

<b>1 UN POCO DE HISTORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>2 ESPECTRO DE FRECUENCIAS Y BANDAS DE RADIODIFUSIÓN.....</b>	<b>2</b>
2.1 LONGITUDES DE ONDA .....	4
2.2 CLASIFICACIÓN CONVENCIONAL DE LAS ONDAS DE RADIO .....	4
2.3 ATRIBUCIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS. ....	5
<b>3 BANDAS DE RADIODIFUSIÓN.....</b>	<b>8</b>
3.1 UTILIZACIÓN DE LAS BANDAS.....	9
<b>4 PROPAGACIÓN DE ONDAS.....</b>	<b>10</b>
4.1 LA PROPAGACIÓN EN VHF .....	12
<b>5 LA TRANSMISIÓN EN FM .....</b>	<b>13</b>
5.1 ESTUDIO Y CARACTERÍSTICAS DE LA MODULACIÓN EN FRECUENCIA .....	14
5.1.1 <i>Modulación de Amplitud (AM)</i> .....	16
5.1.2 <i>Clasificación de transmisores según FCC.</i> ....	21
5.1.3 <i>Características de la modulación de frecuencia</i> .....	22
5.2 EL PROCESO DE MODULACIÓN DE FM DE BANDA ANCHA.....	23
5.2.1 <i>Evaluación de la Transfor. de Fourier de la señal de FM para senoidales puras</i> .....	24
5.2.2 <i>Espectro para señales de FM con modulación senoidal</i> .....	26
5.2.3 <i>Ancho de banda y nº de bandas laterales significativas para la transmisión de FM</i> . 28	
5.2.4 <i>El espectro de la FM para <b>b</b> pequeña</i> .....	29
<b>6 TRANSMISOR ESTEREOFÓNICO .....</b>	<b>31</b>
6.1 MODULACIÓN EN ESTÉREO .....	32
<b>7 RECEPTOR DE FM MONO Y ESTEREOFÓNICO .....</b>	<b>33</b>
7.1 RECEPTOR DE FM MONOFÓNICO.....	33
7.2 RECEPTOR DE FM ESTEREOFÓNICO.....	34
<b>8 MEDIOS TÉCNICOS EN LA PRODUCCIÓN DE PROGRAMAS DE RADIO.....</b>	<b>36</b>
8.1 DOTACIÓN DE UN ESTUDIO CONVENCIONAL DE RADIO .....	37
8.2 LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA .....	39
8.2.1 <i>La informática</i> .....	40
8.2.2 <i>El sonido digital</i> .....	40
8.2.3 <i>El sistema RDS</i> .....	41
8.2.4 <i>Otros sistemas: El SCA</i> .....	45
8.2.5 <i>El satélite y el cable</i> .....	45

## 1 Un poco de Historia.

De todos es conocido la limitación que presentan las ondas sonoras cuando se pretenden establecer comunicaciones a medias y largas distancias. Ello indujo a muchos investigadores a una búsqueda de otras formas enlace entre las personas que de alguna manera salvaran las dificultades de la comunicación directa.

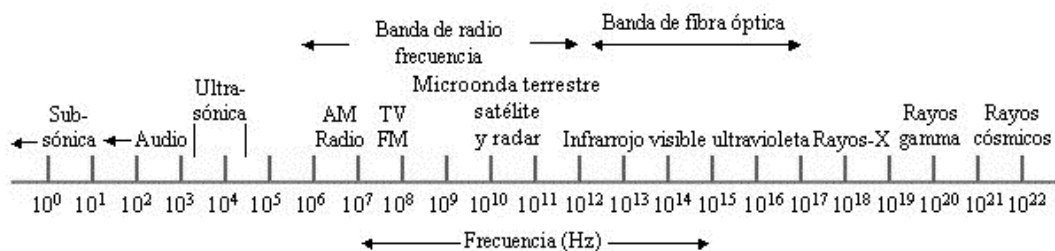
En la década de 1830, Morse puso en práctica la comunicación telegráfica, y no fue hasta 1876 cuando Bell construyó el primer teléfono, resolviendo el problema de la comunicación hablada entre dos puntos lejanos. Aún no era suficiente, porque tanto el telégrafo como el teléfono exigen que un cable comunique los aparatos transmisor y receptor. En 1888 el físico alemán Hertz comprueba la existencia real de las ondas electromagnéticas (*ondas hertzianas*), y en 1897 Marconi realiza la primera comunicación de la llamada *telegrafía sin hilos*. A partir de aquí, el avance en los sistemas de comunicaciones ha seguido un ritmo vertiginoso, el problema ya era cuestión de unos pocos de años.

Posteriormente se descubrió que las ondas hertzianas (ondas de radio) son de la misma naturaleza que la luz visible o los rayos infrarrojos, al igual que otras radiaciones por todos conocidas como los rayos ultravioletas, los rayos X o las ondas utilizadas por el radar. Todas ellas pertenecen a la familia de las ondas electromagnéticas.

Este tipo de ondas presenta dos grandes ventajas frente a las ondas sonoras, en lo que a comunicación se refiere. En primer lugar, no necesitan de ningún medio físico para trasladarse al contrario que las ondas sonoras, que necesitan de aire, agua o algún otro medio material. La segunda ventaja es su velocidad de propagación; mientras las ondas sonoras en el aire viajan a 340 m/seg, las ondas electromagnéticas lo hacen a 300.000 Km/seg. Como desventaja cabe destacar que las ondas electromagnéticas también se atenúan con la distancia. El motivo del porqué llegan más lejos las ondas electromagnéticas frente a las sonoras es bastante evidente; cualquier receptor de los que se encuentran actualmente en el mercado es 100 veces más sensible que el mejor oído humano (cada uno en su campo), y las emisoras transmiten con potencias de hasta 10.000 veces mayor que el grito más alto que pueda emitir una garganta humana.

## 2 Espectro de frecuencias y bandas de radiodifusión.

El conjunto de todas las ondas electromagnéticas constituye el espectro electromagnético. Observando la figura nos encontramos con las siguientes clases de ondas:



**Ondas audibles.** Les corresponden las longitudes de onda más largas (muchos kilómetros) y la frecuencia ya la conocemos por ser la propia de las ondas sonora: desde 20 Hz hasta 20 KHz. Estas ondas cubren el mismo espectro que el sonido aunque no suelen considerarse propiamente como ondas electromagnéticas hasta valores superiores a varios kilohercios puesto que el campo inicial que cubre el sonido se considera más como vibración mecánica que como vibración electromagnética.

**Radiodifusión.** El Comité Consultivo Internacional de las Comunicaciones de Radio (CCIR) dividió en 1953 el espectro de frecuencias dedicado a la propagación de las ondas de radio, en las bandas y utilidades más importantes. Las ondas de radio utilizadas en *Radiodifusión Marina* son más largas, entre 2000 y 1000m y su frecuencia está comprendida entre 30 y 300 KHz. La gama de *Onda Media* comprende las frecuencias entre 300 KHz y 3 MHz, de uso preferente en *Radiodifusión OM*. La gama de *Ondas Cortas* que alcanzan distancias más elevadas, tiene una longitud entre 100 y 10m y se propagan entre 3 y 30 MHz. Finalmente las *Ondas Ultracortas* van desde 10 a 1m propagándose entre 30 y 300 MHz. En estos últimos puntos ya existe un solapamiento entre ondas de radio, televisión y frecuencia modulada. Esto es así porque esta última trabaja en el margen de frecuencia comprendido entre 88-108 MHz en América, 66 y 72 MHz en Europa Oriental y entre 88-104 MHz en el resto del mundo. A partir de 54 MHz comienza la banda de televisión que se extiende hasta 216 MHz, banda en la que se encuentran todas las comunicaciones a media y larga distancia.

Desde este punto y hasta 3000 GHz se hallan todo tipo de enlaces por microondas, televisión, radar, etc. Aunque el campo más importante es el de las microondas ya que es el que posee una mayor amplitud del espectro.

Número de la banda	Rango de frecuencias	Designación
2	30 – 300 Hz	ELF (frecuencias extremadamente bajas)
3	0.3 – 3 kHz	VF (frecuencias de voz)
4	3 – 30 kHz	VLF (frecuencias muy bajas)
5	30 – 300 kHz	LF (frecuencias bajas)
6	0.3 – 3 MHz	MF (frecuencias medias)
7	3 – 30 MHz	HF (frecuencias altas)
8	30 – 300 MHz	VHF (frecuencias muy altas)
9	0.3 – 3 GHz	UHF (frecuencias ultra altas)
10	3 – 30 GHz	SHF (frecuencias superaltas)
11	30 – 300 GHz	EHF (frecuencias extremadamente altas)
12	0.3 – 3 THz	Luz infrarroja
13	3 – 30 THz	Luz infrarroja
14	30 – 300 THz	Luz infrarroja
15	0.3 – 3 PHz	Luz visible
16	3 – 30 PHz	Luz ultravioleta
17	30 – 300 PHz	Rayos – X
18	0.3 – 3 EHz	Rayos gamma
19	3 – 30 EHz	Rayos cósmicos

\*10<sup>0</sup>, herz (Hz); 10<sup>3</sup> kilohertz (kHz); 10<sup>6</sup> megahertz (MHz); 10<sup>9</sup> gigahertz (GHz); 10<sup>12</sup> terahertz (THz); 10<sup>15</sup> petahertz (PHz); 10<sup>18</sup> exahertz (EHz);

La radiodifusión nació en EEUU y de allí provienen la mayoría de las publicaciones de orden técnico, motivo por el cual todas las siglas y/o abreviaturas están escritas en inglés. La división general

del espectro de frecuencias totalmente utilizable se decide en las convenciones internacionales de telecomunicaciones, aproximadamente cada 10 años. En Estados Unidos de América las asignaciones de frecuencias para la propagación de radio en el espacio libre son asignadas por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC). En México por la SCT (son algunos ejemplos).

## 2.1 Longitudes de onda

Como sabemos, la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas es de 300.000 Km/seg. Si además conocemos la frecuencia, es fácil calcular su longitud de onda mediante la siguiente expresión:

$$\text{Longitud de onda } (\lambda) = \frac{\text{velocidad}}{\text{frecuencia}} = \frac{v}{f}$$

En el cuadro se muestran las distintas longitudes de onda (expresadas en centímetros) por cada frecuencia para los distintos tipos de ondas electromagnéticas del espacio radioeléctrico:

	Frecuencia	Longitud de onda
Rayos cósmicos	3E+16 MHz	1E-11 cm
Rayos gamma	6E+13 MHz	5E-08 cm
Rayos X	3E+10 MHz	1E-06 cm
Rayos Ultravioleta	7.5E+08 MHz	4E-05 cm
Visión Humana	3.75E+08 MHz	8E-05 cm
Rayos infrarrojos o calor	3E+06 MHz	1E-02 cm
	7.5E+05 MHz	4E-02 cm
Experimental y enlaces de microondas, televisión, radar y ayuda aérea.	890 MHz	0.337 m
	475 MHz	0.63 m
Televisión	216 MHz	1.39m
	174 MHz	1.72 m
	108 MHz	2.78 m
Televisión, Radio y FM	88 MHz	3.41 m
Televisión	54 MHz	5.55 m
Radio, ondas cortas y muy cortas	1600 KHz	187.5 m
Radio, onda media	550 KHz	545.45 m
Radio, onda larga	20 KHz	15E+03 m
	10 KHz	30E+03 m
Oído humano	20 Hz	15E+06 m

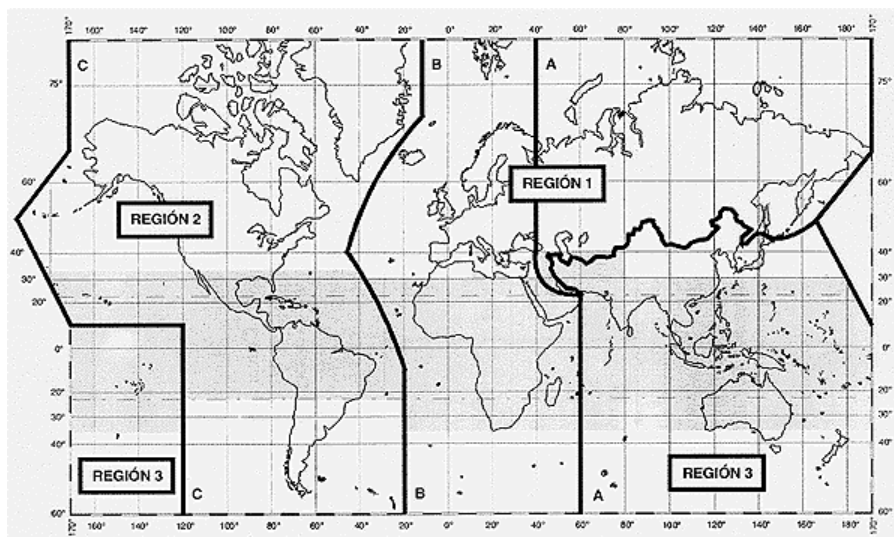
## 2.2 Clasificación convencional de las ondas de radio

El siguiente cuadro resume a groso modo el comportamiento de las distintas subdivisiones de las ondas de radio ordenadas de mayor a menor longitud de onda o lo que es lo mismo, de menor a mayor frecuencia. Nótese como no están reflejadas las *ondas subsónicas* comprendidas entre unos pocos hercios situándose previo al VLF. Tampoco se contempla el espectro situado por encima de los rayos infrarrojos ya que desde el punto de vista de las comunicaciones no nos es útil por el momento.

Sigla	Subdivisión	Longitud de onda	Gama de frecuencia	Características de propagación	Uso típico
VLF	Ondas Muy Largas (miriámétricas)	De 30.000m a 10.000m	De 10 KHz a 30 KHz	Propagación para onda de tierra; atenuación débil; características estables.	Enlaces de radio a gran distancia.
LF	Ondas Largas (Kilométricas)	De 10.000m a 1.000 m	De 30 KHz a 300 KHz	Similar a la anterior pero de características menos estables.	Enlaces de Radio a gran distancia: ayuda a la navegación aérea y marítima.
MF	Ondas Medias (hectométricas)	De 1.000m a 100m	De 300 KHz a 3 MHz	Similar a las precedentes pero con una absorción elevada durante el día; propagación prevalentemente ionosférica por la noche	Radiodifusión.
HF	Ondas Cortas (decamétricas)	De 100m a 10m	De 3 MHz a 30 MHz	Propagación prevalentemente ionosférica con fuertes variaciones estacionales y en las diferentes horas del día y de la noche.	Comunicaciones de todo tipo a media y larga distancia.
VHF	Ondas Cortísimas (métricas)	De 10m a 1m	De 30 MHz a 300 MHz	Prevalentemente propagación directa; esporádicamente propagación ionosférica o troposférica.	Enlaces de radio a corta distancia, televisión, frecuencia modulada.
UHF	Ondas Ultracortas (decimétricas)	De 1m a 1cm	De 300 MHz a 3 GHz	Exclusivamente propagación directa; posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.	Enlaces de radio, televisión, radar, ayuda a la navegación aérea.
SHF	Microondas (centimétricas)	De 10cm a 1cm	De 3 GHz a 30 GHz	Como la precedente	Radar, enlaces de radio.
EHF	Microondas (milimétricas)	De 1cm a 1mm	De 30 GHz a 300 GHz	Como la precedente.	Como la precedente.
EHF	Microondas (decimilimétricas)	1mm a 0.1mm	De 300 GHz a 3000 GHz	Como la precedente.	Como la precedente.

