriente y potencia.

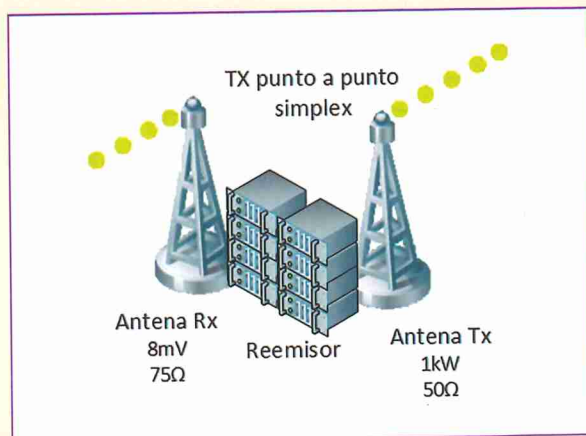


Figura 1.42. Sistema reemisor de una estación terrenal.

- 1.21.** Al transmitir una señal de RF a través de un atenuador sufre una atenuación de 10 dB. Si necesitamos recibir en un extremo 2 W de potencia, ¿cuántos dBm deberá tener la señal que se envíe en el otro extremo?

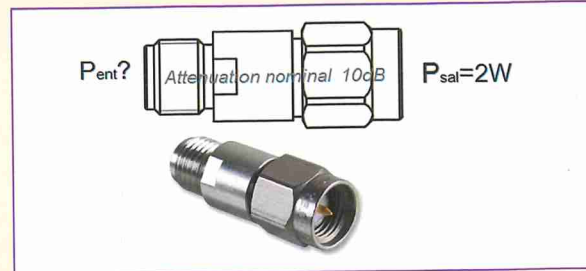


Figura 1.43. Atenuador de radiocomunicaciones.

- 1.22.** Se tiene un amplificador de un transmisor de una estación de radioenlace cuya ganancia es de 20 dB. Si la potencia de la señal de entrada es 1 W, ¿qué potencia en W tendrá a la salida del mismo? ¿Y si el amplificador tuviera 40 dB de ganancia?

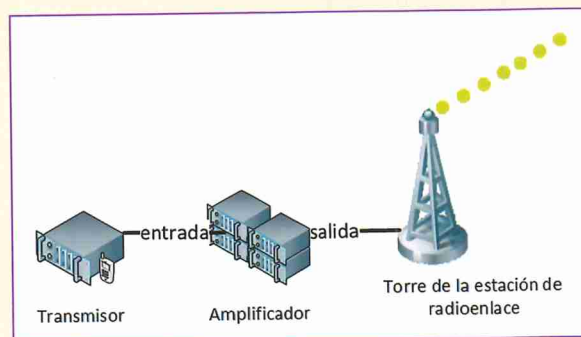


Figura 1.44. Estación de radioenlace.

- 1.23.** Al transmitir una señal a 750 MHz a la salida del amplificador acoplado a un transmisor de una emisora a través de un cable coaxial hasta la torre de transmisión sufre una atenuación de 10 dB. Si necesitamos recibir a la entrada de la caseta de la torre de transmisión 2 W de potencia, ¿cuántos dBm deberá tener la señal que se envíe a la salida del amplificador de la emisora? Si disponemos de un rollo de 300 metros de cable coaxial LMR 600, negro, con una atenuación a 750 MHz de 7,4 dB/100 m, ¿cuántos rollos harán falta?

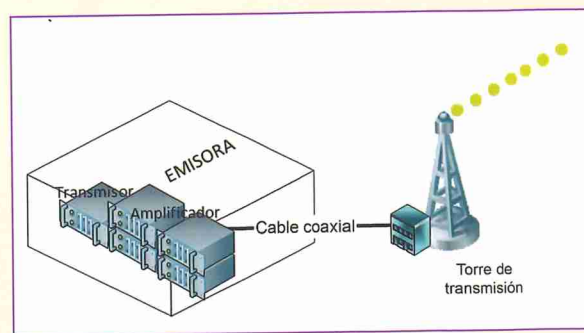


Figura 1.45. Emisora con torre de transmisión.

- 1.24.** Supongamos que estamos transmitiendo una señal de una emisora de FM, centrada en los 89,000 MHz. La señal, centrada en esta frecuencia, tiene un ancho de banda de 200 kHz (desde los 88,900 MHz hasta los 89,100 MHz veremos que hay potencia de señal). Si medimos una densidad espectral de potencia de ruido de $n_0 = 10^{-10}$ W/Hz, entonces ¿cuál es la potencia de ruido total en W y dBW? ¿Cuánto afecta el ruido a la señal que llega a un receptor si tiene una potencia de 1 mW?

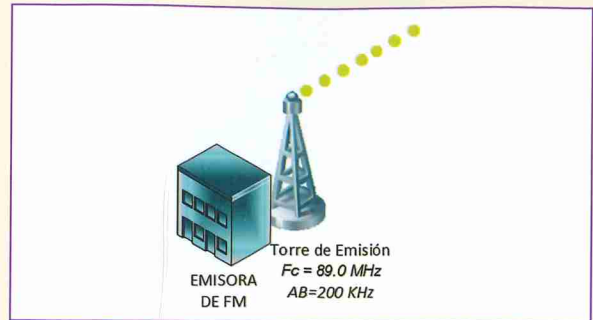


Figura 1.46. Emisora de FM.

Actividades de ampliación

- 1.25.** (Simulación) Con un generador de señales genera una señal sinusoidal de 1 V de amplitud y 1 kHz de frecuencia, usando el osciloscopio, obtén su representación en el tiempo y realiza la operación FFT obtenido el espectro de amplitud, u obsérvela en el analizador de espectros.
- 1.26.** ¿Cuáles son los parámetros principales del analizador de espectros? ¿Cuál es la utilidad del analizador de espectros?
- 1.27.** ¿Qué organismo internacional se encarga de gestionar el espectro de frecuencias?
- 1.28.** ¿Qué rango de frecuencias abarca el espectro de radiofrecuencia?
- 1.29.** ¿Qué tipos de señales indeseables ocurren en los sistemas de radiocomunicaciones?
- 1.30.** Averigua en internet sobre los siguientes servicios, qué son y para qué se utilizan. ¿A qué rango del espectro radioeléctrico pertenecen dichas frecuencias según su estándar asociado y qué velocidades utilizan según el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF)? Para: Wi-Fi, Bluetooth, RFID, Navegador GPS, TDT, Radio FM, Radio AM, Radiodifusión sonora digital (RD), UMTS y TETRA.
- 1.31.** Busca un ejemplo práctico de un sistema de radiocomunicaciones con un único canal de transmisión simplex y otro con un canal de transmisión semi-dúplex.
- 1.32.** Describe qué son las microondas, compara su longitud de onda con las de banda comercial de FM y su rango de frecuencias, indica una aplicación de radiocomunicaciones y el modo de propagación.



Prácticas profesionales

El guion para realizar esta práctica lo encontrarás entre los recursos digitales del libro, disponibles en www.paraninfo.es, mediante un sencillo registro desde la sección de «Recursos previo registro» de la ficha web de la obra .

1.1. Visualización del espectro radioeléctrico con el analizador de espectros.