

 GRUP SAS	<h1>FOC-ELEN20</h1>		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Apunts	

## Introducción

### 1 Breve reseña histórica

Las bases prácticas para la aparición de la radio se establecen en 1886 cuando Hertz demuestra experimentalmente la propagación de las ondas electromagnéticas, fenómeno que predice la teoría electromagnética de Maxwell más de veinte años antes.

La detección de las ondas hercianas permite transmitir información utilizando un código (**por ejemplo, el Morse**) sin necesidad de enlazar mediante conductores la fuente de información, el transmisor, y el destinatario de la misma, el receptor.

Los primeros experimentos de transmisión por radio los realizaron casi simultáneamente **Popov y Marconi** a finales del siglo pasado. En particular, Marconi demostró la viabilidad de una comunicación entre transceptores móviles y separados por grandes distancias, permitiendo que la transmisión de las señales telegráficas no fuera prerrogativa de usuarios de equipos inmovilizados por alambres, y sentando las bases de las Comunicaciones Móviles modernas.

Los transmisores en esos primeros tiempos utilizaban el principio rudimentario de la descarga por chispas, y en el receptor se utilizaba una válvula de vidrio rellena de partículas metálicas que centelleaban en presencia de ondas electromagnéticas en la antena.

La transmisión era ineficaz y se efectuaba ocupando un gran ancho de banda del espectro radioeléctrico, y la detección también era escasamente resonante, con el resultado de que las transmisiones se interferían fuertemente. Con la necesidad de limitar la banda de la señal recibida surge el concepto de *sintonización*.

El desarrollo de los sistemas de radiocomunicaciones se centró en el perfeccionamiento de los transmisores y los receptores, y fundamentalmente buscó aumentar la eficiencia, tanto en la emisión de potencia como en la ocupación del espacio radioeléctrico.

**El tubo al vacío** dio un impulso a la Radiotelegrafía al incorporarse tanto en la detección (diodo) como en la amplificación de las señales de radio. La realimentación, que inicialmente impedía lograr amplificadores estables y de gran ganancia, es aprovechada para construir osciladores de radiofrecuencia (RF) con una frecuencia muy estable y de una gran pureza espectral. Surge el oscilador de RF de onda continua y el detector rectificador con diodo a cristal.

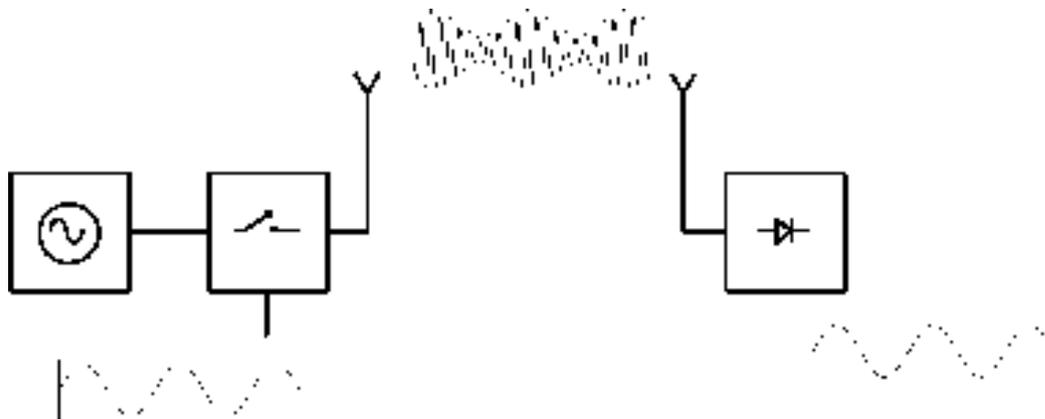
 GRUP SAS	<b>FOC-ELEN20</b>		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Apunts	

En la figura 1.1 se muestra el esquema de un sistema elemental de transmisión por radio en el que se aprovecha la mayor eficiencia de las antenas a altas frecuencias junto con la posibilidad de transmitir varios mensajes simultáneamente, con varios transmisores, y detectar sólo las señales del transmisor deseado (enlaces punto a punto).

Este esquema permite reproducir a la salida del detector la señal (Morse) que conmuta (modula) a la onda de RF generada en el transmisor.

Si la señal moduladora es la salida generada por un micrófono, el mismo esquema permite también la transmisión y recepción de señales de voz añadiendo unos auriculares o altavoces al detector. Surge la Radiotelefonía.

