

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS RADIOELÉCTRICOS

1.1. RADIOCOMUNICACIÓN: TÉRMINOS Y DEFINICIONES FUNDAMENTALES

La radiocomunicación puede definirse como Telecomunicación realizada por medio de las ondas radioeléctricas. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), define las ondas radioeléctricas como las ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin guía artificial y cuyo límite superior de frecuencia se fija, convencionalmente, en 3.000 GHz.

La radiocomunicación que hace uso de elementos situados en el espacio, se denomina radiocomunicación espacial. Toda radiocomunicación distinta de la espacial y de la radioastronomía, se llama radiocomunicación terrenal.

La técnica de la radiocomunicación consiste en la superposición de la información que se desea transmitir en una onda electromagnética soporte, llamada portadora. La inserción de esa información constituye el proceso denominado modulación. Como consecuencia del mismo, se genera una onda modulada, cuyo espectro contiene un conjunto de frecuencias en torno a la portadora. La onda modulada se envía al medio de propagación a través de un dispositivo de acoplamiento con el medio denominado antena.

El conjunto de equipos para el tratamiento de la información: moduladores, filtros, antenas, en un sistema de radiocomunicación, constituye la estación transmisora, o, abreviadamente, el transmisor.

En general, se llama radiación al flujo saliente de energía de una fuente cualquiera, en forma de ondas electromagnéticas. Se entiende por emisión la producción de radiación o la radiación producida por una estación transmisora radioeléctrica. Por lo tanto, el proceso de radiación de una onda modulada es una emisión. En ocasiones, elementos de un sistema de radio-

comunicaciones o, en general cualquier equipo eléctrico, pueden producir y enviar ondas parásitas o no deseadas, lo cual constituye una radiación y se habla así de radiaciones parásitas.

La onda modulada generada en la estación transmisora y emitida al medio de propagación, alcanza el punto o puntos de destino y accede al sistema receptor por medio de una antena de recepción, la cual recoge una fracción de la energía radioeléctrica transmitida. El conjunto de equipos para el tratamiento de la señal recibida: antena, amplificadores, demodulador, filtros, constituye la estación receptora de un sistema de radiocomunicación.

Los órganos de transmisión, recepción y antenas, contribuyen positivamente a la radiocomunicación. El medio de transmisión introduce en cambio pérdidas, y diversos tipos de perturbaciones, tales como distorsión, ruido e interferencias.

Debido a las características de propagación de las ondas radioeléctricas, es muy frecuente que en el receptor estén presentes no sólo la señal procedente del transmisor con el que efectúa la radiocomunicación (señal deseada), sino también diversas señales emitidas para otros destinos. Se denomina, a cada una de éstas últimas, señal interferente o no deseada.

Un caso particular de señal no deseada, es la perturbación debida al ruido, que puede ser de origen natural (radiación cósmica, ruido atmosférico) o artificial (parásitos producidos por motores, ruido originado por los sistemas de ignición de vehículos, etc.).

La potencia extraída de la onda radioeléctrica por el receptor debe competir con la potencia del ruido e interferencias. Por consiguiente, se establece, en función de la clase de radiocomunicación y frecuencia de portadora, un valor umbral de la potencia de señal deseada por debajo del cual, prácticamente, no puede recuperarse la información.

Alternativamente, se define como umbral de calidad la relación mínima admisible entre la potencia de la señal útil y la potencia equivalente del ruido y la interferencia. Estas potencias dependen de numerosos factores que varían en función de la frecuencia y anchura de banda de la emisión, localidad y características del entorno de recepción, hora del día y estación del año.

El alcance útil o cobertura de una emisión radioeléctrica depende del tipo e intensidad de las perturbaciones. Cuando solamente interviene el ruido, se habla de cobertura limitada por ruido y el umbral suele expresarse como la potencia mínima necesaria para una cierta calidad de recepción. Esta situación no suele ser la más usual. Debido a la creciente utilización de las radiocomunicaciones para la telecomunicación, es muy frecuente que existan numerosas señales interferentes en el receptor deseado y sea necesario aceptar tal situación de interferencia. Cuando prevalecen las interferencias sobre el ruido, se habla de cobertura limitada por interferencia. En estos casos, se establece el alcance de cobertura en función de la relación de potencias entre la señal deseada y la señal interferente total, denominada relación de protección, también para una calidad de recepción especificada.

En el estudio de la interferencia intervienen no sólo las frecuencias de las señales interferentes, sino también sus características de emisión y anchura de banda.

Existe otro tipo de perturbación asociada a la propagación de una onda radioeléctrica que es la distorsión generada por anomalías en dicha propagación, por ejemplo el fenómeno de multitrayecto y el efecto Doppler. Esta distorsión puede degradar sustancialmente la señal e imposibilitar la recuperación de la información, por lo que debe compensarse mediante técnicas adecuadas como son la recepción por diversidad y la equalización.