### 2.3 Atribución de bandas de frecuencias.

Desde el punto de vista geográfico de la atribución de las bandas de frecuencias se ha dividido el mundo en tres Regiones indicadas en el siguiente mapa (reglamento de la UIT) y descritas a continuación:



- La Región 1 comprende la zona limitada al este por la línea A y al oeste por la línea B, excepto el territorio de la República islámica del Irán situado dentro de estos límites. Comprende también la totalidad de los territorios de Armenia, Azerbaiyan, Georgia, Kazakstan, Mongolia, Uzbekistán,

Kirguistán, Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Turquía y Ucrania y la zona norte de Rusia que se encuentra entre las líneas A y C.

- La Región 2 comprende la zona limitada al este por la línea B y al oeste por la línea C.
- La Región 3 comprende la zona limitada al este por la línea C y al oeste por la línea A, excepto el territorio de Armenia, Azerbaiyan, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Turquía y Ucrania y la zona norte de Rusia. Comprende asimismo la parte del territorio de la República Islámica del Irán situada fuera de estos límites.

En el mapa también se reflejan otra serie de cuestiones además la propia distribución geográfica.

Como hemos visto en cuadros anteriores, las distintas bandas en las que se ha dividido el espectro de las ondas de radiocomunicación, se subdividen a su vez en subgrupos de frecuencias y así sucesivamente hasta llegar a todas y cada una de las frecuencias individuales disponibles para un uso concreto determinado por ley y con un ancho de banda determinado para cada una de ellas. A continuación se muestran los subgrupos de frecuencias para cada una de las bandas vistas en tablas anteriores.

**VLF/LF 0 - 315 kHz Ondas Miriamétricas y Kilométricas**

9 - 70 kHz 70 - 110 kHz 110 - 130 kHz 130 - 315 kHz

**MF 315 kHz - 3230 kHz Ondas Hectométricas**

315 - 495 kHz 495 - 1606,5 kHz 1606,5 - 1800 kHz 1800 - 2045 kHz 2045 - 2501 kHz 2501 - 3230 kHz

**HF 3230 kHz - 27500 kHz Ondas Decamétricas**

3230 - 4063 kHz 4063 - 5450 kHz 5450 - 7100 kHz 7100 - 10003 kHz 10003 - 13410 kHz 13410 - 15600 kHz 15600 - 19800 kHz 19800 - 23350 kHz 23350 - 27500 kHz

**VHF 27500 kHz - 322 MHz Ondas Métricas**

27,5 - 40,98 MHz 40,98 - 68 MHz 68 - 75,2 MHz 75,2 - 137 MHz 137 - 138 MHz 138 - 148 MHz 148 - 156,8375 MHz 156,8375 - 230 MHz 230 - 322 MHz

**UHF 322 MHz - 3300 MHz Ondas Decimétricas**

322 - 400,15 MHz 400,15 - 410 MHz 410 - 455 MHz 455 - 470 MHz 470 - 890 MHz 890 - 1240 MHz 1240 - 1452 MHz 1452 - 1530 MHz 1530 - 1610,6 MHz 1610,6 - 1660 MHz 1660 - 1670 MHz 1670 - 1710 MHz 1710 - 2170 MHz 2170 - 2450 MHz 2450 - 2520 MHz 2520 - 2670 MHz 2670 - 3300 MHz

**SHF 3300 MHz - 31,8 GHz Ondas Centimétricas**

3300 - 4500 MHz 4500 - 5470 MHz 5470 - 5850 MHz 5850 - 7450 MHz 7450 - 8175 MHz 8175 - 8750 MHz 8750 -10000 MHz 10 - 10,7 GHz 10,7 - 12,5 GHz 12,5 - 14,25 GHz 14,25 - 14,8 GHz 14,8 - 17,3 GHz 17,3 - 18,6 GHz 18,6 - 20,2 GHz 20,2 - 22,55 GHz 22,55 - 24,45 GHz 24,45 - 27 GHz 27 - 29,9 GHz 29,9 - 31,8 GHz

**WHD 31,8 GHz - 1000 GHz Ondas Milimétricas**

31,8 - 35,2 GHz 35,2 - 39,5 GHz 39,5 - 42,5 GHz 42,5 - 51,4 GHz 51,4 - 59 GHz 59 - 71 GHz 71 - 79 GHz 79 - 94,1 GHz 94,1 - 116 GHz 116 - 134 GHz 134 - 158,5 GHz 158,5 - 191,8 GHz 191,8 - 235 GHz 235 - 1000 GHz

En el caso que nos ocupa (*Radiodifusión Comercial en FM*) tenemos que situarnos en la banda de VHF, subbanda 75,2 - 137 MHz. Para cada subbanda existe una ficha donde la UIT hace un nuevo desglose de frecuencias, especificando el uso de cada bloque por Regiones a nivel mundial y atribución nacional en cada caso. La banda destinada a la Radiodifusión Comercial en FM va desde 88 a 108 MHz (observar en la ficha).

ATRIBUCIÓN A LOS SERVICIOS según el RR de la UIT			ATRIBUCIÓN NACIONAL	OBSERVACIONES	USOS
<b>75,2 - 137 MHz</b>			<b>75,2 - 137 MHz</b>		
<b>Región 1</b>	<b>Región 2</b>	<b>Región 3</b>			
75,2 - 87,5 FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	75,2 - 75,4 FIJO MÓVIL  S5.179		75,2 - 87,5 FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	UN - 73, UN - 84 * Usos M y C (según nota UN)	- -
	75,4 - 76 FIJO MÓVIL	75,4 - 87 FIJO MÓVIL	87,5 - 108 RADIODIFUSIÓN	S5.190 UN - 17	P
	76 - 88  RADIODIFUSIÓN Fijo Móvil	S5.182 S5.183 S5.188	108 - 117,975 RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA		Rx
S5.175 S5.179 S5.184 S5.187	87 - 100 FIJO MÓVIL RADIODIFUSIÓN		117,975 - 137 MÓVIL AERONÁUTICO (R)	S5.111 S5.198 S5.199 S5.200 S5.203 UN - 102 LA FRECUENCIA 121,5 MHz ES LA FRECUENCIA AERONÁUTICA DE EMERGENCIA UN - 18 FRECUENCIAS OPERACIONALES * Usos Rx y P (según nota UN)	-
87,5 - 100 RADIODIFUSIÓN  S5.190	88 - 100 RADIODIFUSIÓN				
100 - 108	RADIODIFUSIÓN  S5.192 S5.194				
108 - 117,975	RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA  S5.197				
117,975 - 137	MÓVIL AERONÁUTICO (R)  S5.111 S5.198 S5.199 S5.200 S5.201 S5.202 S5.203 S5.203A S5.203B				

31

Los usos nacionales han sido codificados con los siguientes códigos:

- C- Uso común
- E- Uso especial
- P- Uso privativo
- Rx- Uso por el Estado

R - Uso por el Estado para la gestión a través de Administraciones Públicas o por concesión.

M - Uso mixto que comprende el R y el P.

Por supuesto, dentro de cada grupo de frecuencias destinadas a un uso concreto existe una normativa especial que contempla diferentes aspectos. Entre estos se encuentran los aspectos técnicos que son de obligado cumplimiento para poder hacer uso de esas frecuencias y determinan la potencia máxima de transmisión, el ancho de banda máximo permitido para que no se produzcan solapes (interferencias) entre los distintos canales así como el tipo o tipos de modulación, entre otros aspectos.

El total de las emisoras comerciales, existentes en las diferentes bandas permitidas, modulan en amplitud (AM) a excepción de la banda comercial VHF-FM (88-108 MHz) cuyas estaciones emisoras modulan en frecuencia (FM) de banda lo suficientemente ancha como para poder transmitir alta fidelidad. Esto no quiere decir que en otro tipo de emisiones fuera de la banda comercial de FM (radioaficionados, etc.) no se pueda modular en frecuencia, de hecho las estaciones de trabajo de los radioaficionados tienen la posibilidad de modular de diversas formas entre ellas en FM, pero eso sí, con un ancho de banda limitado, muy inferior al de la radiodifusión comercial en FM.

### 3 Bandas de radiodifusión

Dentro de las bandas expuestas en cuadros anteriores están todos los servicios que se hacen por radio: policía, aficionados, comunicaciones móviles, radioyudas a la navegación, radar, comunicaciones tierra-satélite, etc., y como no, también se encuentran las bandas de radiodifusión, que son aquellas que transmiten normalmente con fines fundamentalmente comerciales, de divulgación y en general emisiones dirigidas al sector “gran público” para denotar su carácter de interés general.

Las bandas de radiodifusión emplean un espectro de frecuencias muy reducido en comparación con el margen total de ondas hercianas utilizable: apenas el 0.2% de todas las frecuencias útiles se destinan a este fin. En él se incluyen no solo las emisoras de radio, sino también las de TV. Solo el 5% del espectro de radiodifusión lo ocupan las emisoras de radio, quedando el 95% restante para la TV. La razón es de tipo técnico ya que una sola emisora de TV necesita un ancho de banda 20 veces superior al que necesitaría una emisora de FM, y es 600 veces mayor que el que necesitaría una emisora de AM. Es por esta diferencia tan grande en el ancho de banda ocupado que existen más 50 canales de radio por cada uno de TV, a pesar de ocupar la radio el 5% del ancho de banda disponible.

Las emisoras de radio se encuentran en distintas bandas, presentando cada una de ellas características propias distintas de las de otras bandas. Estas bandas de radiodifusión se reservan para este fin por acuerdos internacionales. No en todas las partes del mundo existen los mismos acuerdos, por lo que estas cifras solo valen para la zona europea occidental, Oriente medio y parte de África.

En el siguiente cuadro podemos observar las principales bandas de radiodifusión para la zona europea, Oriente Medio y parte de África.



<b>EMISORAS DE RADIO</b>			
<b>Banda</b>	<b>Siglas</b>	<b>Margen de frecuencia</b>	<b>Modulación</b>
Onda Larga	OL	150-300 KHz	AM
Onda Media	OM	525-1.650 KHz	AM
Onda Corta	OC	16,19,25,31,41,49,60,75 y 90 m de longitud de onda	AM
VHF Banda II Modulación de frecuencia	MF	87.5-104 MHz (en algunos países 87- 108 MHz)	FM

En otras zonas las bandas pueden no coincidir pero en todo caso están cercanas a la de la zona mencionada, muchas veces solapadas las de unas regiones con otras. Dentro de cada banda, cada país puede que introduzca sus propias limitaciones, reservas o utilización, por lo que las cifras deben tomarse solo como característica general común a la zona antes dicha.

En el apartado anterior se ha comentado que la modulación se realiza siempre en amplitud (AM) a excepción de la Banda II de VHF y su sección 88-108 MHz dedicada a la transmisión en FM de banda ancha y alta fidelidad, entendiéndose por alta fidelidad aquellas transmisiones con un rango de frecuencias audibles de 10 a 15.000 Hz, inmunidad a los ruidos y estereofonía si se dispone de ella. La FM es inmune a los ruidos debido a que estos normalmente se suman en amplitud y no en frecuencia. De aquí se deduce que la AM es más “ruidosa” que la FM.

### 3.1 Utilización de las bandas.

Las bandas de frecuencias más bajas se reservan para las emisoras que transmiten en AM, mientras que las de FM transmiten en frecuencias altas (alrededor de 100 MHz), esto es consecuencia del distinto ancho de banda que requieren unas y otras transmisiones.

Al tener cada una de las bandas un ancho especificado, del que no podemos salirnos, cuanto más ancho de banda emplee cada emisora, menos emisoras “cabén” en una determinada banda, ya que una emisora no puede solapar a la banda ocupada por otra, pues se producirían interferencias. En general a mayor calidad de transmisión (alta fidelidad), mayor es el ancho de banda ocupado y viceversa.

El C.C.I.R. estudió el problema de la transmisión de AM en las bandas de frecuencias bajas, medias y altas (OL, OM y OC) llegando a la conclusión de que para poderlas aprovechar adecuadamente era necesario reducir el ancho de banda empleado por cada emisora a 9 KHz, con lo que fácilmente se comprende que cada banda lateral no podrá ocupar más de 4.5 KHz, que será también la frecuencia de audio más alta que podrá transmitirse. De esta forma pueden entrar hasta 125 emisoras sin interferirse unas a otras.

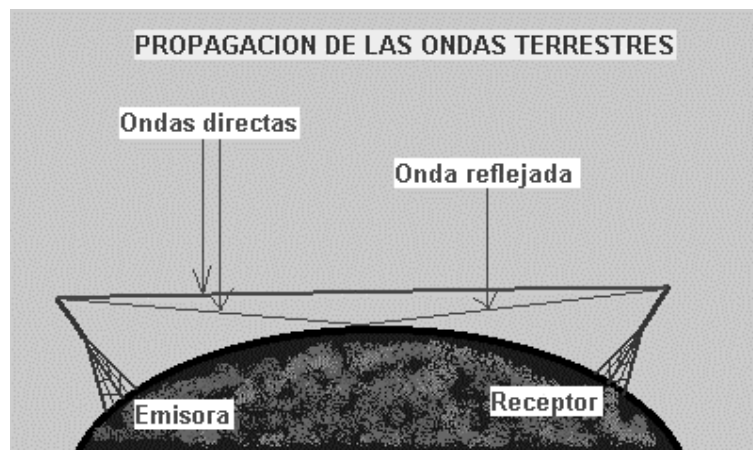
Naturalmente cada una de esas 125 emisoras se ven imposibilitadas a poder emitir programas en alta fidelidad, ya que el C.C.I.R. les ha limitado la banda de audio a 4.5 KHz. En la actualidad las emisoras de AM no se consideran de alta fidelidad y desde luego no porque la AM no pueda “dar más de sí”, aunque luego se presentasen otra serie de inconvenientes como ruidos atmosféricos, etc.

## 4 Propagación de ondas

La idea de la comunicación por radio es muy simple en su concepción. Un transmisor, un medio por el que se propague la onda, y un receptor. El transmisor y el receptor los construimos nosotros colocándolos en los lugares adecuados, que por una u otra razón convengan.

Pero el medio de transmisión está ahí (la atmósfera, para el tipo de comunicación que nos interesa), y es muy difícilmente modificable para hacerle cumplir con nuestros requisitos ideales, por lo que hay que adaptarse a él, estudiarlo y aprovecharlo lo mejor que se pueda.

Como no pretendemos hacer un estudio teórico, no vamos a profundizar en las propiedades que presenta, sino que vamos a hacer un análisis práctico de su comportamiento. Así diremos que, fundamentalmente, podemos considerar que una transmisión de radio puede desplazarse de tres formas, que suelen denominarle como *onda de tierra*, *onda de espacio* y *onda visual*.