### Comunicación elemental por radio.



En recepción de telegrafía se introduce el **detector autodino**, basado en el principio del **heterodino**: mezcla la salida de un oscilador local (LO) con la señal de RF recibida.

Si la **diferencia de frecuencias** entre ambas es de unos 1000 Hz, se escuchará un tono en los auriculares. Si ambas frecuencias son exactamente iguales, se pueden detectar las variaciones de amplitud de la señal de RF, principio que permite la aparición del homodino para recibir señales moduladas en amplitud (AM).

**La sensibilidad y la selectividad** de los receptores se incrementó utilizando amplificadores de RF con varias etapas de triodos en cascada, acopladas mediante circuitos de sintonía.

Para recibir claramente señales de transmisores lejanos era necesario elevar el bajo nivel de tensión de RF que entregaba la antena hasta un nivel por encima del ruido eléctrico, lo que obligó a aumentar la ganancia de los amplificadores.

 GRUP SAS	<h1>FOC-ELEN20</h1>		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Apunts	

La eliminación de ondas radioeléctricas no deseadas (interferencias) en el receptor, incluyendo el ruido, condujo a una selectividad cada vez mayor.

**En un receptor típico**, el amplificador debe elevar el nivel de señal de antena (típicamente 1  $\mu$ V) hasta un valor adecuado para el detector, o demodulador (del orden de los voltios), por lo que la amplificación debe ser de unos 120 dB

**Esta gran ganancia en RF**, junto a la alta selectividad, puede provocar el *fenómeno de la realimentación*: si una millonésima parte de la tensión de salida retorna hacia la entrada, el amplificador se puede hacer inestable.

Resultó conveniente que los receptores tuvieran la facilidad de captar diferentes estaciones, que podrían transmitir a muy diversas frecuencias, lo que añadió la dificultad de sintonizar simultáneamente y de forma coordinada las diferentes etapas del amplificador, utilizando para ello un mando único.

Agreguemos que el funcionamiento del detector debería ser excelente en toda la banda de sintonía, todo lo cual los hace prácticamente irrealizables.

Surge como alternativa el receptor super-regenerativo y finalmente el receptor superheterodino que permite mediante soluciones relativamente simples, aumentar la frecuencia de recepción sin empeorar la selectividad.

La figura 1.2 muestra el esquema básico de un receptor. El principio de su funcionamiento reside en convertir la señal de RF, captada por la antena y amplificada, a una nueva frecuencia, la frecuencia intermedia (FI ), utilizando un oscilador local y un mezclador.

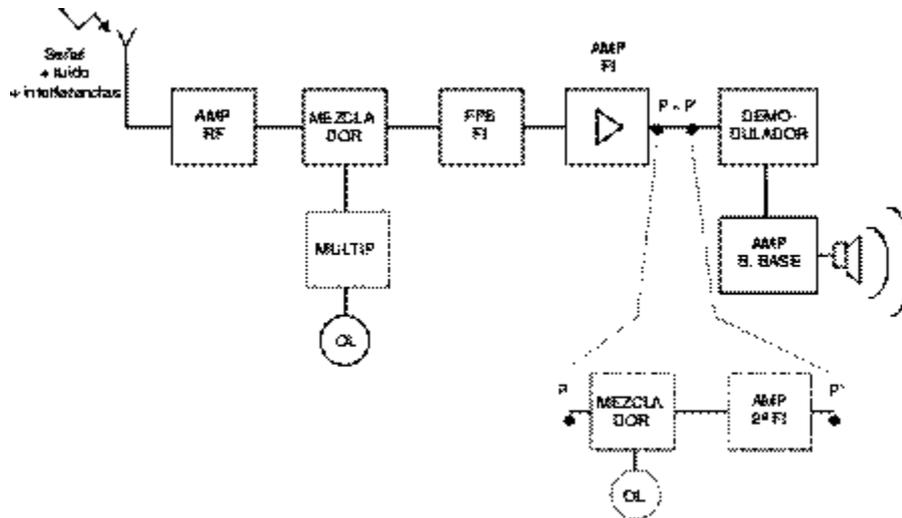
**El amplificador de FI** proporciona una gran ganancia y selectividad, pero no tiene que ser de sintonía variable y el demodulador está optimizado para operar en FI.

En este tipo de receptor, el amplificador de RF no está obligado a tener gran ganancia y puede ser incluso inexistente, simplificando de esta forma la sintonización y la recepción a frecuencias muy altas.