En la Fig. 1.1 se representa un modelo básico que puede utilizarse para el estudio y análisis de un sistema de radiocomunicación.

Se indican el enlace útil, así como las actuaciones del ruido y de una señal interferente, reseñándose dentro de cada bloque conceptual, los factores y parámetros técnicos que es necesario tener en cuenta en los proyectos y estudios de los sistemas de radiocomunicación.

En el esquema básico de la Fig. 1.1 deben resaltarse los siguientes interfaces:

1. Entrada de la señal de información al modulador.
2. Salida de la señal modulada.
3. Salida de la señal amplificada y filtrada del transmisor con destino a la antena o sistema radiante de transmisión.
4. Emisión de la portadora modulada.
5. Llegada de las señales (deseada, interferentes y ruido) al receptor.
6. Entrada al demodulador del receptor.
7. Recuperación de la información.
8. Actuación del ruido sobre el receptor.

1.2. SERVICIOS DE RADIOCOMUNICACIÓN

Se denomina servicio de radiocomunicación al servicio que implica la emisión y/o recepción de ondas radioeléctricas con fines de transmisión/recepción de información, para la cobertura de necesidades de telecomunicación o de tipo científico o industrial.

Los servicios se clasifican de diferentes formas, según el tipo de radiocomunicación. Podemos citar, en primer lugar, tres amplias clases:

1. Servicio fijo, que es el que se presta entre puntos fijos determinados.
2. Servicio móvil, que se realiza con estaciones móviles entre sí o con una o más estaciones fijas.
3. Servicio de radiodifusión, caracterizado porque sus emisiones se destinan a la recepción directa por el público en general.

El primer caso es un servicio del tipo punto a punto, en tanto que los otros dos son servicios de tipo punto a zona o zonales.