Transmisión directa y por rebotes

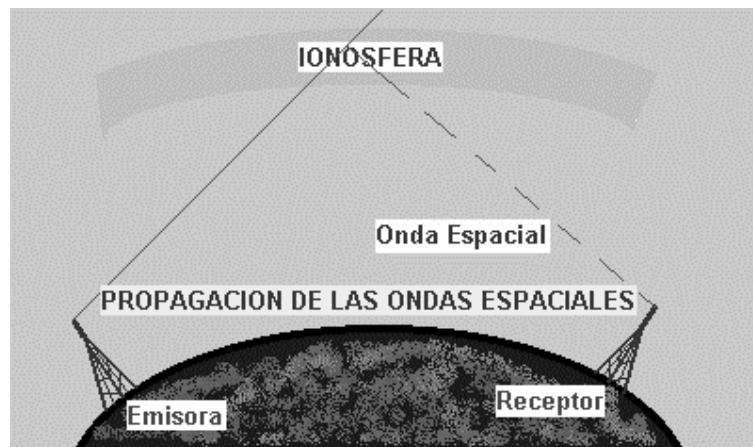
En principio, las ondas de radio se desplazan en línea recta, por lo que dos puntos podrían quedar unidos por las mismas siempre y cuando estuvieran uno a la vista del otro. Este tipo de comunicación es la que se realiza con la llamada onda visual. Conviene aclarar que el término “visual” es relativo a las ondas de radio. Objetos que para nuestra vista resultan opacos, son perfectamente transparentes a las ondas radio. Y, recíprocamente, hay determinadas estructuras que no pueden atravesar las ondas radio. Por ejemplo, resulta muy difícil hacer funcionar un receptor de radio en el interior de una jaula metálica, aunque nuestra vista no tiene ningún problema para ver a través de la misma (si los barros no son muy gordos).

Por otro lado, las ondas radio también pueden propagarse sobre la superficie de la tierra, siguiendo su orografía. Esta es la denominada onda de tierra, que se atenúa con la distancia debido a las pérdidas producidas por el mismo terreno sobre el que viaja. Dichas pérdidas dependen de la frecuencia de la transmisión, así como de las características eléctricas de la tierra (conductividad; entre otras). El término

“tierra” debe aplicarse en el sentido de superficie terrestre, la cual incluye las superficies de agua. En concreto, la propagación por onda de tierra sobre la superficie del mar (agua salada) se atenúa mucho menos que sobre terreno firme.

El balance práctico de la onda de tierra depende mucho de la frecuencia empleada por la emisora, de forma que disminuye conforme se aumenta la frecuencia.

Por esta razón, son las gamas de frecuencia más bajas las que se benefician de esta forma de propagación. Las emisoras que emiten en la banda de OL en Europa pueden recibirse con facilidad en todo el continente. En la banda de OM el alcance es más reducido, y podemos considerar que por encima de unos 1.600KHz (extremo superior de la banda de OM;) sólo se realizan comunicaciones locales por medio de la onda de tierra (a lo sumo 50 kilómetros). Finalmente, la señal de radio puede llegar al receptor viajando por el aire, por medio de lo que se conoce como *onda de espacio*. La atenuación en el aire es relativamente pequeña, por lo que el alcance de la onda de espacio puede ser muy grande. Además, las capas altas de la atmósfera (la llamada ionosfera) se comportan, en determinadas condiciones, de una forma muy peculiar: pueden “curvar” el camino recorrido por la onda de espacio y hacerla volver a la tierra (como un rayo de luz que se refleja en un espejo), o incluso viajar a través de la ionosfera una cierta distancia antes de regresar hacia la tierra. Una vez que la onda regresa, puede ser reflejada por la superficie de la tierra y volver de nuevo a la ionosfera, repitiendo el proceso y pudiendo realizarse comunicaciones a distancias enormes.



Existe una clara diferencia entre la *onda de tierra* y la *onda de espacio*. Mientras que el medio en que se propagan las primeras (la superficie de la tierra) cambia poco en el tiempo, la onda de espacio depende de las características de la ionosfera, que varían ampliamente en el tiempo, ya que las condiciones de propagación no sólo dependen de la latitud del lugar, sino de la hora del día, de la estación del año e incluso de la mayor o menor actividad del Sol.

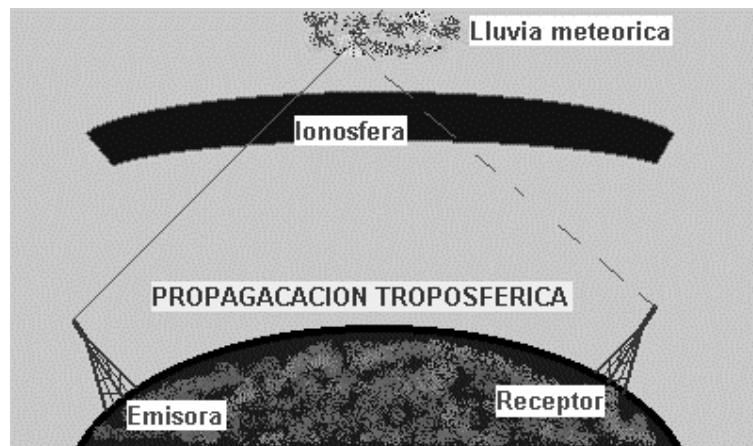
Así, para bajas frecuencias, las condiciones de propagación son muy impredecibles. Además como en esas frecuencias la onda de tierra tiene gran alcance, para nuestros efectos es la única que puede considerarse. En la banda de OM, la onda de espacio no regresa a la tierra durante el día; sin embargo, sí lo hace por la noche, debido principalmente a que la altura de la ionosfera sobre la superficie terrestre es

más reducida, lográndose que el alcance de las emisoras sea muy grande. En cuanto a la banda de OC, el fenómeno es muy complejo, ya que, además de las condiciones de la ionosfera, continuamente cambiantes, hay que contar con que las emisiones radiadas con una frecuencia de portadora superior a un cierto valor crítico no son reflejadas a la tierra, sino que atraviesan la ionosfera y escapan hacia el espacio exterior, con lo que se pierden para nosotros. El valor de dicha frecuencia crítica no es fijo, siendo durante el día de valor más elevado que durante la noche.

## 4.1 La propagación en VHF

La propagación en frecuencias muy altas (VHF), donde también se encuentra la banda de radiodifusión de F.M., podemos decir que es de poco alcance, ya que al ser tan alta la frecuencia, las ondas no son reflejadas por la ionosfera, y se escapan de esta hacia el espacio, fuera de la atmósfera. Por otro lado, además las ondas viajan por el aire en modo visual, por lo que el alcance de estas emisoras es muy limitado por el terreno y obstáculos que encuentren en su camino, dependiendo así con gran influencia de la altura a la que se encuentren las antenas transmisoras.

En el segmento de frecuencia asignado a los radioaficionados en esta banda de VHF las buenas condiciones de propagación para poder hacer un enlace a larga distancia (DX), son muy escasas y esporádicas. Dependen mucho de unas condiciones atmosféricas muy determinadas, o también dichos contactos DX se realizan a través de la llamada *propagación troposférica*, *lluvia de meteoritos* o *rebote lunar*. Siendo estas últimas escasas y muy aprovechadas por los radiooperadores sobre todo en la época estival cuando hay lluvia de estrellas. Por eso en esta banda es frecuente el uso de antenas direccionales que aumentan tanto la ganancia de transmisión como la de recepción considerablemente.

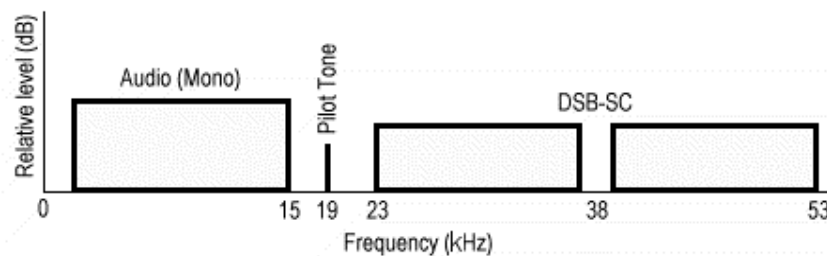


Resumiendo todo lo expuesto anteriormente podemos considerar que la propagación de las ondas hercianas tienen mucha variación dependiendo de la frecuencia y el modo en que se transmite así como la estación del año en que nos encontremos, las condiciones atmosféricas, las ionosféricas, y las estelares.

En resumen podemos decir que en las frecuencias muy altas las ondas viajan en modo visual, en la onda corta en modo espacial y en onda media y larga en modo terrestre.

## 5 La transmisión en FM

El ancho que ocupa una transmisión en FM es de al menos 10 veces el de la señal de audio. Así y suponiendo que transmitiríamos música en alta fidelidad, con señales de frecuencias de hasta 20 KHz cada emisora necesita, por lo menos una banda de 200 KHz. Si pretendiéramos utilizar este tipo de transmisión en la banda de OM, solo entrarían, y mal, 6 emisoras. Es por esta razón que se eligen bandas de frecuencias muy elevadas para su uso por la radiodifusión en FM. En concreto y suponiendo que se utilice un ancho de banda por emisora de 200 KHz, en la banda 87 a 108 MHz entrarán un mínimo de 105 emisoras. En Europa se ha normalizado la separación entre dos emisoras contiguas en 300 KHz, asignándose además una numeración a las posibles emisoras o canales (igual que en TV). Así el primer canal es el 2 que está situado en 87.6 MHz. El siguiente gráfico muestra el ancho de banda ocupado por una emisora comercial de FM estereofónica donde el primer lóbulo (Audio Mono) corresponde a señal suma de los dos canales estereofónicos resultando una señal mono inteligible para cualquier receptor monofónico de FM (88-108 MHz). Los otros dos lóbulos corresponden a una modulación de la señal diferencia de los canales estereofónicos, necesario para poder decodificar posteriormente la señal estereofónica. Todo esto a su vez modula a la portadora principal.



En los EEUU se admiten emisoras separadas 200 KHz (situadas en canales contiguos) aunque si debido a su proximidad pudieran interferirse suelen separarse al menos 400 KHz (situándolas en los llamados canales alternos). Esta menor separación, junto con la extensión hasta 108 MHz por el lado alto de la gama, se ha originado por la gran congestión que se produce en determinadas zonas, de forma que pueden encontrarse cerca del doble de canales que en Europa. Tanto en un continente como en otro se emplea una desviación típica de pico de 75 KHz sobre la frecuencia de portadora. Con este ancho de banda es posible transmitir señales de audio de hasta 15 KHz, lo suficiente para que sea considerado como alta fidelidad.

Limitaciones más significativas en el funcionamiento de un sistema de comunicaciones.

.- Ancho de banda: Banda de paso mínima (rango de frecuencia) requerida para propagar la información de la fuente a través del sistema.

.- Ruido: ondas indeseables que tienden a perturbar la transmisión y el procesamiento de las señales y sobre las cuales no se tiene un control completo. Las fuentes de ruido pueden ser externas o internas.

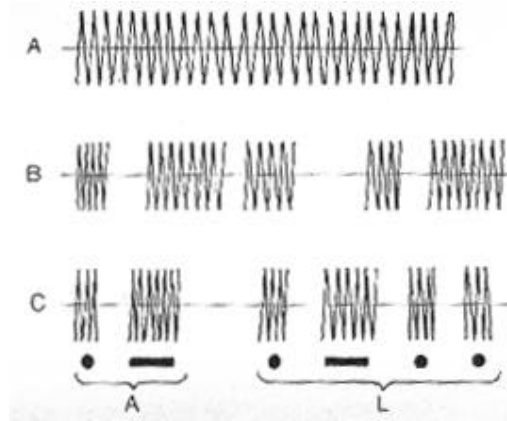
La otra gran ventaja que presenta la FM frente a la AM son los ruidos tan desagradables que se oyen en el receptor de AM, cuando hay una tormenta o simplemente cuando ponemos en marcha un secador de pelo. En la recepción de radio, la interferencia puede llegar a ser tan grande, que a veces anula por completo la señal recibida de la emisora.

Este tipo de interferencias se produce porque la fuente u origen (tormenta, secador, etc.) genera señales de amplitud variable en todo el espectro de frecuencias (desde menos de 100 KHz hasta la banda de VHF); estas señales se suman con la de AM modificando su amplitud que es donde va contenida precisamente la información sonora. En cambio un receptor de FM está preparado para reconocer solamente variaciones en la frecuencia de la señal que le llega, y no en su amplitud, por lo que aunque la señal de FM se vea fuertemente modificada por la interferencia, el receptor rechazará esta última dejando pasar la señal de audio limpia.

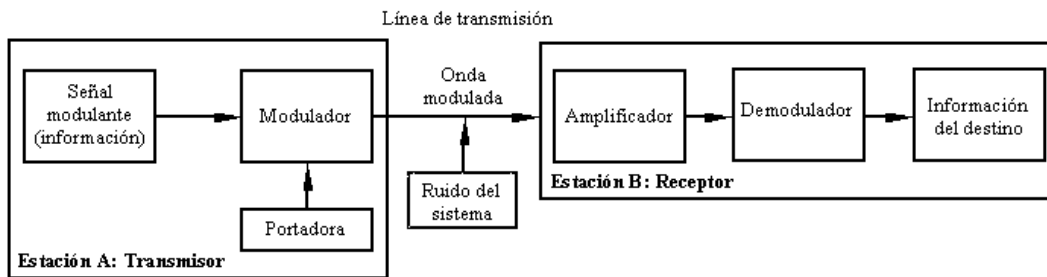
## 5.1 Estudio y características de la modulación en frecuencia

**Definición de Modulación:** Proceso de variar o cambiar alguna propiedad de una portadora (Analógica o Digital) de acuerdo con la información original de la fuente.

La transmisión de una onda electromagnética pura no es otra cosa que una onda que no transporta ningún tipo de información. La primera idea que se nos ocurre para que una onda lleve algo de información es interrumpirla en intervalos más o menos frecuentes (hay onda, no hay onda). De esta forma surge el código Morse. En la figura, A sería la onda portadora, B la portadora entrecortada a voluntad y C representa la asignación de un código alfanumérico (Código Morse) a las distintas secuencias de emisión de la portadora.



Para poder transmitir, sonidos o cualquier otro tipo de información es necesario realizar el proceso de *Modulación* en el emisor y posterior *Demodulación* en el receptor. El siguiente esquema representa de forma simple un sistema de comunicación unidireccional o simplex, que es el que se usa en transmisiones comerciales.



Utilicemos un símil comparativo para ayudar a comprender el proceso. En el proceso de transmisión se crea una onda portadora (equivalente a una corriente de aire), que se lleva a un modulador (la boca y la lengua) para que sobre ella se imprima la información que deseamos que se materialice como onda moduladora (lo que nosotros queremos expresar con el lenguaje). El resultado final es la onda modulada (las palabras realmente pronunciadas) que será radiada al espacio para que otra u otras personas puedan recogerla e interpretarla.

### Razones para modular.

Es muy difícil radiar señales a frecuencias bajas por la atmósfera de la tierra en forma de energía electromagnética. Las señales de información frecuentemente ocupan la misma banda de frecuencia; por ejemplo, radio, C.B. y telefonía celular (20 Hz - 15 KHz), por lo tanto se interfieren. Además, sería poco práctico (o innecesario) construir antenas para frecuencias bajas dado el gran tamaño que estas poseen motivadas por las longitudes de onda tan grandes.