La ganancia se reparte entre el cabezal de radiofrecuencia (front-end), la FI y la baja frecuencia (p. ej., audio), eliminando la inestabilidad por realimentación positiva. Como contrapartida, el receptor superheterodino presenta el inconveniente de ser más complejo al necesitar un mezclador y un oscilador local.

Por añadidura, el mezclador es un circuito ruidoso y, además, de naturaleza no lineal, en el que se generan productos espurios debidos a la mezcla de la señal (y sus armónicos) con el LO (y sus armónicos). Esto hace que el diseño de un receptor deba ser muy cuidadoso en cuanto al filtrado de señales parásitas.

Es particularmente peligrosa la frecuencia imagen, separada de la frecuencia de RF una distancia igual al doble de la frecuencia intermedia FI y situada simétricamente respecto a la frecuencia del LO.



## Esquema básico de un receptor superheterodino.

El esquema de la figura 1.2 es sustancialmente el de un receptor moderno, con el añadido de circuitos para el control automático de ganancia (CAG) para mantener un nivel de recepción constante en presencia de desvanecimientos (fading), la sustitución de los tríodos por transistores y circuitos integrados (CI), así como la posible incorporación de una segunda etapa de FI intercalando, p. ej., un 2º mezclador, 2º OL, 2º amplificador de FI, en lugar del puente en la figura 1.2. Para tener una idea del grado de versatilidad que alcanza esta configuración en cuanto a sintonía, se puede considerar que un receptor (moderno) de AM debe cubrir una banda de frecuencias con una relación máx/mín de 3/1; un receptor de televisión (VHF), de 4/1; y un receptor profesional, de 100/1.

El desarrollo de los transmisores se centró en mejorar la generación de la portadora perfeccionando los osciladores de RF y los amplificadores a tríodos para alcanzar potencias cada vez mayores (y por tanto, alcances mayores).

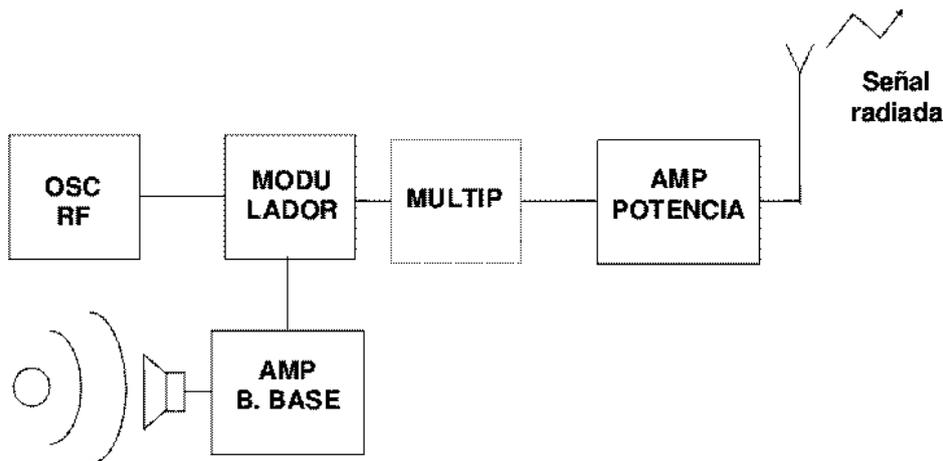
Simultáneamente se inició la implantación de frecuencias cada vez mas altas que permitían incorporar nuevos servicios al poco a poco congestionado espectro electromagnético.

**La portadora de RF** inicialmente es modulada en amplitud, pero el aprovechamiento de la banda de frecuencias asignada da paso a la modulación de banda lateral única (SSB), la calidad de la recepción se mejora con la modulación de frecuencia (FM) y la modulación de fase (PM) y, finalmente, las ventajas de la transmisión digital se incorporan a la radiocomunicación y aparecen las modulaciones digitales binarias: conmutación de amplitud (**ASK**),

 GRUP SAS	<h1>FOC-ELEN20</h1>		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Apunts	

conmutación de frecuencia (**FSK**) y conmutación de fase (**BPSK**), las modulaciones digitales multinivel: **QPSK** y **M-PSK**; **QAM** y **M-APK**, etc.

Al igual que en los receptores, los transistores fueron sustituyendo a los tubos al vacío; y, a aquéllos, los circuitos integrados y los módulos híbridos, pero la estructura básica del transmisor es la que muestra la figura 1.3.



Esquema básico de un **transmisor de radio**.