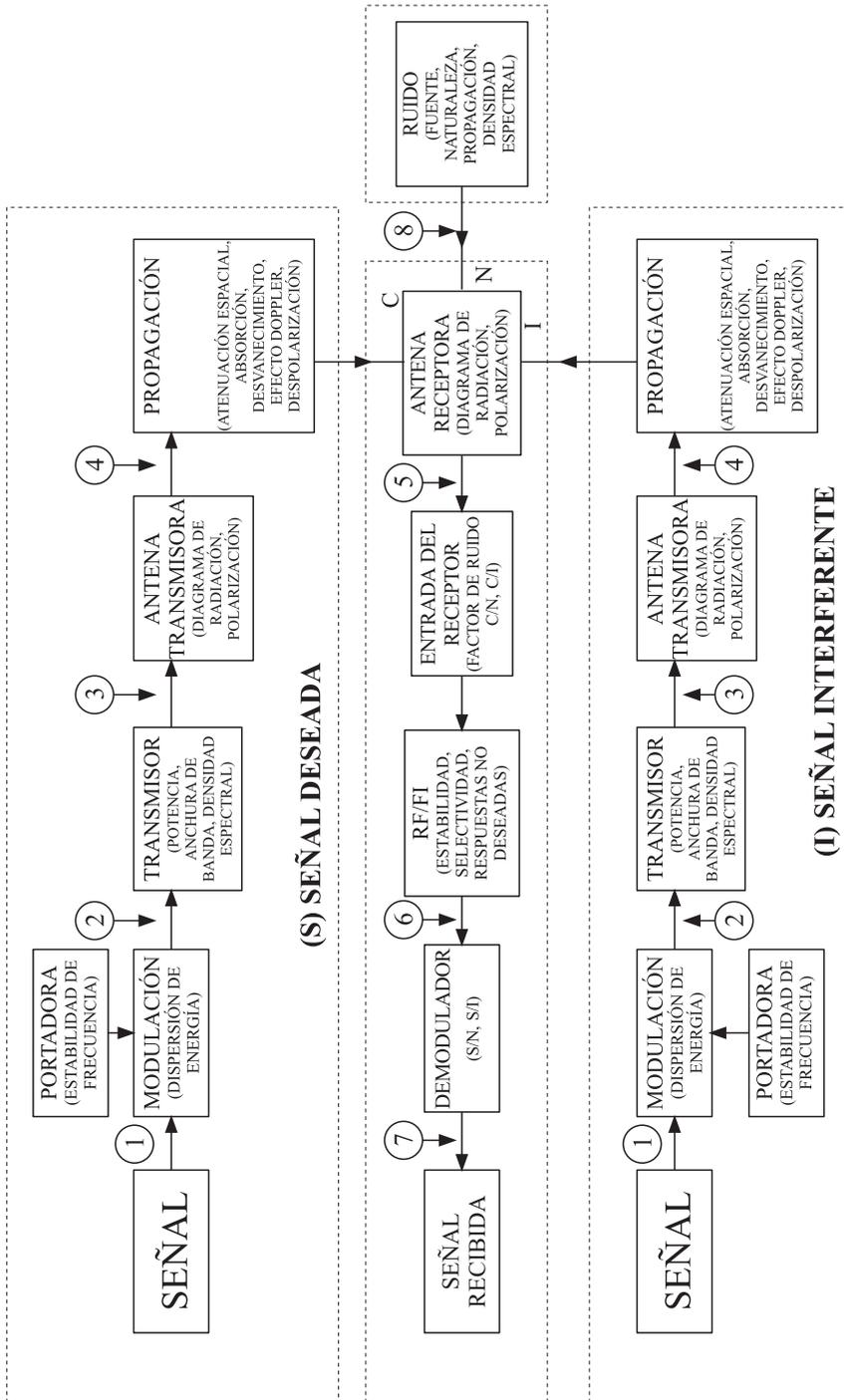


Figura 1.1.

Existen, además, otras clases de servicios caracterizados por sus aplicaciones, como son:

- Servicios de radiodeterminación, que incluyen a los de radionavegación y radiolocalización.
- Servicios de exploración de la Tierra por satélite.
- Servicios de radioastronomía e investigación espacial.
- Servicios de frecuencias patrón y señales horarias.
- Servicios de aficionados.

Todos los servicios pueden explotarse en la modalidad terrenal o por satélite, según hagan uso del respectivo tipo de radiocomunicación.

Algunas clases amplias de servicios se desglosan para su mejor consideración. Así ocurre, por ejemplo, con los servicios móviles, que se subdividen, tanto si son terrenales como por satélite, en:

- Servicio móvil terrestre.
- Servicio móvil marítimo.
- Servicio móvil aeronáutico.

1.3. ESTACIONES RADIOELÉCTRICAS

Una estación radioeléctrica es el conjunto de uno o más transmisores o receptores o una combinación de los mismos, incluyendo las instalaciones accesorias, que son necesarios para el establecimiento de un servicio de radiocomunicación en un lugar determinado.

De forma similar a los servicios, se clasifican las estaciones según el tipo de radiocomunicación con el que funcionan. Se establecen así, las siguientes clases de estaciones:

- *Estación terrenal*: aquella que efectúa radiocomunicaciones terrenales.
- *Estación espacial*: la que se encuentra en el espacio.
- *Estación terrena*: la que situada en la superficie de la Tierra, o la atmósfera, establece comunicaciones con estaciones espaciales.
- *Estación fija*: estación del servicio fijo.
- *Estación móvil*: estación del servicio móvil que se utiliza en movimiento.

1.4. MODOS DE EXPLOTACIÓN

En radiocomunicaciones bidireccionales, se distingue entre tres modos de explotación:

- *Explotación simplex*: modo de explotación que permite transmitir, alternativamente, en uno u otro sentido de un canal de radiocomunicación.

- *Explotación dúplex*: modo de explotación que permite la transmisión simultánea en los dos sentidos de un canal de radiocomunicación.
- *Explotación semidúplex*: modo de explotación símplex en un punto del enlace de radiocomunicación y dúplex en otro u otros.

La explotación dúplex y semidúplex requieren, en general, el empleo de dos frecuencias radioeléctricas. La explotación símplex puede realizarse con una o dos frecuencias.

1.5. GESTIÓN DE LAS FRECUENCIAS RADIOELÉCTRICAS

1.5.1. Consideraciones generales

La necesidad de utilización de una frecuencia radioeléctrica para cada enlace de radiocomunicación, junto con la enorme demanda de servicios de este tipo y los problemas de interferencias, implican que la asignación de frecuencias a las estaciones de radio sea un proceso complejo, que debe estar sujeto a una cuidadosa planificación.

Se acentúa este requisito por el hecho de que el espectro radioeléctrico es un recurso de la naturaleza, aunque reutilizable, muy escaso, por lo que debe tratarse de optimizar su uso, de forma que puedan utilizarlo el mayor número posible de estaciones, con un mínimo de perturbaciones mutuas. Por ello, hoy día, existe una importante disciplina en el área de las radiocomunicaciones que es la llamada «Ingeniería del Espectro» y que se ocupa de la planificación y gestión de las frecuencias.

Como, además, las ondas radioeléctricas no conocen fronteras, es necesario que la gestión tenga un alcance internacional. Por ello una parte importante de esa gestión es competencia de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y se instrumenta mediante el Reglamento de Radiocomunicaciones, donde se establecen los mecanismos de coordinación internacional para la utilización de las frecuencias.

1.5.2. Atribución, adjudicación y asignación de bandas de frecuencias

El espectro radioeléctrico se divide en Bandas de Frecuencias, las cuales se atribuyen a los diferentes servicios radioeléctricos. Tales atribuciones las efectúa la UIT en las Conferencias de Radiocomunicaciones y quedan recogidas en el Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias del Reglamento de Radiocomunicaciones.