Existen varios métodos de modulación, pero concentraremos la atención en los de mayor uso, (especialmente en la modulación de frecuencia):

- Modulación de Amplitud. (Será brevemente explicado)

- Modulación de Frecuencia.
- Modulación de Fase.

Desde el punto de vista matemático, la modulación es el producto de dos señales de diferentes frecuencias.

**modulación = portadora x moduladora**  
**portadora (carrier)**

$$e_c(t) = A_c \cos(\omega_c t + \Phi)$$

$A_c$  variar amplitud(AM)  
 $\omega_c$  variar frecuencia(FM)  
 $\Phi$  variar fase (PM)

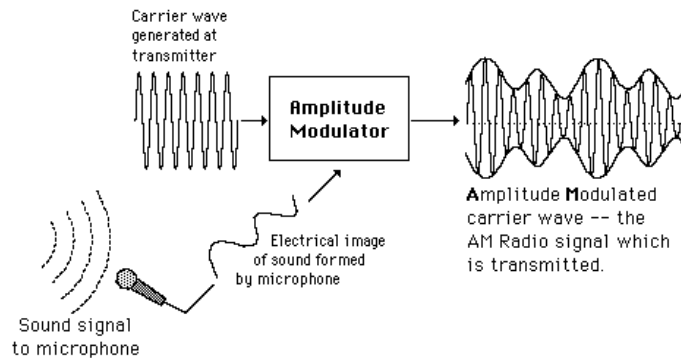
La *moduladora* es la información, el mensaje propiamente dicho.

$$e_m(t) = A_m \cos W_m t$$

La *demodulación*, es el proceso inverso, que se realiza a la llegada de una señal modulada, para decodificar el mensaje, (moduladora) separándolo de la portadora.

### 5.1.1 Modulación de Amplitud (AM)

Es la más antigua y sigue vigente; cada emisora radial tiene una frecuencia asignada y con ella llega a los hogares.



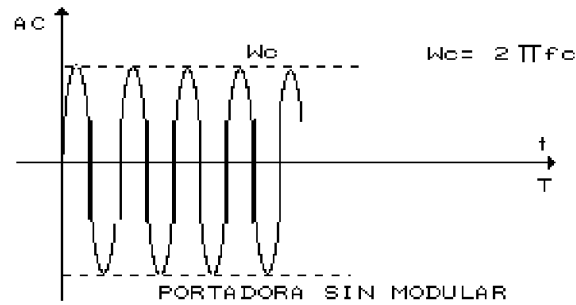
Esta frecuencia es fija y en la misma provincia o región no puede ser ocupada por otro usuario. Esta frecuencia se llama *Portadora*, y el mensaje (la palabra o la música) es la que modula y esto se llama *Moduladora*. El valor instantáneo de la portadora es:

$$e = A_c \cos W_c t$$



Por ejemplo una portadora de 760 KHz, transmitida así como tal, es una señal cosenoidal (o senoidal), que no lleva información. Si definimos a  $A_1$  como amplitud que depende de la moduladora cuando la moduladora esté ausente tendremos la portadora solamente:

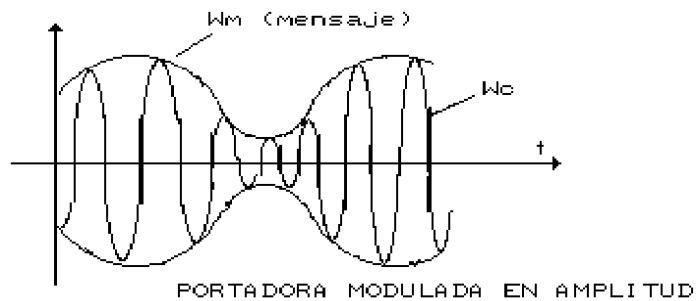
$$e = A_1 \cos \omega_c t = A_c \cos \omega_c t$$



En cambio, cuando la moduladora está presente:

$$A_1 = A_c + K A_m \cos \omega_m t$$

Esto representa la tensión moduladora y  $k$  un factor de proporcionalidad.



Obviamente los circuitos electrónicos se diseñan para que cumplan con el producto de portadora y moduladora.

La expresión completa quedaría:

$$(1) e = (A_c + K.A_m \cos \omega_m t) .\cos \omega_c t$$

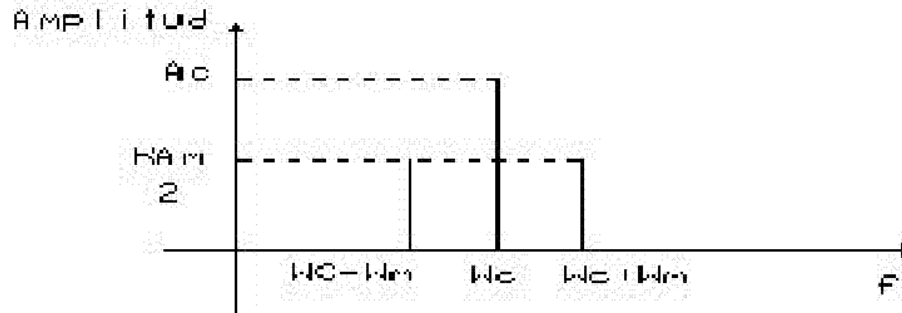
Recordando un poco de trigonometría sabemos que  $\cos a . \cos b = 1/2 \cos(a-b) + 1/2 \cos(a+b)$ , por lo que la expresión anterior se convierte en (ecuación 2):

$$e = A_c \cos \omega_c t + K \cdot A_m \cdot [\cos (\omega_c - \omega_m)t + \cos (\omega_c + \omega_m)t]$$

Viendo la ecuación, se observan tres frecuencias:

$$\omega_c, (\omega_c + \omega_m) \text{ y } (\omega_c - \omega_m)$$

Se puede representar la amplitud en función de la frecuencia, se llama *gráfico de espectro de frecuencia*.



Volviendo a la primera ecuación:

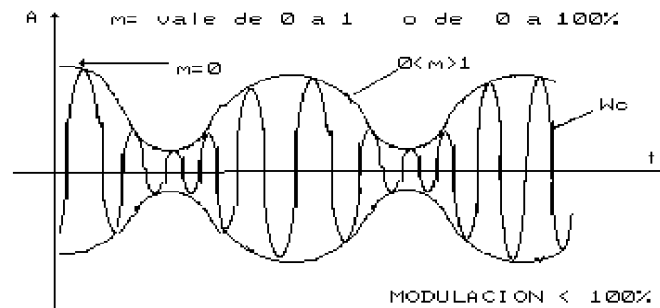
$$e = A_c (1 + (K \cdot A_m / A_c) \cos \omega_m t) \cdot \cos \omega_c t$$

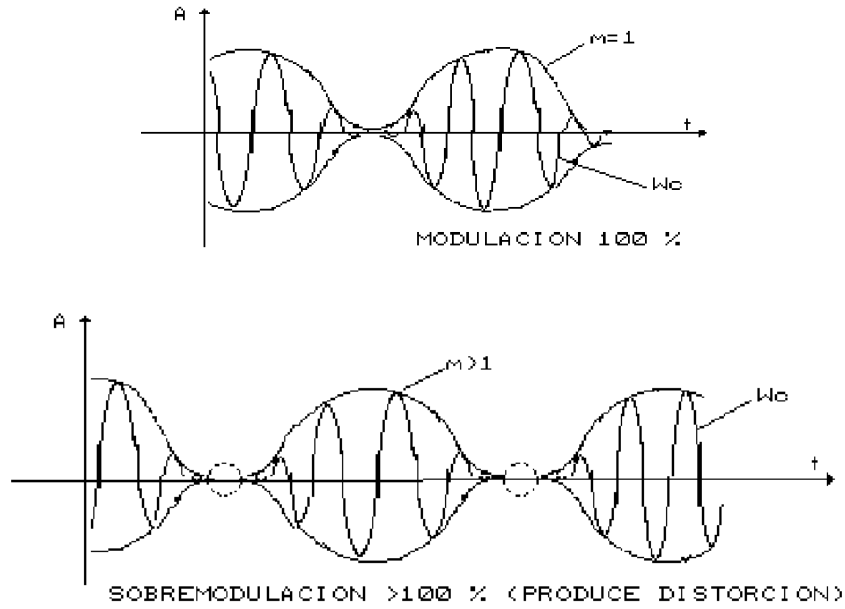
$$K \cdot A_m / A_c = m = \text{índice de modulación}$$

Sustituyendo en la ecuación 2 nos queda:

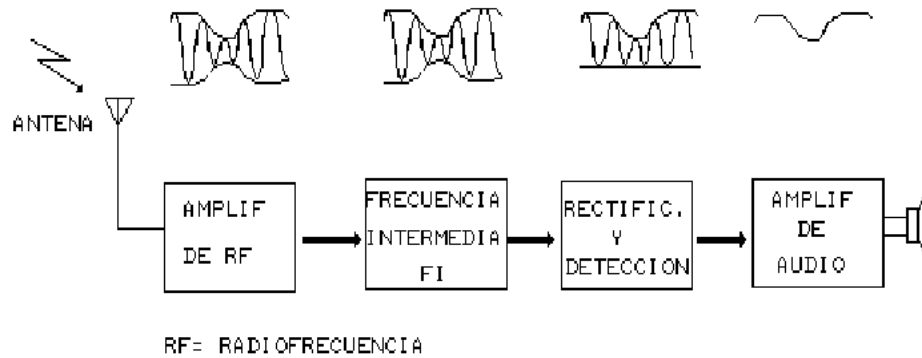
$$e = A_c \cos \omega_c t + m \cdot A_c \cdot [\cos 2\pi (\phi_c - \phi_m) t + \cos 2\pi (\phi_c + \phi_m) t]$$

$m$  = varía de 0 a 1 ó 0 a 100%

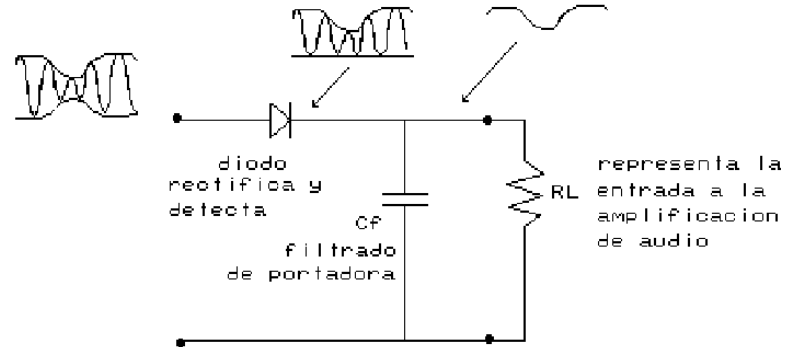




Esto se llama *sobremodulación* y genera distorsión por intermodulación. ( $m > 1$ ). La señal modulada se propaga por el aire y a la llegada a la antena del receptor (algunos microvoltios), la señal de radiofrecuencia se amplifica y luego se convierte a una frecuencia estandarizada (normalizada a 455/465 KHz. EE.UU), se llama Frecuencia intermedia (F.I.), se amplifica nuevamente, luego se separa a la portadora del mensaje (moduladora), esta etapa se llama detección, y luego a las etapas de Amplificación de Audio.



El rectificador y detector más simple es el siguiente:



CF es pequeño ( $\cong 100 \text{ pF}$ ), de manera que  $X_c$  para la portadora es un cortocircuito  $X_c \cong 0$  y para la Moduladora es un circuito abierto ( $X_c \cong \text{INFINITO}$ )

El diodo detector puede ser de Germanio o de Silicio, tecnología SchottKy, ambos con  $V_d = 0,2V$ .

### 5.1.2 Clasificación de transmisores según FCC.

Los transmisores de radio se clasifican de acuerdo a: el Ancho de banda, Tipo de modulación y Tipo de información.

<i>Símbolo</i>	<i>Letra</i>	<i>Tipo de Modulación</i>	
<i>Primero</i>	<i>No modulada</i>		
	N	Portadora no modulada	
	<i>Modulación de amplitud</i>	A	Doble banda lateral, portadora completa (DSBFC)
		B	Banda lateral independiente, portadora completa (ISBFC)
		C	Banda lateral vestigial, portadora completa (VSB)
		H	Banda lateral única, portadora completa (SSBFC)
		J	Banda lateral única, portadora suprimida (SSBSC)
		R	Banda lateral única, portadora reducida (SSBRC)
	<i>Modulación Angular</i>	F	Modulación en frecuencia (FM directo)
		G	Modulación en fase (FM indirecta)
		D	AM y FM simultáneos o en secuencia
		<i>Modulación por pulsos</i>	K
	L		Modulación en ancho de pulso (PWM)
	M		Modulación en posición de pulso (PPM)
	P		Pulsos no modulados (datos binarios)
	Q		Ángulo modulado durante pulsos
	V		Cualquier combinación de la categoría de modulación de pulsos
	W		Cualquier modulación de dos o más de la formas anteriores de modulación
	X		Casos no cubiertos
	<i>Segundo</i>		0
1			Portadora transmitida digitalmente
2		Tono transmitido digitalmente	
3		Analógico (sonido o video)	
7		Dos o más de los canales digitales	
8		Dos o más de los canales analógicos	
9		Análogo y digital	
<i>Tercero</i>	A	Telegrafía, manual	
	B	Telegrafía, automático (teletipo)	
	C	Facsimil	
	D	Información, telemetría	
	E	Telefonía (radiodifusión de sonido)	
	F	Televisión (radiodifusión de video)	
	N	Ninguna información transmitida	
W	Cualquier combinación de segunda letra		

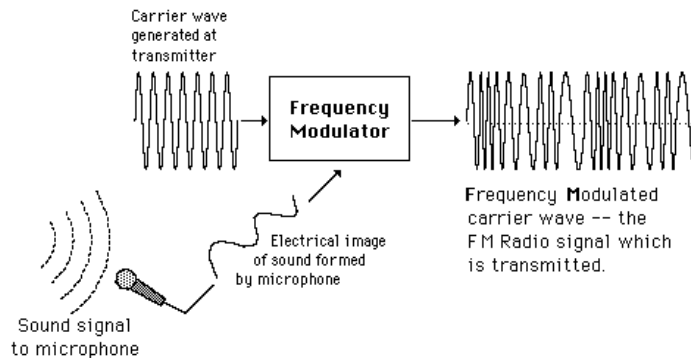
1ª Letra: Tipo de modulación de la portadora principal.

2ª Letra: Tipo de em isión (analógica, digital, otras).

3ª Letra: Tipo de información que está siendo transmitida (datos, telefonía, TV, etc.).

### 5.1.3 Características de la modulación de frecuencia

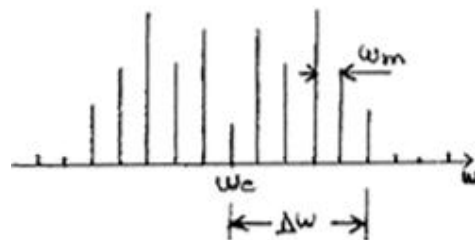
Al igual que ocurre con la señal modulada en amplitud, la que ha sido modulada en frecuencia también puede descomponerse matemáticamente en varias componentes. Sin embargo, ahora el resultado no es tan sencillo. Vamos a esbozar cuáles son los problemas que surgen con una transmisión en FM.