**El oscilador de RF** genera la señal portadora con una elevada estabilidad en la frecuencia asignada. Típicamente tiene la estabilidad de un oscilador a cristal de cuarzo, del orden de 1-5 ppm (partes por millón), que se alcanza bien directamente con el oscilador a cristal, o bien éste sirve de referencia a un sintetizador.

**La salida del** oscilador es modulada empleando la técnica que mejores prestaciones tenga de acuerdo al tipo de transmisión que se pretende: modulación analógica o digital, de amplitud o de ángulo, etc.

Si es necesario, la frecuencia final se alcanza mediante multiplicadores de frecuencia o con convertidores (realizando una mezcla con la señal de un segundo oscilador). Esto hace menos restrictivo el diseño del oscilador de RF y del modulador, que se hace a (relativamente) baja frecuencia, pero requiere de un filtrado más exigente para eliminar las espúreas que se generan. El amplificador de potencia entrega al subsistema radiante la señal modulada, y la antena se encarga de radiar la energía electromagnética de una forma eficiente.

A medida que las redes telefónicas analógicas comerciales van evolucionando hacia redes digitales, debido a la aparición de los circuitos integrados (a los que se unen los microprocesadores, los sintetizadores de frecuencia, etc.), parecen las redes de telefonía privada (PML).

 GRUP SAS	<b>FOC-ELEN20</b>		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Apunts	

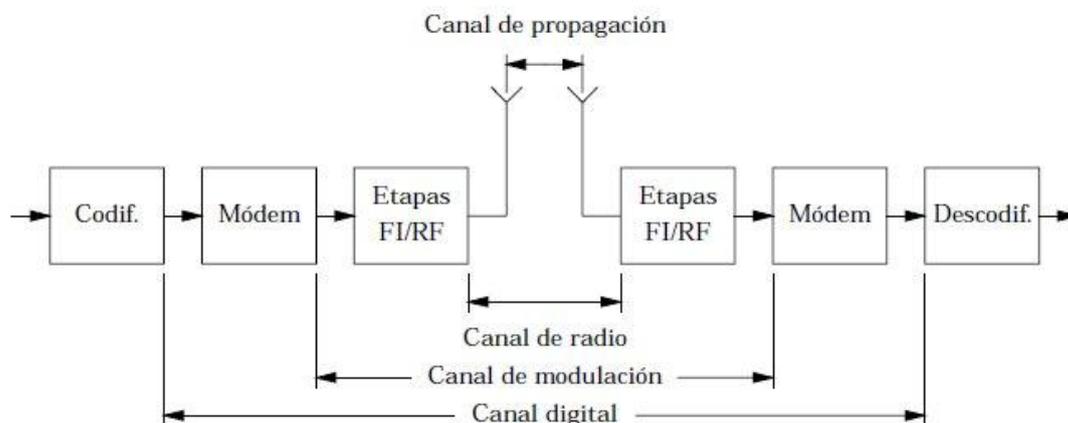
En 1979 la compañía Bell Laboratories comienza el emplazamiento de una red de radio celular.

Aparecen las redes públicas de radio móvil terrestre (**PLMR networks**) operando en la banda de UHF, lo que permite a sus clientes establecer una conversación telefónica entre sí mientras están en movimiento, o con otros clientes de las redes telefónicas de conmutación públicas (**PSTN**) o de las redes digitales de servicios integrados (**ISDN**). En la década de los 90 se avanza hacia una nueva etapa al implantarse las redes celulares digitales y los sistemas de telecomunicación inalámbricos que proporcionan servicios añadidos a la telefonía.

## 2 Canales de radio

Se puede definir el canal como el enlace entre dos puntos de un trayecto de comunicaciones.

El canal de radio, por lo general, es lineal y recíproco (permite estudiar el canal en una sola dirección). En la figura 1.4 se muestran algunos de los diferentes tipos de canales de radio que se estudiarán en la asignatura.



### Tipos de canales en radiocomunicaciones.

#### 2.1 El canal de propagación

El medio físico que soporta la propagación de la onda electromagnética entre la antena transmisora y la receptora constituye el canal de propagación. El canal se asume lineal y recíproco, pero puede variar en el tiempo, como en el caso de las comunicaciones móviles.

#### 2.2 El canal de radio

El canal de radio lo constituye la antena transmisora, el canal de propagación y la antena receptora. Las antenas tienen el mismo patrón de radiación en

 GRUP SAS	<b>FOC-ELEN20</b>		
	Instal·lador d'equips i sistemes de comunicació	Apunts	

transmisión y en recepción si son lineales, bilaterales y pasivas, lo cual hace que el canal de radio sea recíproco al serlo las antenas.