Las Conferencias establecen también los llamados Planes de Adjudicaciones, en los que se habilitan frecuencias para su utilización por los servi-

cios de radiocomunicación terrenales o espaciales de uno o mas países o zonas geográficas.

Las Administraciones de Telecomunicaciones de los diferentes países, dentro de los Planes de Adjudicaciones, efectúan las asignaciones de frecuencias y bandas a las estaciones radioeléctricas para cada servicio de radiocomunicación.

La banda de frecuencias asignada a una estación, es la banda de frecuencias en el interior de la cual se autoriza la emisión de una estación determinada; la anchura de esta banda es igual a la anchura de banda necesaria más el doble del valor absoluto de la tolerancia de frecuencia. Cuando se trata de estaciones espaciales (satélites) la banda de frecuencias asignada incluye el doble del desplazamiento máximo debido al efecto Doppler que puede producirse con relación a un punto cualquiera de la superficie de la Tierra. Este desplazamiento es igual a v/λ , siendo v la velocidad relativa radial del satélite respecto de la estación terrena y λ la longitud de onda de la emisión.

La frecuencia asignada a una estación es el centro de la banda de frecuencias asignada a dicha estación.

1.5.3. Nomenclatura de las bandas de frecuencias

El espectro radioeléctrico se divide en nueve bandas de frecuencias, que se designan por números enteros, en orden creciente, de acuerdo con la Tabla 1.5.1. La unidad de frecuencia es el Hertzio (Hz) y las frecuencias se expresan:

- En Kilohertzios (kHz) hasta 3.000 kHz.
- En Megahertzios (MHz) por encima de 3 MHz, inclusive.
- En Gigahertzios (GHz) por encima de 3 GHz, inclusive.

Para las bandas de frecuencias por encima de 3.000 GHz conviene utilizar el Terahertzio (THz).

La designación numérica sigue la siguiente regla: la banda « N » se extiende desde $0,3 \times 10^N$ Hz a 3×10^N Hz. Suelen, también, utilizarse otras designaciones, como son:

1. Nombres abreviados en inglés (Columna 2 de la Tabla 1.5.1).
2. Utilización de un término que da idea del orden de magnitud de las longitudes de onda correspondientes a las frecuencias de las bandas (designación métrica).
3. Abreviaturas de la designación métrica.

Tabla 1.5.1

<i>Número de la banda (N)</i>	<i>Símbolos (en inglés)</i>	<i>Gamas de frecuencias (excluido el límite inferior pero incluido el superior)</i>	<i>Designación métrica correspondiente</i>	<i>Abreviaturas métricas para las bandas</i>
4	VLF	3 a 30 kHz	Ondas miriamétricas	B. Mam
5	LF	30 a 300 kHz	Ondas kilométricas	B. km
6	MF	300 a 3.000 kHz	Ondas hectométricas	B. hm
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas	B. dam
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas	B. m
9	UHF	300 a 3.000 MHz	Ondas decimétricas	B. dm
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas centrimétricas	B. cm
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas	B. mm
12		300 a 3.000 GHz	Ondas decimilimétricas	

En algunos textos del Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) y la Unión Europea de Radiodifusión (UER) relativos a radiodifusión y TV, se emplea la siguiente designación para las bandas atribuidas a estos servicios:

Banda I	41 - 68 MHz
Banda II	87,5 - 108 MHz
Banda III	162 - 230 MHz
Banda IV	470 - 582 MHz
Banda V	582 - 960 MHz
Banda VI	12 GHz (radiodifusión por satélite)

En microondas aún se emplean antiguas denominaciones derivadas del radar, como son las de la Tabla 1.5.2.

Tabla 1.5.2

<i>Banda</i>	<i>Frecuencias (GHz)</i>
L	1 - 2
S	2 - 4
C	4 - 8
X	8 - 12
Ku	12 - 18
K	18 - 27
Ka	27 - 40
Q	33 - 50
V	50 - 75
W	75 - 110

1.5.4. Cuadro de Atribución de Frecuencias

El Cuadro de Atribución de Frecuencias a los servicios de Radiocomunicación es el instrumento del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) en el que se inspira la regulación de la utilización de las frecuencias. Para tal atribución se ha dividido el mundo en tres Regiones. A grandes rasgos, la Región 1 comprende Europa, África, Siberia y algunos países de Oriente Medio; la Región 2 comprende las Américas y la Región 3 Australia, Sureste Asiático y parte del Pacífico Sur. Dentro de estas Regiones existen Zonas de Adjudicaciones especiales, como la Zona Europea de Radiodifusión, la Zona Africana de Radiodifusión, la Zona Tropical, etc.

Para regular posibles situaciones conflictivas, se distingue en el cuadro entre servicios primarios y secundarios.