Del estudio de la señal modulada (que es la que se transmite y recibe) resulta que se producen un número infinito de componentes laterales, ocupando un ancho de banda también infinito, al contrario de lo que ocurría con la AM, en la que eran sólo dos bandas con un ancho de banda determinado. En principio, podría parecer un problema insoluble, ya que no puede construirse ningún equipo práctico con ese ancho de banda.

Un estudio más detenido de las componentes nos dice que su amplitud decrece rápidamente conforme nos alejamos de la frecuencia de la portadora, por lo que tomando un número relativamente pequeño de las mismas, puede recuperarse suficiente información como para recomponer la señal con un grado determinado de calidad.

De aquí proviene el gran dilema que supone la elección del ancho de banda ocupado para la transmisión recepción de una señal modulada en frecuencia. Cuanto mayor número de componentes laterales cojamos, mayor fidelidad de reproducción obtendremos, y mayor ancho de banda ocuparemos, con lo que menor número de “canales” entrarán en la banda asignada. Por contra, si queremos suficiente número de “canales”, deberemos acotar el ancho ocupado por cada uno, con lo que menor número de componentes laterales recuperaremos y, por tanto, menor calidad tendrá la reproducción.



Como en otras muchas ocasiones, es la práctica la que nos da la última palabra. Así, numerosas pruebas han llegado a demostrar que, con una desviación típica de  $\pm 75\text{KHz}$  y si se desea recuperar la información suficiente para que no haya diferencia apreciable con la señal original (para la que se

considera una banda de 15 KHz de ancho), es necesario un ancho de banda de 255 KHz. No obstante, si el ancho de banda lo reducimos a 210 KHz, aún no recuperándose toda la información, no se obtendrá distorsión armónica apreciable. Todavía puede reducirse algo más el ancho de banda, ya que los valores anteriores pueden deducirse de aproximaciones teóricas al problema: Considerando las señales que pueden observarse en la práctica, que son al fin y al cabo las que más nos interesan, puede reducirse a 185 KHz el ancho de la banda de paso, sin que pueda apreciarse diferencia alguna con la señal original.

Por todas estas razones hasta aquí consideradas, fue que se eligieron las separaciones normalizadas entre canales de 200 KHz en EE.UU. y 300 KHz en Europa: Posteriormente comenzaron las transmisiones en FM estereofónicas que, como ya veremos en su momento, requieren de un mayor ancho de banda, con lo que 200 KHz entre emisoras es una banda muy ajustada, mientras que con 300 KHz hay suficiente. Así, dos canales adyacentes en Europa pueden ser ocupados por emisoras cercanas, pues no se interferirán; sin embargo, en EE.UU. se ha de dejar un canal libre entre dos emisoras próximas que transmitan en estereofonía (canales alternos), ya que la separación pasaría a ser de 400 KHz.

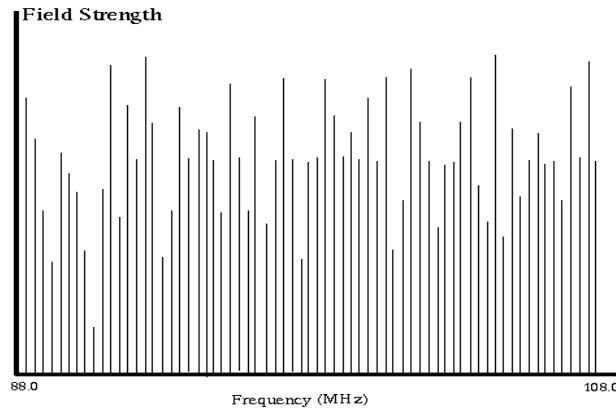
En FM no ocurre como en AM, en que parte de la potencia transmitida es empleada exclusivamente para la portadora, no siendo útil a efectos de “información”, como ya hemos comentado. Ahora la potencia gastada en la emisora se distribuye por toda la banda entre todas las componentes, de forma que tan sólo en el caso de que no se transmita modulación alguna (sólo la portadora), la potencia irá exclusivamente para la portadora. En todos los demás casos la portadora recibirá tan sólo parte de la potencia gastada.

Por último, comentar que tan sólo es en FM donde pueden transmitirse programas sonoros en alta fidelidad con la normativa actual. En este sentido tenemos que decir que también es en esta banda únicamente en la que hoy en día se transmite en estereofonía, al menos en Europa, ya que en EE.UU. se está comenzando también a transmitir en las bandas de AM.

Desde 1970 transmite una emisora de Tijuana, México, en AM en estéreo en 690 KHz. Así pues, podemos considerar estas transmisiones como una fuente más de programas sonoros en alta fidelidad. Igualmente, no debemos olvidar que en la mayoría de los sistemas de TV de los distintos países se transmite el sonido en FM, por lo que también podremos introducir dicha señal de sonido a nuestra cadena de alta fidelidad, ya que tendrá calidad suficiente.

## 5.2 El proceso de Modulación de FM de Banda Ancha

Ejemplo de diagrama espectral para la banda de 88 a 108 MHz



### 5.2.1 Evaluación de la *Transformada de Fourier* de la señal de FM para senoidales puras.

Se analizan las señales senoidales puras de forma individual ya que no es posible evaluar la Transformada de Fourier de una señal de FM general, o sea, compuesta de múltiples señales senoidales.

La forma general de la señal modulada en FM, está dada por:

$$f_{FM}(t) = A \cdot \cos(\omega_c t + b \cdot \text{sen } \omega_m t)$$

En notación compleja, se expresa como:

$$f_{FM}(t) = \text{Real} \left\{ \underbrace{A \cdot e^{j\omega_c t}}_{\text{Portadora}} \cdot \underbrace{e^{jb \text{ sen } \omega_m t}}_{\text{Efecto modulador}} \right\}$$

Definimos la función periódica de frecuencia como:

$$q_i(t) = e^{jb \text{ sen } \omega_m t}$$

donde  $q_i(t)$  se puede describir como una *Serie de Fourier* por tratarse de una función periódica.

$$q_i(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} F_n e^{jn\omega_m t}$$

$F_n$  representan los *Coefficientes de Fourier*, los cuales se determinan con:

$$F_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} q_i(t) \cdot e^{-jn\omega_m t} \cdot dt$$



$$F_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} e^{j b \sin w_m t} \cdot e^{-j n w_m t} \cdot \frac{d(w_m t)}{w_m}$$

Entonces obtenemos la siguiente relación para los Coeficientes de Fourier:

$$F_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-T/2}^{T/2} e^{j[b \sin w_m t - n w_m t]} \cdot d(w_m t)$$

Esta integral se evalúa numéricamente en términos de los parámetros  $n$  y  $\beta$ .

Se obtiene la *Función de Bessel de Primera Clase*:

$$J_n(\hat{a}) \rightarrow \text{Orden "n" y argumento "\hat{a}"}$$

Con:

$n$  = Entero positivo o negativo.

$\beta$  = Variable continua de valores positivos.

Propiedades de las *Funciones de Bessel*:

1º-  $J_n(\hat{a})$  son de valor real.

2º-  $J_n(\hat{a}) = J_{-n}(\hat{a})$  para  $n$  par

3º-  $J_n(\hat{a}) = -J_{-n}(\hat{a})$  para  $n$  impar

$$4^\circ - \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n^2(\hat{a}) = 1$$

Por lo tanto los coeficientes de Fourier quedan determinados por las Funciones de Bessel de primera clase:

$$F_n = J_n(\hat{a})$$

Si tenemos en cuenta la Serie de Fourier que representa a la función periódica del efecto modulador:

$$q_i(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(\hat{a}) \cdot e^{j n (w_m t)}$$

resulta para la señal modulada de FM en su forma compleja:

$$f_{FM}(t) = \text{Real} \left\{ A \cdot e^{j w_c t} \cdot q_i(t) \right\}$$

$$f_{FM}(t) = \text{Real} \left\{ A \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(\hat{a}) \cdot e^{jn(\omega_m t)} \right\}$$

$$f_{FM}(t) = \text{Real} \left\{ A \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(\hat{a}) \cdot e^{j[\omega_c t - n\omega_m t]} \right\}$$

Se obtiene el siguiente modelo de la señal modulada de FM.

$$f_{FM}(t) = A \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(\hat{a}) \cdot \cos(\omega_c + n\omega_m) \cdot t$$

### Conclusiones

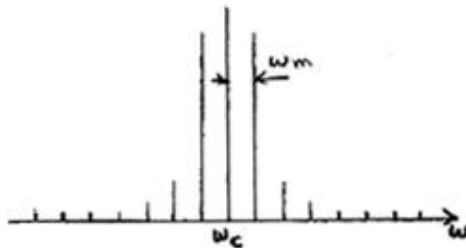
- La señal de FM con modulación senoidal tiene un número infinito de bandas laterales.
- Las magnitudes de las componentes espectrales de las bandas laterales de orden superior se hacen despreciables.
- La potencia está contenida en un Ancho de Banda Finito.

### 5.2.2 Espectro para señales de FM con modulación senoidal.

Basándonos en la siguiente relación:

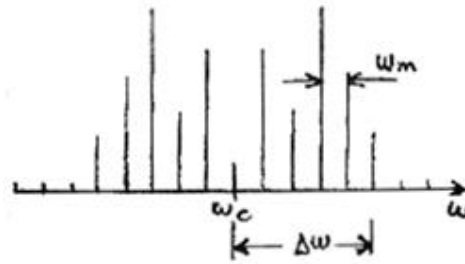
$$\hat{a} = \frac{\Delta\omega}{\omega_m}$$

Para una  $\omega_m$  constante y un  $\Delta\omega$  pequeño tenemos una  $\beta \approx 1$ . (En los siguientes gráficos y por simplificación, la portadora y las bandas quedan representadas mediante barras verticales)



$\omega_m$  constante,  $\Delta\omega$  pequeño,  $\beta \approx 1$

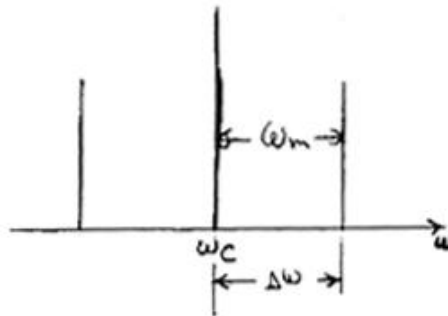
Para una  $\omega_m$  constante y un  $\Delta\omega$  grande tenemos una  $\beta \approx 5$ .



$\omega_m$  constante,  $\Delta\omega$  grande,  $\beta \approx 5$

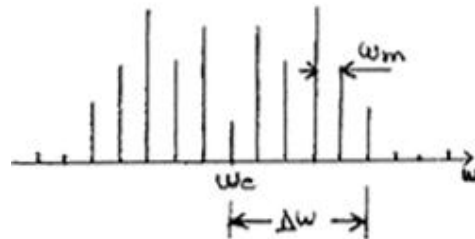
De los dos gráficos anteriores se deduce que la desviación de frecuencia aumenta el ancho de banda.

Para una  $\Delta\omega$  constante y  $\beta \approx 1$ :



$\Delta\omega$  constante y  $\beta \approx 1$

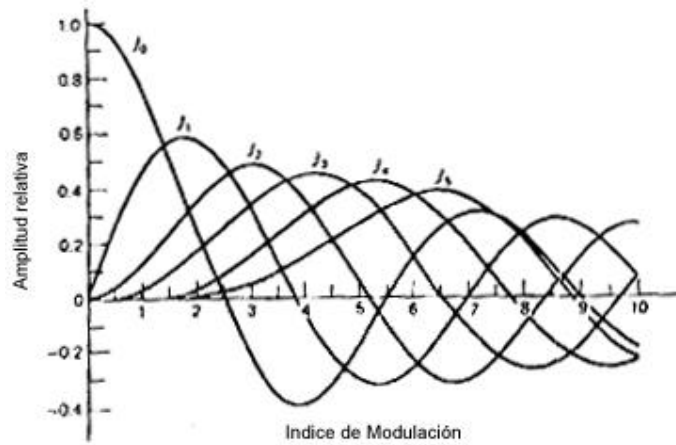
Para una  $\Delta\omega$  constante y  $\beta \approx 5$ :



$\Delta\omega$  constante y  $\beta \approx 5$

De los dos gráficos anteriores se deduce que la frecuencia de información concentra las bandas laterales.

Representación de las Funciones de Bessel de Primera Clase.



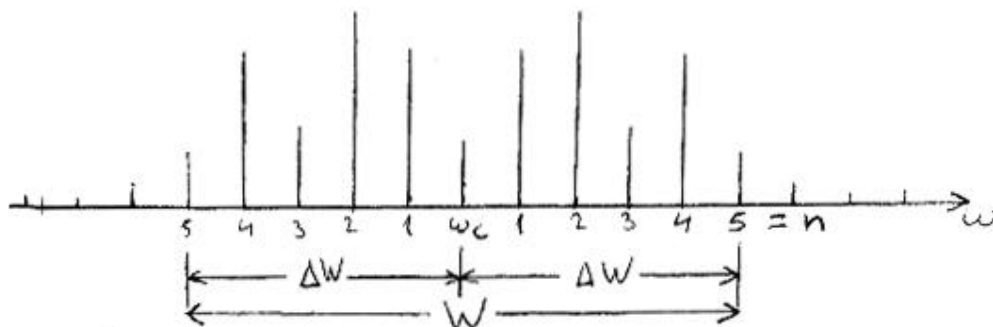
### 5.2.3 Ancho de banda y número de bandas laterales significativas para la transmisión de FM

Si una banda lateral tiene una magnitud igual o mayor que el 1% de la portadora, es significativa.

$$|J_n(\hat{a})| \geq 0.01$$

Observemos el espectro de FM para  $\beta=5$ , tomando a  $\hat{u}_m = \text{constante}$ .

Este es un ejemplo para  $\beta$  grande:



Se observa que los  $J_n(\hat{\alpha})$  disminuyen con rapidez para  $n > \beta$ , para  $\beta$  grande. Se puede decir que  $n \approx \beta$  para  $\beta$  grande. La última banda lateral significativa es  $n = \beta$ .

Si  $\omega_c$  es el Ancho de Banda:

$$\omega = 2n \cdot \omega_m \approx 2b \cdot \omega_m \approx 2 \cdot \left( \frac{\Delta\omega}{\omega_m} \right) \cdot \omega_m$$

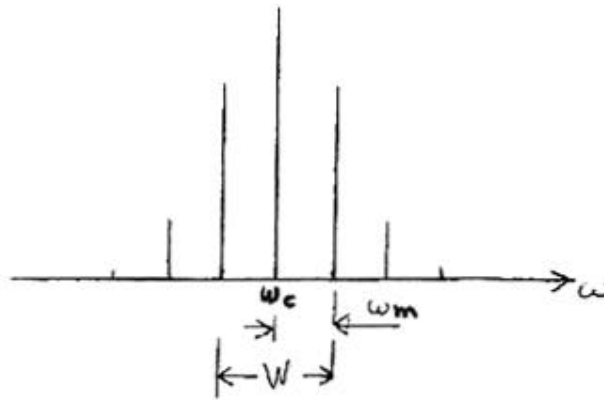
Entonces, para  $\beta$  grande:

$$\omega \approx 2 \cdot \Delta\omega$$

Con  $\Delta\omega$  = Desviación de Frecuencia.