### 2.3 El canal de modulación

Se extiende desde la salida del modulador hasta la entrada del demodulador, comprendiendo las etapas finales del transmisor, el canal de radio y las etapas de entrada del receptor. Su caracterización es importante a la hora de evaluar los diferentes esquemas de modulación.

La linealidad del canal de modulación está determinada por los front-ends del transmisor y del receptor. Los sistemas que emplean modulaciones con multiniveles de amplitud, como la QAM, requieren canales de modulación lineales: amplificadores lineales, mezcladores de baja distorsión y filtros con fase lineal (Bessel o Gauss).

Esto genera dos problemas: amplificadores más caros y menos eficientes en cuanto a la potencia, lo cual es de importancia capital en un entorno de comunicaciones móviles donde es imprescindible la reducción de las dimensiones y del consumo de la batería del terminal portátil. El canal de modulación no es recíproco al no serlo los front-ends.

### 2.4 El canal digital

Incluye todos los subsistemas que enlazan la secuencia digital sin modular del transmisor, con la secuencia regenerada en el receptor. En general, este canal no es lineal, no es recíproco y varía en el tiempo.

## 3 Bandas de frecuencia

La división del espectro radioeléctrico en bandas ha sido un tanto variable, pero es comúnmente aceptada la que se muestra en la figura 1.5 en la página 8. En esta figura se muestra la designación de cada banda y los servicios típicos que tiene asignados.

Una banda de frecuencias que reviste un interés especial para la comunicación por radio es la compuesta por las frecuencias de microondas, las cuales cubren el rango de 500 MHz a 40 GHz y superiores, banda que ha sido dividida a su vez en varias bandas denominadas por letras desde los años cuarenta.

La designación de las bandas de microondas aparece en la tabla 1.1.

Frecuencias típicas		Designación de las bandas	
Radiodifusión AM	535-1605 kHz	Banda-L	1-2 GHz
Radio onda corta	3-30 MHz	Banda-S	2-4 GHz
Radiodifusión FM	88-108 MHz	Banda-C	4-8 GHz
TV VHF (2-4)	54-72 MHz	Banda-X	8-12 GHz
TV VHF (5-6)	77-88 MHz	Banda-Ku	12-18 GHz
TV UHF (7-13)	174-216 MHz	Banda-K	18-26 GHz
TV UHF (14-83)	470-809 MHz	Banda-Ka	26-40 GHz
Telefonía móvil GSM, DECT	900, 1800 MHz	Banda-U	40-60 GHz
Hornos Microondas (ISM)	2,45 GHz	Banda-V	60-80 GHz
LDMS	26-28 GHz	Banda-W	80-100 GHz

Con esta breve introducción se quiere resaltar una realidad de plena vigencia: la Radiocomunicación está presente en la vida actual a través de la radio, tanto AM como FM, y la televisión, en forma de llamada telefónica, aunque el usuario no siempre sea consciente de que su interlocutor está a centenares o miles de kilómetros y de que su voz pasa por radioenlaces, estaciones terrenas y transpondedores a bordo de satélites, o quizás está moviéndose libremente por la calle de una ciudad de cualquier país del mundo.

El desarrollo de la tecnología de radio ha derivado también en sistemas RADAR (Radio Detection And Ranging) para la detección, localización y seguimiento de blancos alejados, tanto marinos como aéreos y terrestres, principalmente con fines militares, pero también ayudando al tráfico aéreo civil, al guiado de naves espaciales, a determinar la situación meteorológica, etc.

Igualmente son importantes las técnicas de radiodeterminación y radiolocalización.

Todo esto hace de la Radiocomunicación una disciplina de plena actualidad, con numerosos retos científicos y tecnológicos, con importantes aplicaciones en servicios de demanda actual y que, por tanto, requiere de personal altamente cualificado para su investigación, desarrollo, realización práctica y comercialización.

	VLF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF	EHF	Infrarrojo
$f$	30 kHz	300 kHz	3 MHz	30 MHz	300 MHz	3 GHz	30 GHz	300 GHz	3 THz
Navegación	Radiofaros	Radio AM	Onda corta M. marítimo	Televisión FM	Televisión T. celular	Microondas Comunic. por Satélite	Radar experimental	Radar	Comunic. ópticas
Sonar									
$\lambda$	10 km	1 km	100 m	10 m	1 m	100 mm	10 mm	1 mm	100 $\mu$ m