Los servicios secundarios pueden utilizar las frecuencias del cuadro, pero sin producir interferencia perjudicial a las estaciones de un servicio primario o permitido, ni reclamar protección frente a interferencias perjudiciales causadas por estos servicios.

Las excepciones, observaciones u otras informaciones adicionales figuran como «Notas» al pie de cada página del cuadro.

En la Fig. 1.2 se representa, como ejemplo, una página del cuadro.

La Administración Española ha adoptado el Cuadro de la UIT añadiendo notas específicas «UN» (Utilización Nacional de frecuencias) para diferentes servicios radioeléctricos en España. El conjunto se ha publicado en un volumen titulado «Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias» (CNAF). En la Fig. 1.3 se representa, a modo de ejemplo, una página del CNAF.

MHz
420 — 470

Atribución a los Servicios							
Región 1		Región 2			Región 3		
420 — 430		FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización 651 652 653					
430 — 440 AFICIONADOS RADIOLOCALIZACIÓN 653 654 655 656 657 658 659 661 662 663 664 665		430 — 440 RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados 653 658 659 660 663 664					
440 — 450		FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización 651 652 653 666 667 668					
450 — 460		FIJO MÓVIL 653 668 669 670					
460 — 470		FIJO MÓVIL Meteorología por satélite (espacio-Tierra) 669 670 671 672					

Figura 1.2.

MHz 420-470		
ATRIBUCIÓN NACIONAL	OBSERVACIONES	USOS
420-430 FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	UN-31 UN-73 UN-74	M M
430-440 AFICIONADOS RADIOLOCALIZACIÓN	661 RR UN-30 UN-32 * USOS: E y C (según nota UN)	* M
440-460 FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	668 RR UN-31 UN-73	M M M
450-460 FIJO MÓVIL	668, 669 RR UN-33 TELEFONÍA MÓVIL AUTOMÁTICA UN-31 UN-73 UN-78 UN-84 * USOS M y C (según notas UN)	* *
460-470 FIJO MÓVIL Meteorología por satélite (espacio-Tierra)	669, 671 RR UN-31 UN-33 TELEFONÍA MÓVIL AUTOMÁTICA UN-34 RADIOBÚSQUEDA UN-73 UN-75	M M Rx

Figura 1.3.

1.6. PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DE UNA RADIOCOMUNICACIÓN

Ya hemos visto que toda radiocomunicación implica procesos de emisión, propagación y recepción de señales en forma de ondas electromagnéticas.

Cada uno de estos procesos se caracteriza mediante parámetros y definiciones específicas que figuran en el Reglamento de Radiocomunicaciones. De entre ellos, por su importancia, destacamos los siguientes:

1.6.1. Parámetros de Emisión

La emisión de señales radioeléctricas se describe mediante los siguientes conceptos:

1. *Clase de emisión.* Se denomina clase de emisión al conjunto de características de una emisión, como son: el tipo de modulación de la portadora principal, la naturaleza de la señal moduladora, tipo de información que se transmite, etc. Por ejemplo, se habla de emisión de banda lateral única y portadora reducida, emisión de doble banda lateral y portadora suprimida. La clase de una emisión se designa mediante un conjunto de símbolos normalizados.

2. *Anchuras de banda necesaria y ocupada.* Se define la anchura de banda necesaria, para una clase de emisión determinada, como la anchura de la banda de frecuencias estrictamente suficiente para asegurar la transmisión de la información a la velocidad de transmisión y con la calidad requerida en condiciones especificadas. Se define la anchura de banda ocupada como la anchura de la banda de frecuencias tal que, por debajo de su frecuencia límite inferior y por encima de su frecuencia límite superior, se emitan potencias medias iguales cada una a un porcentaje especificado, $\beta/2$, de la potencia media total de la emisión. Si no existen especificaciones del UIT-R para la clase de emisión considerada, suele adoptarse para $\beta/2$ un valor igual a 0,5 %.

3. *Tolerancia de frecuencia de una emisión.* Es la desviación máxima admisible entre la frecuencia asignada y la situada en el centro de la banda de frecuencias ocupada por una emisión.

4. *Emisiones no deseadas.* Son emisiones que se producen en un equipo como consecuencia de imperfecciones del mismo. Pueden controlarse, pero difícilmente suprimirse. Se clasifican en emisiones no esenciales y emisiones fuera de banda.

Las emisiones fuera de banda son aquéllas que se producen en una o varias frecuencias inmediatamente fuera de la anchura de banda necesaria.

Son consecuencia del proceso de modulación y por tanto su eliminación, mediante filtros, afecta directamente a la calidad de la señal.

Se llaman emisiones no esenciales a las que se producen en una o varias frecuencias situadas fuera de la anchura de banda necesaria y cuyo nivel puede reducirse sin influir en la transmisión de la información correspondiente. Las emisiones armónicas, las emisiones parásitas, los productos de intermodulación y los productos de la conversión de frecuencia están comprendidos en las emisiones no esenciales.