### 5.2.4 El espectro de la FM para $\beta$ pequeña

En este caso, las únicas funciones de Bessel de magnitud significativas son  $J_0(\hat{\alpha})$  y  $J_1(\hat{\alpha})$ .



En el caso de la FM de Banda Estrecha el ancho de banda queda aproximadamente descrito como en la DSB por el doble de la máxima frecuencia de transmisión:

$$\omega \approx 2 \cdot \omega_m$$

**Regla de Carson.**- Considera casos intermedios:

$$\omega = 2 \cdot (\Delta\omega + \omega_m) \text{ con } \Delta\omega = b \cdot \omega_m$$

La regla de Carson quedaría:

$$\omega = 2 \cdot \omega_m \cdot (1 + b)$$

Esta regla aproxima a los límites correctos para  $\beta$  muy grande y  $\beta$  muy pequeña.

La potencia promedio despreciada en las bandas laterales es menor al 1% de la potencia total de la señal de FM.

## La potencia promedio de las señales moduladas en ángulo

De acuerdo a los análisis realizados, la señal de FM viene dada por:

$$f_{FM}(t) = A \cdot \cos(\omega_c t + b \cdot \sin \omega_m t)$$

En una resistencia de  $1\Omega$ , la potencia promedio total de una señal se determina de su valor cuadrático medio. Por lo que obtenemos para la señal modulada en FM:

$$\overline{f_{FM}^2}(t) = A^2 \cdot \overline{\cos^2(\omega_c t + b \cdot \sin \omega_m t)}$$

$$\overline{f_{FM}^2}(t) = \frac{A^2}{2}$$

Se demuestra que la potencia promedio total de una señal de FM es constante, independiente del índice de modulación equivalente a la potencia de la señal portadora.

Esta característica la diferencia de la DSB-LC donde la potencia promedio total es proporcional al índice de modulación.

## Verificación con la expresión serie de $f_{FM}(t)$

Consideramos el modelo matemático:

$$f_{FM}(t) = A \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(\hat{a}) \cdot \cos(\omega_c + n\omega_m) \cdot t$$

Determinamos los promedios cuadrados:

$$\overline{f_{FM}^2}(t) = A^2 \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \overline{J_n^2(\hat{a})} \cdot \overline{\cos^2(\omega_c + n\omega_m) \cdot t}$$

$$\overline{f_{FM}^2}(t) = \frac{A^2}{2} \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n^2(\hat{a}) \quad \text{con} \quad \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n^2(\hat{a}) = 1 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Propiedad de las funciones} \\ \text{de Bessel} \end{array} \right.$$

De manera que finalmente:

$$\overline{f_{FM}^2}(t) = \frac{A^2}{2}$$

Con el objeto de comparar el resultado de la potencia de la señal modulada en FM, determinamos la potencia de la portadora no modulada:

$$g(t) = A \cdot \cos \omega_c t$$

El promedio cuadrado se determina como:

$$\overline{g^2(t)} = \overline{A^2 \cdot \cos^2 \omega_c t}$$

$$\overline{g^2(t)} = \frac{A^2}{2}$$

### Conclusiones

- La señal modulada en frecuencia  $f_{FM}(t)$  transporta sólo la potencia de la portadora.
- Al aumentar el número de bandas laterales la potencia de la portadora se distribuye entre todas las líneas espectrales.
- Cada banda lateral transportará la potencia:

$$\overline{f_{n, Lateral}^2} = \frac{A^2}{2} \cdot J_n^2(\hat{a})$$

De donde se deduce que con el incremento de las bandas laterales disminuye la potencia de la portadora.

## 6 Transmisor Estereofónico

El circuito que se describe a continuación, del cual solo veremos su esquema de bloques, fue publicado en la revista *Radiorama* en septiembre 1992. Se trata de un sencillo codificador estéreo con excitador de FM. Mediante este ejemplo estudiaremos un sistema básico para la producción de una señal estereofónica capaz de modular a la portadora principal.

A la hora de adoptar un sistema de transmisión en estéreo la exigencia primaria en este caso no es solo la de que puedan recibir correctamente la señal aquellos que disponen de un receptor estéreo sino también las personas que posean un aparato de radio monofónico. Debido a esta última exigencia, actualmente se han complicado notablemente los sistemas codificadores haciendo más complejos los circuitos tanto de los emisores como de los receptores.

## 6.1 Modulación en estéreo

Las dos señales de audio (I y D, izquierda y derecha) provenientes de una o varias fuentes de baja frecuencia (micrófono, CD, plato giradiscos, etc.) en una primera fase se suman entre sí y se transmiten como una normal señal mono. Esta señal (I+D) modula la portadora de radio y ocupa una banda comprendida entre unos pocos Hz y aproximadamente 15 KHz. De esta forma todos aquellos que utilicen un receptor mono pueden escuchar ambas señales, de los dos canales. A continuación podemos ver un esquema simple del proceso.

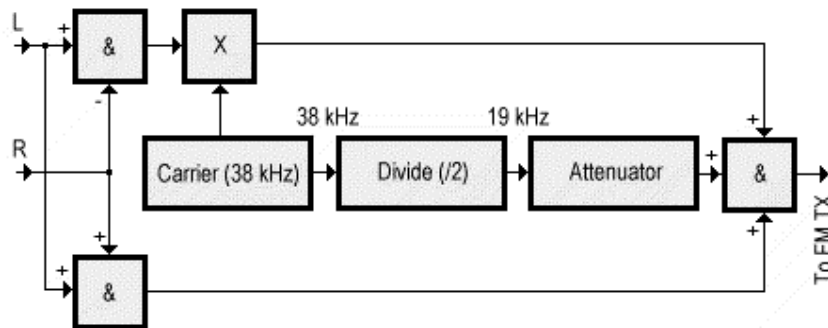


Diagrama de bloques reducido.

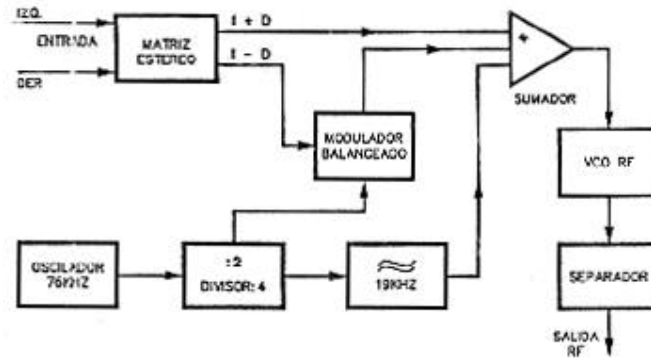
Durante la fase de transmisión, el codificador procede a generar otra señal de baja frecuencia que se obtiene por diferencia entre las dos señales estéreo. Dicha señal (I-D) se emplea para modular en amplitud una subportadora a 38 KHz generada por el propio codificador. El particular modulador utilizado, suprime la portadora de 38 KHz y entrega a la salida dos señales cuya frecuencia es la diferencia y la suma entre la señal de modulación y la subportadora de 38 KHz. Así por ejemplo si I-D equivale a 10KHz, en la salida obtendremos una nota de 28 KHz y otra de 48 KHz. También estas señales se utilizan para modular en frecuencia la portadora de radio. Hallándose comprendida la señal I-D entre un mínimo de pocos Hz y un máximo de 15KHz, la porción de banda ocupada por la señal de salida del modulador balanceado estará comprendida entre aproximadamente 23 y 53 KHz. Finalmente el codificador debe generar una nota de 19KHz que se utiliza durante la recepción para reconstruir la señal I-D y, por lo tanto, mediante una matriz estéreo, separar el canal derecho del izquierdo.

La transmisión de una señal estéreo necesita una mayor amplitud de banda y por lo tanto es posible solo en las frecuencias de la gama de FM (88-108MHz).

### Esquema de bloques

El esquema de bloques permite comprender como se ha estructurado el circuito. A la matriz estéreo se confía la misión de generar las señales suma y diferencia (I+D e I-D), la primera de las cuales se aplica directamente al sumador y la segunda al modulador balanceado al cual llega también la subportadora de 38 KHz generada por el oscilador de 76 KHz seguida del divisor por dos.





Esquema de bloques del circuito real

La señal de salida del modulador se envía al sumador junto con la portadora de 19 KHz producida por el divisor por cuatro. La señal presente en la salida del sumador modula en frecuencia el oscilador RF (tipo Colpitts), capaz de generar una señal de radiofrecuencia con una potencia de algunos milivatios. La última etapa, el separador, evita que la frecuencia de oscilación pueda ser influenciada por la carga aplicada a la salida del circuito.

## 7 Receptor de FM Mono y Estereofónico

### 7.1 Receptor de FM monofónico

El receptor de F.M.(figura 2) es un superheterodino representado en forma de bloques.

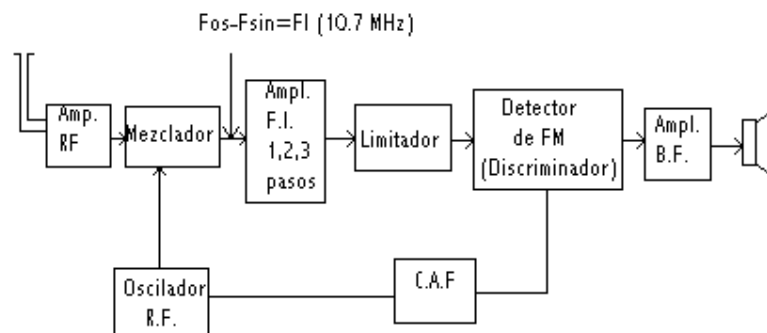


Figura 2.

La señal de F.M. es interceptada por la antena y amplificada por el amplificador de R.F. Luego es alimentada al mezclador. Un oscilador local autoexcitado introduce una señal de frecuencia fija en el mezclador. La frecuencia intermedia (f.i.) resultante es acoplada desde el mezclador hasta el amplificador de f.i. Hay dos o más etapas de amplificación de f.i. Un limitador a continuación del amplificador de f.i.

alimenta la señal de f.i. que vá al detector de F.M., el cual es del tipo discriminador. La finalidad de este limitador es suprimir la modulación de amplitud en la señal de f.i. y presentar una señal de F.M con amplitud constante al discriminador. La señal de audio de salida del detector es amplificada por las etapas de audio que alimentan al altavoz. A menudo se incorporan a los receptores de F.M. una etapa de control automático de frecuencia (C.A.F.) aunque no siempre. La finalidad del C.A.F. es mantener al oscilador local en su frecuencia, es decir, evitar deslizamientos de la frecuencia del oscilador local.

## 7.2 Receptor de FM estereofónico

En la figura 6 se puede ver el esquema en bloques de un receptor estereofónico. Como se ve, todas las etapas son las mismas que las utilizadas en un receptor monofónico, salvo que se ha añadido un decodificador MPX (decodificador estereofónico) a la salida del discriminador, un filtro MPX y, lógicamente, dos amplificadores idénticos de baja frecuencia, uno para cada canal.

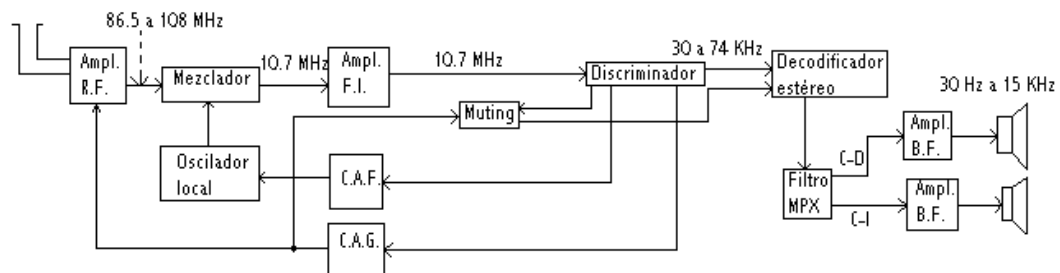


Figura 6.

La finalidad de cada etapa común con las de un receptor monofónico es pues la misma y las nuevas etapas que se han incorporado son:

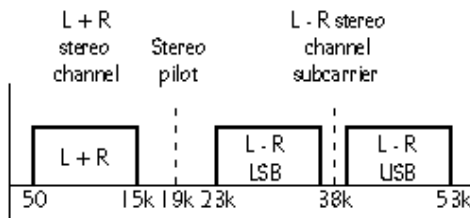
- Etapa amplificador de radiofrecuencia.
- Oscilador local.
- Etapa de C.A.F.
- Mezclador.
- Amplificador de F.I.
- Discriminador.
- C.A.G.
- Decodificador estéreo. (figura 7). Después de pasar por el discriminador de F.M., la señal múltiplex en estéreo pasa al decodificador, el cual tiene por misión separar el canal derecho del izquierdo. Para ello desglosa la banda de frecuencias en tres grupos, mediante filtros adecuados, los grupos son:

1º grupo: Mediante un filtro paso bajo, obtiene la señal suma del canal derecho más el izquierdo (señal monofónica).

2º grupo: Un filtro paso banda, centrado en 38 KHz con un ancho de banda de 23 a 53 KHz, con el cual se obtienen los subcanales de emisión estéreo.

3º grupo: Un tercer filtro paso banda centrado a 19 KHz, y con el cual se obtiene la señal piloto.

Todos estos filtros se han representado en el esquema de bloques de la figura 7, el cual corresponde a un decodificador estereofónico por adición.



Una vez obtenidos los 19 KHz de la señal piloto, se doblan hasta 38 KHz, con lo cual se restituyen la frecuencia subportadora eliminada en la emisión. Los 38 KHz se suman a las bandas laterales para obtener una modulación en amplitud que una vez detectada se obtiene en más y menos la diferencia entre el canal izquierdo menos el derecho, a su vez se suma con la señal monofónica para obtener por separado el canal derecho del izquierdo, según las igualdades:

$$(D+I)+(D-I)=2D$$

$$(D+I)-(D-I)=2I$$

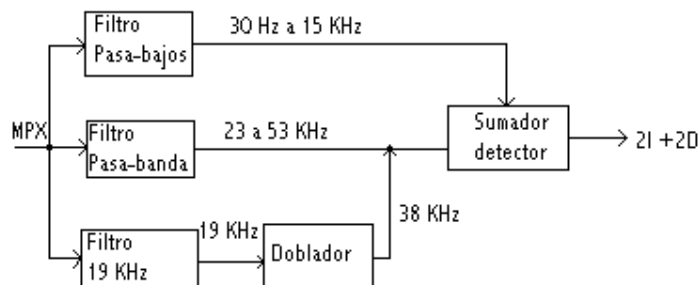
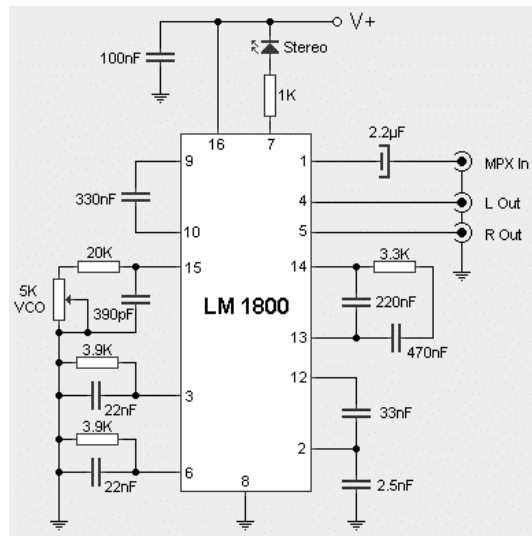


Figura 7.

Amplificadores de B.F. Las señales del canal derecho y canal izquierdo obtenidas en el decodificador se aplican por separado a sendos amplificadores iguales de baja frecuencia, con sus correspondientes controles de tono y volumen, obteniéndose así una señal estereofónica lo suficientemente amplificada para el accionamiento de los altavoces.

El siguiente circuito separa los dos canales estéreo de una señal de audio MPX proveniente de un receptor mono.



Basta un circuito integrado específico de National Semiconductors para lograr todas las funciones que este proyecto requiere. El sistema se alimenta con 12V de continua con un consumo inferior a 100mA. El diodo LED brilla cuando una señal estéreo ingresa y es decodificada exitosamente. La señal en la entrada es desacoplada en continua para que solo pase la componente de AF. Dada la poca complejidad del montaje es viable armarlo sobre una tarjeta universal. Las salidas pueden atacar directamente a una etapa de potencia sin la necesidad de preamplificación.

## 8 Medios técnicos en la producción de programas de radio

Probablemente sea inevitable que con frecuencia nos sintamos abordados por un pesimismo semejante en un mundo como el nuestro, sometido a tantos y tan profundos cambios. Los medios de comunicación en general y, en especial, los audiovisuales, vienen soportando en los últimos años las tensiones derivadas del proceso de innovación tecnológica profunda que está sacudiendo a las empresas de la comunicación y a sus usuarios. Esta situación emergente que estamos viviendo supone un desafío muy especial para los profesionales de la información, que se ven obligados a readaptar sus quehaceres profesionales y a incorporar a su práctica profesional diaria unos instrumentos tecnológicos cada vez más sofisticados.

Como ocurre con la prensa y con la televisión, también la radiodifusión y sus profesionales deben afrontar el reto de la aceleración tecnológica en los últimos años de este siglo. Con esa perspectiva, describimos en este capítulo los dispositivos técnicos de un estudio de radio convencional, en la idea de que es precisamente el estudio el centro neurálgico de la producción radiofónica y, en una segunda parte,

recapitularemos algunas de las innovaciones tecnológicas más importantes que se están produciendo en la radiodifusión y sus efectos en la labor periodística.

Por último y para continuar al hilo con todo lo explicado en capítulos anteriores, aclarar que este capítulo se lo dedicaremos por completo a aquellos elementos destinados a producir ondas moduladoras que son procesadas y finalmente conducidas al transmisor para finalmente modular a la portadora y poder lanzar la información al aire para que sea recibida por los oyentes-receptores.

## 8.1 Dotación de un estudio convencional de radio

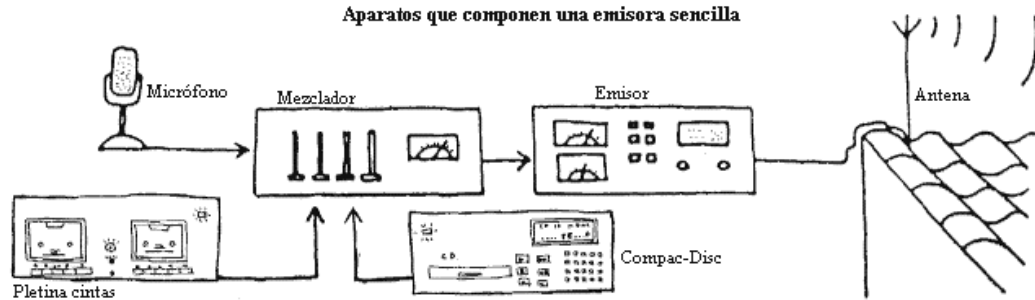
En las líneas siguientes vamos a tratar de describir los elementos de un estudio de radio como centro neurálgico de la producción radiofónica. Precisamente su condición de centro neurálgico hace que sea importante para el redactor de un informativo radiofónico conocer, al menos por encima, los elementos que lo componen y las posibilidades que ofrece.

El estudio es el lugar donde se llevan a cabo la mayor parte de las operaciones de montaje, tratamiento y emisión de los productos radiofónicos (ondas moduladoras). En un estudio de radio hay dos zonas claramente delimitadas: *el locutorio*, donde se encuentran los micrófonos y desde donde habla el presentador del programa y sus invitados, y *el control*, donde los técnicos (el realizador y sus ayudantes) manipulan los dispositivos técnicos para la grabación y emisión del programa. En las emisoras de radiofórmulas musicales, el presentador del programa se ocupa simultáneamente de las labores de control y el programa se realiza en un estudio que reúne en el mismo habitáculo el locutorio y el control.

De la zona del locutorio hay poco más que decir: suele estar amueblada con una mesa donde se disponen los micrófonos y unas sillas para el presentador y los invitados. El locutorio está separado del control por una ventana de cristal aunque últimamente está de moda la supresión del mismo (estudios abiertos), a través de la cual el presentador y el realizador pueden intercambiar gestos o señales durante la emisión. En la zona del control se distribuyen en torno al realizador las diferentes fuentes de sonido que se pueden utilizar en la grabación y la mesa de control. Estas son las fuentes de sonido de uso más habitual en la radio:

**Magnetófonos de cinta abierta:** aparatos que permiten la grabación y reproducción sonora, usando como soporte una cinta magnética de bobina. Se denominan se cinta abierta porque, a diferencia de la casete, la cinta no está metida en una chasis cerrado, sino que es directamente accesible. La grabación puede realizarse a diferentes velocidades, en función de la calidad de registro que se quiera obtener: una grabación musical de alta calidad debería grabarse a 15 ips (38 centímetros por segundo). Pero razones económicas hacen que la velocidad habitual sea 7,5 ips (19 cm/seg.), lo que proporciona una buena calidad de grabación tanto de música como de palabra.

Los magnetófonos de bobina han venido siendo la fuente de sonido preferida en los estudios no sólo por su alta calidad sino porque permiten manipular directamente la cinta para su montaje (borrado, corte, empalme, etc.) o para su reparación en caso de rotura accidental.



**Platos giradiscos:** se utilizan para la reproducción de discos de vinilo y son hoy una tecnología en desuso. El CD, con su calidad de grabación y reproducción digital, y su ausencia de ruidos, ha desplazado a los discos de vinilo que se deterioran con el uso. En cualquier caso, resaltemos que una característica básica que debe reunir un giradiscos de un estudio de radio: a diferencia de los giradiscos domésticos, su motor debe ser capaz de arrancar con la velocidad seleccionada en cualquier fragmento del disco, sin que se produzca el *efecto lloro*.

**Reproductores de casete:** la cinta de casete proporciona una calidad inferior a la que se obtiene con un magnetófono de bobina, y, además, al estar encapsulada en un chasis compacto no admite una manipulación sencilla. Sin embargo, el pequeño tamaño de las grabadoras de casete portátiles y su reducido costo han convertido su presencia en un hecho habitual en las emisoras de radio.. Bien es verdad que en algunas emisoras evitan en lo posible su utilización precisamente por la baja calidad de sus grabaciones. En general los redactores de radio no han tomado consciencia de la importancia de la calidad del sonido como vehículo transmisor de las informaciones que se elaboran dentro del medio radiofónico. Un sonido deficiente es equiparable a un escrito lleno de borrones.

**Cartucheras:** es un dispositivo que consta de un chasis o carcasa de plástico en cuyo interior se aloja una cinta-bucle. Suelen utilizarse para grabar cuñas publicitarias o elementos de continuidad (indicativos, sintonías, etc.). Grabada con un sistema de impulsos, al finalizar cada uno de los cortes de la grabación, la cinta avanza automáticamente hasta el siguiente fragmento. Así, siempre está preparada para disparar las pequeñas grabaciones que contiene.

Existen otras fuentes de sonido de introducción más reciente (CD, Mini-disc, DAT) de las que nos ocupamos más adelante.

La "gestión" de todas las fuentes de sonido corresponde a la mesa de control o de mezclas. La mesa de control nos permite combinar las diferentes fuentes de sonido (micrófonos, casete, teléfono...) que queremos que salgan en la emisión. Para ello dispone de una serie de canales individuales con los que podemos determinar el volumen de cada fuente. De esta forma se consiguen diversas mezclas y planos de sonido: podemos regular el volumen de los micrófonos del locutorio para que la voz de todos los invitados esté al mismo nivel o podemos simultanear una conversación en primer plano sonoro con un fondo musical procedente de una grabación musical. Con cada canal de la mesa de mezclas se puede controlar además la ecualización de cada fuente sonora.

Además de las fuentes sonoras de estudio que hemos descrito, las emisoras cuentan con otras fuentes de sonido externas: magnetófonos portátiles, teléfonos móviles, líneas microfónicas, etc, utilizadas para hacer retransmisiones en directo o grabadas desde otro lugar lejos del estudio principal.

## 8.2 La innovación tecnológica

Entre los expertos existe una coincidencia general sobre la necesidad de que la radio profundice en su proceso de renovación técnica para afrontar con garantías el futuro inmediato.

Ante sus audiencias, las empresas radiofónicas no sólo deben ganar el reto de la credibilidad, sino que tendrán que ganar la apuesta de la renovación tecnológica:

Las empresas radiofónicas se enfrentan a la necesidad de hacer grandes inversiones tecnológicas y a un mercado cada vez más competitivo y enmarañado. La difusión vía satélite, la automatización de las emisiones, la implantación del RDS (se verá más adelante) y la incorporación de la tecnología digital, por ejemplo, son exigencias que sitúan al sector en una encrucijada.

Y sin embargo, a pesar de la complejidad del desafío, esta situación no es nueva en el medio radiofónico. El desafío del cambio y la innovación es consustancial a la propia historia de la radio. Cuando en los años 20 la prensa se negó a ser usada como fuente informativa, la radio reaccionó creando sus propias agencias de noticias.

En los años 60 la televisión la puso contra las cuerdas, pero la radio encontró en la renovación tecnológica la salida. Las transformaciones que sufrió la radio en ese combate con la televisión afectaron a los tres ámbitos básicos del medio radiofónico: se trató de innovaciones que repercutieron en cada uno de los puntos claves del proceso técnico y comunicativo de la radio: el magnetófono en la producción, la FM y la estereofonía en la difusión, y los transistores en la recepción

Efectivamente, la aparición del magnetófono trajo nuevas posibilidades: junto a la emisión en directo, ahora se podía grabar previamente un contenido y emitirlo en otro momento, incluso conservarlo para su reutilización. El descubrimiento de la modulación de frecuencias permitió una mejora sustancial en la calidad de las emisiones. Pero fue la aparición de la estereofonía la que produjo la impresionante expansión de la frecuencia modulada a partir de los años 60 y la incorporación de segmentos muy jóvenes de audiencia con el desarrollo de las radio-fórmulas musicales. La llegada de la tecnología del transistor a los aparatos receptores le permitió ganar a la radio una audiencia que no quería permanecer quieta en el salón de su casa ante el aparato de radio o de televisión, sino que quería combinar la escucha con otras tareas doméstica y laborales o con sus desplazamientos en automóvil.

Añadamos también que en los últimos años la mejora en la potencia de los equipos transmisores y el desarrollo de las nuevas antenas de polarización circular (que propagan las ondas en sentido horizontal y vertical) han atenuado los tradicionales inconvenientes de la FM en lo que se refiere a su cobertura y a sus limitaciones para superar los obstáculos a su propagación.

En nuestros días, a pocos años del tercer milenio, cuatro son los campos principales donde se centran los procesos de renovación tecnológica de la radio: la informática, el sonido digital, el satélite y la implantación del RDS. Vayamos con cada uno de ellos.

### 8.2.1 La informática

Los beneficios de la introducción de la tecnología informática han alcanzado casi todos los departamentos de una empresa de radio. En el ámbito de la administración, la aplicación de programas informáticos ha mejorado y simplificado la gestión administrativa y financiera: nóminas, tributación, seguridad social, balances, contratación publicitaria, turnos de trabajo, etc.

En el ámbito de las emisiones, las grandes cadenas cuentan ya con controles centrales asistidos por ordenador. La circulación de las señales generadas por los diferentes estudios de la emisora y la de las que llegan o salen al exterior (tarea básica del control central) puede ser ahora realizada bajo el control de un ordenador. Con el auxilio de la informática, las rutinarias conmutaciones (que requerían grandes *racks* de conexiones) pueden ser hoy programadas para que se ejecuten a la hora precisa y sin la necesidad de supervisión del personal técnico. Los procesos de conexión/desconexión de la programación de la emisora central respecto de las emisoras locales son hoy habitualmente gestionados informáticamente, y lo mismo ocurre con las ventanas que se abren en la programación nacional para la entrada de publicidad local.

En el campo de la difusión publicitaria, la informática simplifica la emisión de los bloques de publicidad: en el disco duro del sistema se puede grabar los anuncios y luego, con la simple ayuda del ratón, el realizador (o el propio locutor, en el caso de las emisiones en autocontrol) organiza los bloques de cuñas a emitir, selecciona su orden, duración, volumen del sonido y sistema de edición (corte, bucle, fundido). Con la publicidad almacenada y gestionada por ordenador se consigue además dos beneficios adicionales: un control riguroso de la publicidad emitida y un nivel estable en la calidad del sonido porque el soporte utilizado (el disco duro del ordenador) no se deteriora con el uso (lo que si ocurre con las cintas magnéticas).

La informática es también la vía para la automatización completa o casi completa de la emisión diaria: programas informáticos que controlan fuentes de sonido preprogramadas (lectores de CD, cartucheras, magnetófonos) y que se activan sin necesitar la presencia de un realizador, o sistemas que combinan la informática con la robótica como el CAPS (Computer Assisted Programming System), un dispositivo capaz de controlar 62 DATs (Digital Audio Tape) con un brazo robótico activado por ordenador. Pero, desde la óptica de la producción de mensajes informativos, es en las redacciones donde la introducción de un sistema informático centralizado y potente puede traer beneficios más significativos.

### 8.2.2 El sonido digital

La digitalización de la señal de audio incluye no sólo la introducción de aparatos reproductores y grabadores digitales, sino también la digitalización de todos los componentes involucrados en la emisión radiofónica. De manera simplificada, se puede decir que el proceso consiste en convertir las señales acústicas en señales acústicas numéricas, libres de ruidos e interferencias; con lo que los niveles de "calidad sonora" experimentan una mejora significativa. La situación actual en la mayoría de las emisoras españolas habla más de una digitalización parcial (sobre todo con la introducción de soportes digitales) que de una digitalización completa de toda la cadena de producción-emisión radiofónica.



Desde los años 80 la utilización del CD se ha generalizado como soporte preferido para la reproducción musical. El CD ofrece una grabación digital (gran rango dinámico y ausencia de ruidos y de desgaste), un chasis muy manejable y de fácil almacenamiento y una gran capacidad (hasta 75 minutos de duración). Además, esta tecnología permite el acceso inmediato a cualquiera de los cortes de la grabación y la programación a voluntad de su orden de emisión.