5. *Potencia.* La Potencia de un transmisor radioeléctrico se especifica según la clase de emisión, en una de las formas siguientes:

- Potencia en la cresta de la envolvente (PEP o P_x), denominada, abreviadamente, potencia de cresta.
- Potencia media de la onda modulada (P_m o P_y).
- Potencia de portadora (P_c o P_z).

La potencia de cresta es la media de la potencia suministrada por el transmisor a la antena en condiciones normales de funcionamiento, durante un ciclo de radiofrecuencia tomado en el valor más alto de la envolvente de modulación.

La potencia media es el valor medio de la potencia suministrada en las condiciones anteriores, evaluado durante un intervalo de tiempo suficientemente largo en comparación con el período correspondiente a la frecuencia más baja de la señal moduladora.

La potencia de portadora es el valor medio de la potencia suministrada en las condiciones anteriores, durante un ciclo de radiofrecuencia, en ausencia de modulación.

La primera especificación se aplica a clases de modulación de amplitud variable, como la banda lateral única y la segunda a clases de modulación con amplitud constante, como la modulación de frecuencia.

Existen otros términos vinculados a la potencia radiada por un transmisor radioeléctrico, como son: la potencia isótropa radiada equivalente o la potencia radiada aparente que dependen, no sólo de la potencia entregada por el transmisor, sino también del tipo de antena. Estos términos se definirán en el Capítulo 2.

6. *Polarización de una onda.* Toda onda electromagnética se caracteriza por su «polarización», definida a partir de la orientación del vector campo eléctrico. Se distinguen los siguientes casos:

- Polarización horizontal: El vector campo eléctrico se halla en un plano horizontal.
- Polarización vertical: El vector campo eléctrico se encuentra en un plano vertical.

- Polarización oblicua: El vector campo eléctrico tiene una inclinación de 45° respecto de la horizontal. Es la resultante de dos componentes de igual amplitud y fase polarizadas horizontal y verticalmente, respectivamente.
- Polarización circular: El extremo del vector campo eléctrico describe un círculo. Es la resultante de componentes polarizadas vertical y horizontalmente, de igual amplitud, y combinadas en cuadratura de fase.

1.6.2. Denominación de las emisiones

Las emisiones radioeléctricas se denominan según su anchura de banda necesaria, clase y características adicionales.

1. La anchura de banda necesaria se expresa mediante tres cifras y una letra, la cual ocupa la posición de la coma decimal e indica la unidad de medida de la anchura. Dicha anchura se expresa como sigue:

- Entre 0,001 y 999 Hz, en Hz (letra *H*).
- Entre 1,00 y 999 KHz, en kHz (letra *K*).
- Entre 1,00 y 999 MHz, en MHz (letra *M*).
- Entre 1,00 y 999 GHz, en GHz (letra *G*).

La denominación ha de tener siempre 4 caracteres.

En el Apéndice 6 al Reglamento de Radiocomunicaciones se dan fórmulas y ejemplos para el cálculo de la anchura de banda de diferentes clases de emisiones.

A continuación se facilitan algunos ejemplos de representación normalizada de la anchura de banda necesaria (ABN):

<i>ABN</i>	<i>Código</i>
400 Hz	400 H
2,4 kHz	2 K40
180,4 kHz	180 K
180,6 kHz	181 K
1,25 MHz	1 M25
10 MHz	10 M0

2. La clase de emisión se representa mediante tres símbolos, que describen características esenciales de la emisión. Opcionalmente pueden utilizarse símbolos para indicar características adicionales.

El primer símbolo expresa el tipo de modulación de la portadora principal, por ejemplo:

<i>Modulación</i>	<i>Símbolo</i>
Ninguna (onda continua)	N
Amplitud, doble banda lateral	A
Banda lateral única, portadora completa	H
Banda lateral residual	C
Frecuencia	F

El segundo símbolo hace referencia a la naturaleza de la señal moduladora, por ejemplo:

<i>Señal moduladora</i>	<i>Símbolo</i>
Ninguna	0
1 canal digital	1
1 canal analógico	3
2 canales múltiplex	8

El tercer símbolo denota el tipo de información, por ejemplo:

<i>Tipo de información</i>	<i>Símbolo</i>
Ninguna	N
Datos	D
Fonía	E
Vídeo	F

Las características adicionales se indican con dos símbolos posteriores.

El cuarto símbolo proporciona detalles sobre la señal moduladora, por ejemplo:

<i>Características señal moduladora</i>	<i>Símbolo</i>
Sonido calidad comercial	J
Sonido calidad radiodifusión monoaural	G
Sonido calidad radiodifusión estéreo	H
Vídeo, en color	N

Por último, el quinto símbolo ilustra sobre las características de la multiplexación cuando la señal moduladora es múltiplex. Por ejemplo:

<i>Tipo de multiplexación</i>	<i>Símbolo</i>
Ninguno	N
Frecuencia (FDM)	F
Tiempo	T

En el Artículo 4-II y el Apéndice 6-A del Reglamento de Radiocomunicaciones figuran las listas completas de símbolos, de las que se ha ofrecido aquí un resumen.

Ejemplos

Utilizando los símbolos aquí expuestos y teniendo en cuenta las anchuras de banda que se indican en cada caso, se facilitan a continuación las designaciones de tipos convencionales de emisiones:

1. Telefonía Doble Banda Lateral, con ABN = 6.000 Hz y sonido de calidad comercial:

6 K 00 A 3 E J N

2. Telefonía Banda Lateral Única con portadora completa, ABN = 3.000 Hz y calidad comercial:

3 K 00 H 3 E J N

3. Radiodifusión sonora con doble banda lateral, monoaural, ABN = 8.000 Hz:

8 K 00 A 3 E G N

4. Radiotelefonía con modulación de frecuencia y calidad comercial, ABN = 16 kHz:

16 K 0 F 3 E J N

5. Radiodifusión con modulación de frecuencia y calidad estéreo, ABN = 256 kHz:

256 K F 8 E H F

6. Televisión en color con sonido monoaural. Para vídeo, ABN = 6,25 MHz:

6 M 25 C 3 F N N

para sonido, ABN = 750 kHz:

750 K F 3 E G N

1.6.3. Características de propagación

Las modalidades de propagación de una onda radioeléctrica dependen de su frecuencia y del tipo y características eléctricas del terreno subyacente.

Según la frecuencia, pueden clasificarse los modos de propagación como:

- *Onda de superficie (OS)*, para frecuencias inferiores a 30 MHz, con largos alcances y gran estabilidad de las señales. El tipo de terreno influye de forma notable en la propagación.
- *Onda ionosférica (OI)*, para frecuencias comprendidas entre 3 y 30 MHz. La propagación tiene lugar por reflexión de las ondas en las capas ionizadas que circundan la Tierra a gran altura (ionosfera). Se consiguen grandes alcances, pero hay cierto grado de inestabilidad en las señales.
- *Onda espacial (OE)*, para frecuencias superiores a 30 MHz. La propagación se realiza a través de las capas bajas de la atmósfera terrestre (troposfera). Eventualmente, puede tomar parte el suelo. Se distingue entre tres sub-modos:
 - *Onda Directa (OD)*, que enlaza transmisor con receptor.
 - *Onda Reflejada (OR)*, que conecta el transmisor y el receptor a través de una reflexión en el terreno subyacente.

La onda espacial es, en general, estable, aunque está limitada, aproximadamente, al alcance de la visión óptica entre el transmisor y el receptor. Puede, no obstante, ser perturbada por las componentes de reflexión especular en el suelo (OR) y reflexión difusa multi-trayecto (ORM), produciéndose, en tales casos, una disminución de la potencia recibida, como consecuencia de la interferencia destructiva entre todas estas componentes de ondas, fenómeno que se denomina desvanecimiento.

- *Onda de dispersión troposférica (ODT)*. La propagación por ODT se basa en reflexiones difusas ocasionadas por discontinuidades debidas a variaciones turbulentas de las constantes físicas de la troposfera. Se producen variaciones en el índice de refracción que provocan una reflexión dispersiva, llegando las ondas a tierra a una distancia más allá del horizonte. Este mecanismo de propagación tiene asociadas unas pérdidas muy elevadas y además está sujeto a desvanecimientos profundos.

El medio de transmisión influye en la propagación de las ondas radioeléctricas a través de fenómenos físicos de:

- Reflexión,
- Refracción,
- Difracción,
- Dispersión, y
- Absorción,

dependiendo su efecto de la naturaleza del medio (tipo de terreno, atmósfera), así como de la frecuencia y polarización de la onda.

Se puede dar una visión general de la propagación para las diferentes bandas de frecuencias, como se indica en la Tabla 1.6.1, donde se recogen también los servicios típicos a los que está atribuida cada banda.

No existen límites abruptos para la propagación entre una banda y otra, por lo que, en cada caso, debe hablarse de un modo de propagación dominante.

Tabla 1.6.1

MODALIDADES DE PROPAGACIÓN PARA LAS DIFERENTES BANDAS DE FRECUENCIAS

<i>Banda</i>	<i>Modo de propagación</i>	<i>Alcance típico</i>	<i>Tiempo de disponibilidad</i>	<i>Utilización típica</i>
VLF	Guía-ondas tierra ionosfera		Todas horas	Radionavegación. Servicio móvil marítimo.