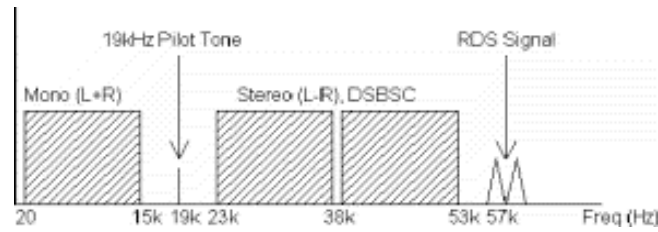
El DAT (digital audio tape: cinta de sonido digital) es otra de las tecnologías digitales de última generación. Por un coste asequible para cualquier emisora de tamaño medio se puede adquirir un aparato grabador-reproductor de DATs. Para la producción radiofónica la posibilidad de realizar grabaciones propias con tecnología digital, supone una mejora sustancial. Además, ya se comercializan pequeños grabadores portátiles que acabarán en pocos años con los grabadores de casete convencional usados habitualmente por los reporteros. Aunque la calidad de grabación del DAT es digital y no existe degeneración en las copias, el sistema de acceso a cada uno de los segmentos grabados es secuencial (el aparato tiene que recorrer toda la cinta hasta llegar al fragmento seleccionado), frente a la comodidad del acceso instantáneo de los CD.

Una de las últimas incorporaciones en el campo de los soportes digitales son los Minidisc. Discos para la grabación y reproducción digital en una carcasa similar a la de los discos de 3,5 de ordenador. Este soporte ofrece un compendio de las ventajas del CD y del DAT: grabación y reproducción digital, sin desgaste de la grabación (no existe rozamiento) y sin pérdida en las copias, acceso inmediato a cualquiera de los cortes y posibilidad de programar el orden de reproducción. Además, el aparato grabador-reproductor permite ciertas tareas de edición de las grabaciones. Así, un redactor que haya grabado 5 o 6 cortes de voz en una rueda de prensa puede cambiarlos de orden en el propio disco, borrar al instante alguno de los cortes y eliminar el espacio en blanco, volver a copiar un fragmento en otro lugar del disco, cortar una palabra dentro de una frase o eliminar un silencio excesivo en un testimonio, sin manipular físicamente el disco. Como se ve, estamos hablando de innovaciones técnicas que afectan tanto a la calidad técnica de la emisión como a las prácticas productivas de los periodistas de radio.

### 8.2.3 El sistema RDS

El RDS (Radio Data System) descansa sobre la posibilidad de asociar a la señal de audio que emite una emisora de radio, otra señal digital inaudible. De esta manera, el oyente podría recibir junto al sonido de su emisora otra serie de servicios adicionales. El RDS aprovecha el ancho de banda de la FM (superior al de la onda media) para la transmisión de otros datos visibles en una pequeña pantalla del receptor. Lógicamente, la implantación generalizada de este sistema implica la renovación del parque de receptores.

Hasta este momento habíamos estudiado el diagrama espectral para una señal estereofónica. Cuando añadimos la señal RDS, lo que hacemos es aprovechar aquellos huecos del espectro de frecuencias que sobran o están libres en nuestro canal de transmisión. Así, el siguiente gráfico muestra el diagrama espectral para una señal estéreo al cual se le ha añadido en un “hueco sobrante” la señal RDS.



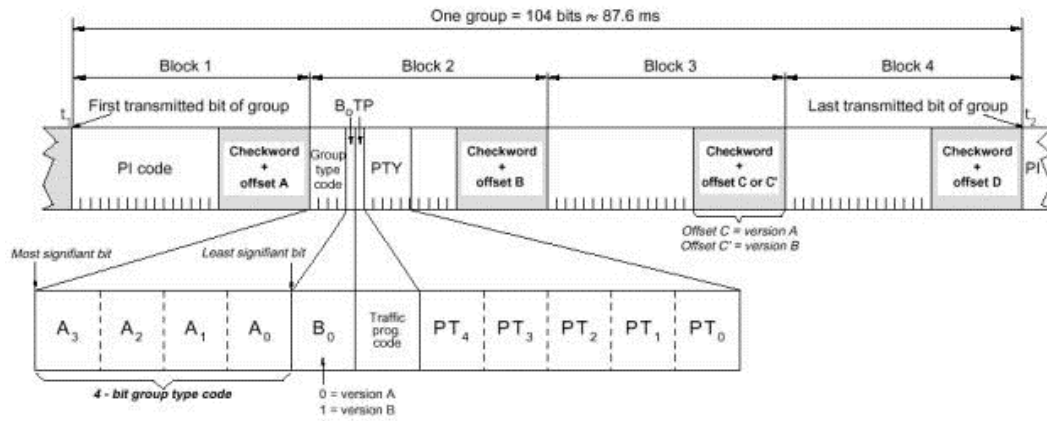
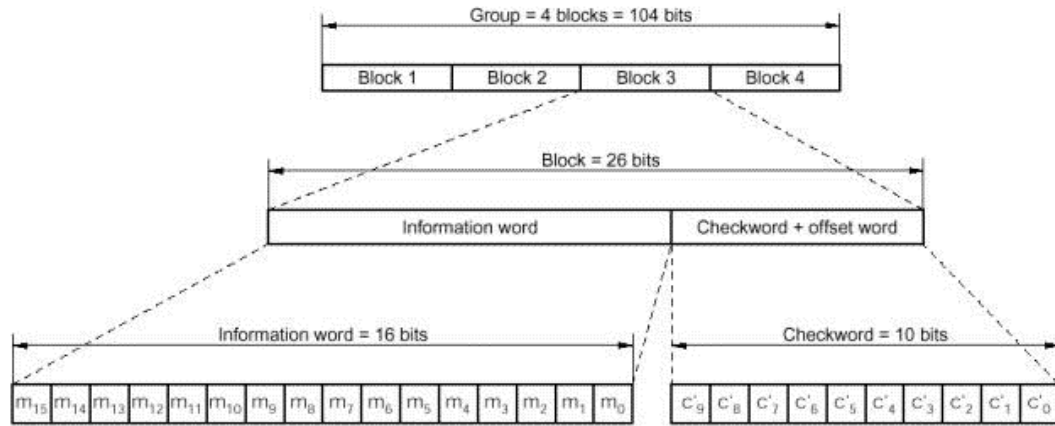
Como se puede comprobar, el ancho de banda ocupado por esta señal RDS de información, no afecta o solapa al resto de la información.

Desde los años 70 se han venido desarrollando experiencias con este sistema y en 1988 se comercializaron los primeros receptores de RDS. En la actualidad, países como Alemania o Italia realizan emisiones en RDS con información complementaria para los automovilistas (la emisión normal se interrumpe para dejar paso a informes sobre el estado del tiempo, la situación del tráfico en esa vía, los itinerarios recomendados, etc.). Además, el RDS ofrece otras funciones destinadas al automovilista, pero también al oyente doméstico. En el cuadro siguiente, se resumen alguna de ellas.

### LOS CÓDIGOS DEL RADIO DATA SYSTEM

Función	Información
PI (Programme Identification)	Sintonía automática del emisor
PS (Programme Service Name)	Nombre de la estación
AF (Alternative Frequencies)	Búsqueda automática del emisor de señal más fuerte
TP (Traffic Programme)	Búsqueda automática del programa sobre tráfico
TA (Traffic Announcement)	Sintonía automática del programa de tráfico, independientemente de lo que se está oyendo
ON (Other Network)	Selección de la fuente sonora
CT (Clock Time)	Fecha y hora
PTY (Programme Type)	Búsqueda de programa por géneros
PIN (Programme Item Number)	Atribución de un número a cada programa
RT (Radio Text)	Comentario en pantalla del programa principal
DI (Decoder Identification)	Identificación Decodificación estéreo
MS (Music/Speech)	Identificación música/palabra para ajustar volumen
Paging	Transcripción de un mensaje personal

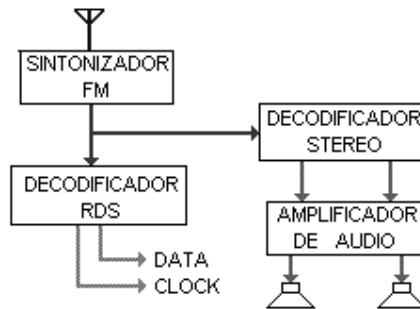
En las siguientes ilustraciones se pueden ver las estructuras de los mensajes RDS.



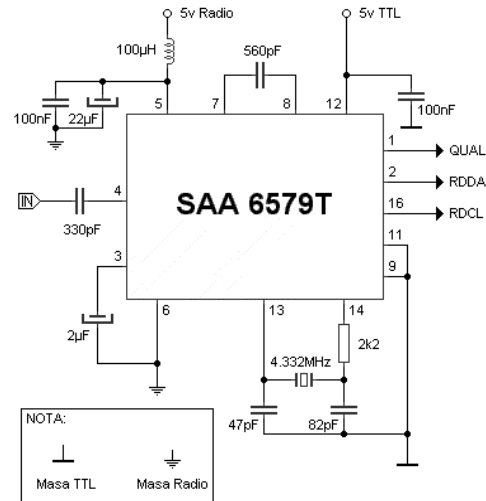
### Decodificador de RDS (Radio Data System)

Desde hace tiempo se ven en el país equipos de transmisión comercial de frecuencia modulada capaces de enviar señales codificadas usando como medio de transmisión la misma portadora que emplean para la señal de audio convencional. En el último capítulo se hablará más acerca del RDS.

Esta tecnología de transmisión de información es denominada RDS, del inglés Radio Data System y, como era de esperarse, hay circuitos integrados específicos que permiten su recepción y descifrado. En esta oportunidad emplearemos un SAA6579T, el cual requiere de muy pocos componentes externos para trabajar, y esos componentes son todos pasivos., a excepción de un cristal de cuarzo.



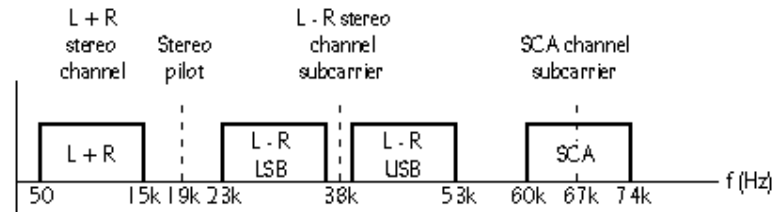
En el diagrama se observa la forma de conectar un decodificador a un sistema de recepción tradicional. Cabe aclarar que de haber cualquier filtro pasa bajos, altos o banda el módulo receptor debe tomar la señal antes del mismo. Una vez decodificada la señal RDS (si es que hay señal en la emisión) el dato aparecerá seriado por el pin data out, mientras que el timing lo fija la señal de reloj presente en clock out.



La figura muestra el diagrama de circuito electrónico. La señal multiplex, MPX, demodulada, pero sin filtrar, se aplica al decodificador a través de su entrada MUX (pin 4). Esta señal tiene un ancho de banda de 60 KHz y la suministra el receptor de FM. En lo que respecta al ancho de banda, es esencial que la señal MPX llegue sin filtrar, esto es, debe contener la componente de 57 KHz que contiene la información RDS. Sobre esta señal no se permite ningún tipo de filtrado, por lo que deberemos asegurarnos de tal requisito a la hora de elegir el punto de extracción de la señal del receptor FM. Una característica digna de resaltar del SAA6579T es que este circuito incorpora un filtro paso banda de octavo orden para 57 KHz con un ancho de banda de 3 KHz. El circuito integrado automáticamente regenera la subportadora de 57 KHz y tras un proceso de demodulación síncrona, una regeneración de los símbolos bifásicos y una decodificación diferencial obtenemos las señales de datos (RDDA), disponible en la patilla 2, señal de reloj (RDCL), en la patilla 16. Una tercera señal (QUAL), se utiliza para identificar una buena (QUAL="1") o mala (QUAL="0") calidad de recepción de los datos (disponible en la patilla 1). El procesador no utiliza esta señal, sin embargo, un LED (D1) luce cuando la recepción es demasiado pobre para garantizar unos datos RDS válidos.

### 8.2.4 Otros sistemas: El SCA

Otro sistema de transmisión de información complementaria que también existe pero que no es muy popular es el SCA. Al igual que el RDS, el SCA se utiliza para insertar otro canal de audio (además de las señales estereofónicas) con un ancho de banda muy limitado y por tanto de poca calidad. Este o estos canales adicionales son servicios complementarios que suelen ser de pago y para los que se necesitan receptores especiales para poder recibirlos.



### 8.2.5 El satélite y el cable

A finales de los años 80, la Cadena SER inició sus transmisiones vía satélite (*M 80* retransmitió por primera vez un concierto musical vía satélite). Poco más tarde, las emisiones vía satélite llegaron a las emisoras de FM y de onda media con programación convencional.

Con el uso del satélite, las emisiones de radio pueden salvar las dificultades de cobertura de las zonas de sombra o de difícil acceso por vía terrestre. El satélite, además, aumenta la calidad de la señal radiofónica y permite abaratar los costes de una cadena que, en caso contrario, tiene que instalar numerosos repetidores y alquilar a Telefónica circuitos radiofónicos para llegar a una audiencia amplia y dispersa. Desde la perspectiva de la programación, el satélite comporta también ventajas: facilita la circulación de producciones radiofónicas entre distintas emisoras de una misma cadena y estimula los acuerdos de colaboración con otras empresas de radio (nacionales o extranjeras) para el intercambio de programas o para compartir la retransmisión de eventos.

La señal radiofónica transmitida por satélite puede combinarse con la tecnología del cable. En Estados Unidos los sistemas de TV por cable en muchas partes del país llevan la señal auditiva a estaciones de FM locales, suministrándoles excelente sonido de alta fidelidad al abonado al servicio por cable, y en muchos casos transportan emisiones de FM a áreas que la emisora de FM nunca podría alcanzar normalmente.

Como se desprende de este pequeño catálogo de innovaciones técnicas, un futuro prometedor se abre para las audiencias y los profesionales de radio. A estos últimos les corresponde hacer uso de estas transformaciones técnicas, primando la creatividad y la renovación de contenidos, antes que la comodidad y el conformismo con los productos radiofónicos.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

- Revista RADIORAMA (Septiembre 1992)
- Gran Enciclopedia de la Electrónica (Ediciones Nueva Lente)
- Revista DELEK-ELEKTOR ELECTRONICS (Octubre 1991)
- Revistas mensuales de la Unión de Radioaficionados Españoles (URE)
- <http://www.pablin.com.ar/>
- <http://www.setsi.mcyt.es/> (Ministerio de Ciencia y Tecnología)
- <http://cienciafisica.com/comunica.htm>
- <http://server-die.alc.upv.es/alumno/rds/CaracModuhw.html>
- [http://home.intekom.com/jean/fm\\_stereo.htm](http://home.intekom.com/jean/fm_stereo.htm)
- <http://murray.newcastle.edu.au/users/staff/eemf/ELEC351/SProjects/clement/FMStereo/FMSter.htm>
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/audio/bcast.html>
- <http://es.geocities.com/jose958/propagacion.htm>
- [http://www.sgc.mfom.es/espectro/regla\\_cnaf.htm](http://www.sgc.mfom.es/espectro/regla_cnaf.htm)