<i>Banda</i>	<i>Modo de propagación</i>	<i>Alcance típico</i>	<i>Tiempo de disponibilidad</i>	<i>Utilización típica</i>
LF	Onda de superficie	> 1.000 km (sobre agua)	Todas horas	Frecuencias patrón.
MF	Onda de superficie	Distancias cortas (< 500 km)	Todas horas	Radiodifusión.
	Onda ionosférica	Distancias largas (> 500 km, sujeta a desvanecimiento)	Noche	Radiodifusión.
HF	Onda ionosférica (3-8 MHz) (3-12 MHz) (6-25 MHz)	< 300 km > 500 km > 500 km	Día Noche Día	Servicio fijo. Servicios móviles. Radiodifusión.
	Onda superficie (3-30 MHz)	Distancias cortas (< 100 km)	Todas horas	
VHF	Onda espacial (troposférica)	Visión directa (50 km)	Todas horas	Servicios móviles. Radiodifusión sonora y TV. Radionavegación. Servicio fijo.
	Dispersión ionosférica ($f < 50$ MHz)	2.000 km		
UHF	Onda espacial (troposférica).	Visión directa (40 km)		Servicio fijo (radioenlaces). Servicios móviles. Radiodifusión.
	Dispersión troposférica ($f < 500$ MHz)	600 km		
SHF	Onda espacial (troposférica)	Visión directa (40 km)		Servicio fijo (radioenlaces terrenales). Telecomunicación y radiodifusión por satélite. Radionavegación.

1.6.4. Parámetros y características de recepción

El parámetro primordial de recepción es la intensidad de campo o potencia recibida, según la clase de servicio.

En cuanto a la intensidad de campo, se definen dos términos:

1. *Intensidad de campo mínima utilizable*, también llamado campo mínimo necesario o campo a proteger, que es el valor mínimo del campo que permite obtener una determinada calidad de recepción: depende de la sensibilidad del receptor, del rendimiento de la antena y del ruido natural o artificial.

2. *Intensidad de campo utilizable*, que tiene en cuenta, además del campo mínimo, los efectos de las interferencias de otros transmisores, tanto las existentes en un caso real como las previstas en una planificación.

Para frecuencias inferiores a 1 GHz, se especifica la señal en recepción en términos de la intensidad de campo eléctrico E en $\mu\text{V/m}$ o dBu, donde:

$$E(\text{dBu}) = 20 \log (e(\mu\text{V/m})),$$

ya que en esas frecuencias se suelen emplear en recepción antenas lineales, en las cuales la fuerza electromotriz inducida por la onda, es igual al producto de la intensidad de campo incidente por la longitud efectiva de la antena.

Por encima de 1 GHz, la especificación de la señal recibida se hace en términos de potencia recibida (dBW o dBm) o densidad de flujo de potencia (dBW/m^2 o dBm/m^2), ya que predominan las antenas superficiales de apertura, para las cuales se obtiene directamente la potencia disponible de recepción como producto de la densidad de flujo de potencia por la superficie eficaz de la antena.

3. *Condiciones de recepción*. En la planificación y proyecto de sistemas radioeléctricos han de considerarse unas determinadas condiciones que dependen de:

- La instalación de recepción.
- El tipo de transmisión.
- La banda de frecuencias.
- Las condiciones de explotación (zona, hora, época del año).

4. *Interferencia*. Se define la interferencia en radiocomunicación como el efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones, sobre la recepción de un sistema de radiocomunicación, que se manifiesta como degradación de la calidad, falseamiento o pérdida de la información que se podría obtener en ausencia de esta energía no deseada.

El análisis y control de la interferencia tiene gran importancia para la compartición de canales radioeléctricos por diferentes usuarios y servicios, aspecto de enorme interés, debido a la congestión del espectro radioeléctrico.

5. *Relación de protección en RF*, que se define como el valor mínimo, generalmente expresado en decibelios, de la relación entre la señal deseada y la señal no deseada (interferencia) a la entrada del receptor, determinada bajo condiciones concretas, que permite obtener una calidad de recepción especificada de la señal deseada a la salida del receptor. Suele indicarse el porcentaje de tiempo en el que ha de lograrse tal relación.

1.6.5. Parámetros de explotación

1. *Zona de cobertura de un transmisor radioeléctrico*. Es la zona en la cual, la intensidad de campo producida por el transmisor en cuestión es mayor o igual que un umbral determinado. En el caso en que haya fluctuaciones en el nivel de la señal, debe especificarse el porcentaje de tiempo en el que se cumple esa condición. La zona de cobertura puede ser puntual, sectorial o aproximadamente circular. Puede también variar del día a la noche o en función de otros factores.

2. *Zona de servicio*. El concepto de zona de servicio de una radiocomunicación tiene una connotación administrativa. La zona de servicio es aquella para la cual la emisión en cuestión goza de un cierto nivel de protección frente a señales interferentes; esto es, se garantiza al explotador del servicio una determinada relación de protección para sus recepciones.