

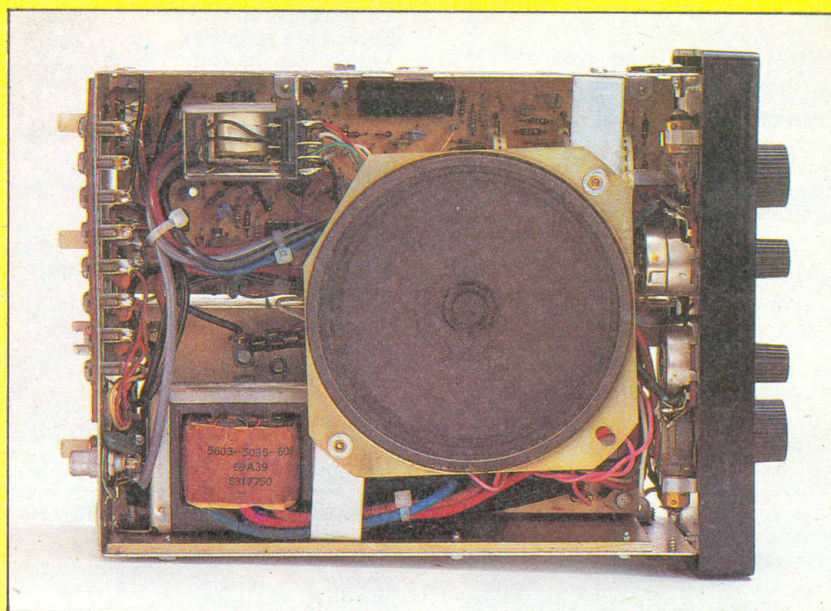
# **Gran Enciclopedia de la ELECTRONICA**

EDICIONES NUEVA LENTE



# **Tomo 12**

## **Radio.**





# Índice temático

---

## La transmisión radio ..... 9

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| La modulación .....                                  | 10 |
| Tipos de modulación .....                            | 11 |
| La modulación de amplitud .....                      | 11 |
| La modulación de frecuencia .....                    | 12 |
| Características de la modulación de amplitud .....   | 13 |
| Bandas de radiodifusión .....                        | 14 |
| Utilización de las bandas .....                      | 16 |
| La transmisión en FM .....                           | 17 |
| Características de la modulación de frecuencia ..... | 19 |
| Propagación de ondas .....                           | 20 |
| La propagación en VHF .....                          | 23 |
| Alcance de las transmisiones .....                   | 24 |

---

## Las antenas ..... 26

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| Dimensiones .....               | 26 |
| Directividad .....              | 27 |
| Tipos de antena .....           | 28 |
| Antenas prácticas .....         | 29 |
| Antenas para FM .....           | 32 |
| Elementos pasivos .....         | 35 |
| Adaptación de impedancias ..... | 35 |
| Otras antenas .....             | 37 |

---

## El receptor de radio ..... 39

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| Receptor elemental .....      | 39 |
| Receptor regenerativo .....   | 40 |
| El mando de sintonía .....    | 43 |
| La sintonía electrónica ..... | 44 |

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| Radioestereofonía .....                  | 48 |
| Pérdida de calidad .....                 | 50 |
| Sensibilidad de los sintonizadores ..... | 52 |
| La selectividad en FM .....              | 54 |
| Otras características .....              | 57 |
| Las salidas del sintonizador .....       | 60 |

---

## Las emisoras de radio ..... 61

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| Organización general .....     | 61 |
| Los equipos electrónicos ..... | 66 |
| La alta frecuencia .....       | 68 |
| El transistor principal .....  | 71 |
| Los estudios .....             | 72 |
| Los programas grabados .....   | 75 |
| Otras particularidades .....   | 78 |

---

## Bricolage ..... 79

---

## Receptor de onda media ..... 79

|                            |    |
|----------------------------|----|
| Ajuste .....               | 80 |
| Posibles mejoras .....     | 80 |
| Datos para el ajuste ..... | 81 |

---

## Receptor de VHF ..... 84

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Ajuste .....                        | 85 |
| Instalación y recomendaciones ..... | 86 |
| Datos para la antena .....          | 86 |



---

**Sintonizador de AM y FM** ..... 89

---

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| Modelo A                         | 89  |
| Montaje de circuitos             | 95  |
| Montaje en la caja               | 97  |
| Conexionado                      | 103 |
| Ajuste                           | 103 |
| Funcionamiento                   | 105 |
| Cabeza sintonizadora             | 106 |
| Frecuencia intermedia            | 107 |
| Decodificador estereofónico      | 108 |
| Sintonizador de onda media       | 110 |
| Conmutador electrónico de bandas | 111 |
| Módulo de alimentación           | 111 |
| Modelo B                         | 111 |
| Relación de materiales           | 112 |
| Antenas para el sintonizador     | 113 |
| Instalación y recomendaciones    | 113 |

---

**Telemando por radio** ..... 116

---

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Modelo A                      | 118 |
| Equipo emisor                 | 120 |
| Equipo receptor               | 121 |
| Montaje                       | 123 |
| Ajuste                        | 123 |
| Modelo B. Emisor              | 124 |
| Ajuste                        | 127 |
| Receptor                      | 127 |
| Ajuste                        | 128 |
| Posibles mejoras              | 131 |
| Instalación y recomendaciones | 132 |
| Variaciones en el receptor    | 132 |

---

**Barco dirigido por radio** ..... 133

---

|                |     |
|----------------|-----|
| Funcionamiento | 134 |
| Montaje        | 138 |

---

**Automóvil dirigido por radio** ..... 141

---

|                 |     |
|-----------------|-----|
| Funcionamiento  | 144 |
| Características | 146 |
| Montaje         | 147 |

---

**Transceptor de 27 MHz** ..... 150

---

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| Ajuste                                 | 151 |
| Posibles mejoras en emisor y modulador | 151 |
| Circuitos receptor y auxiliar          | 154 |
| Ajuste                                 | 156 |
| Posibles mejoras en el receptor        | 156 |
| Alimentación del transceptor           | 159 |
| Montaje en la caja                     | 160 |
| Características                        | 160 |
| Conexionado del transceptor            | 163 |
| Otras aplicaciones                     | 163 |
| Antenas                                | 164 |
| Preamplificador de antena para 27 MHz  | 165 |
| Ajuste                                 | 165 |
| Posibles mejoras                       | 166 |
| Instalación                            | 166 |



# La transmisión radio

**D**E 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 de enlace entre las personas que de alguna manera salvaran las dificultades de la comunicación directa.

Así, en la década de 1830, Morse puso en práctica la comunicación telegráfica, y no fue hasta 1876 en que Bell construyó el primer teléfono, resolviendo el problema de la comunicación hablada entre dos puntos lejanos.

Aún no era suficiente, pues 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 (que desde entonces llevan el nombre de *hertzianas*), y en 1897 Marconi realiza la primera comunica-

ción de la llamada *telegrafía sin hilos*. A partir de aquí, la comunicación hablada con ondas hertzianas (la *radiotelefonía*) fue problema de unos pocos años.

Fue posteriormente que se descubrió que las ondas hertzianas, u ondas 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*.

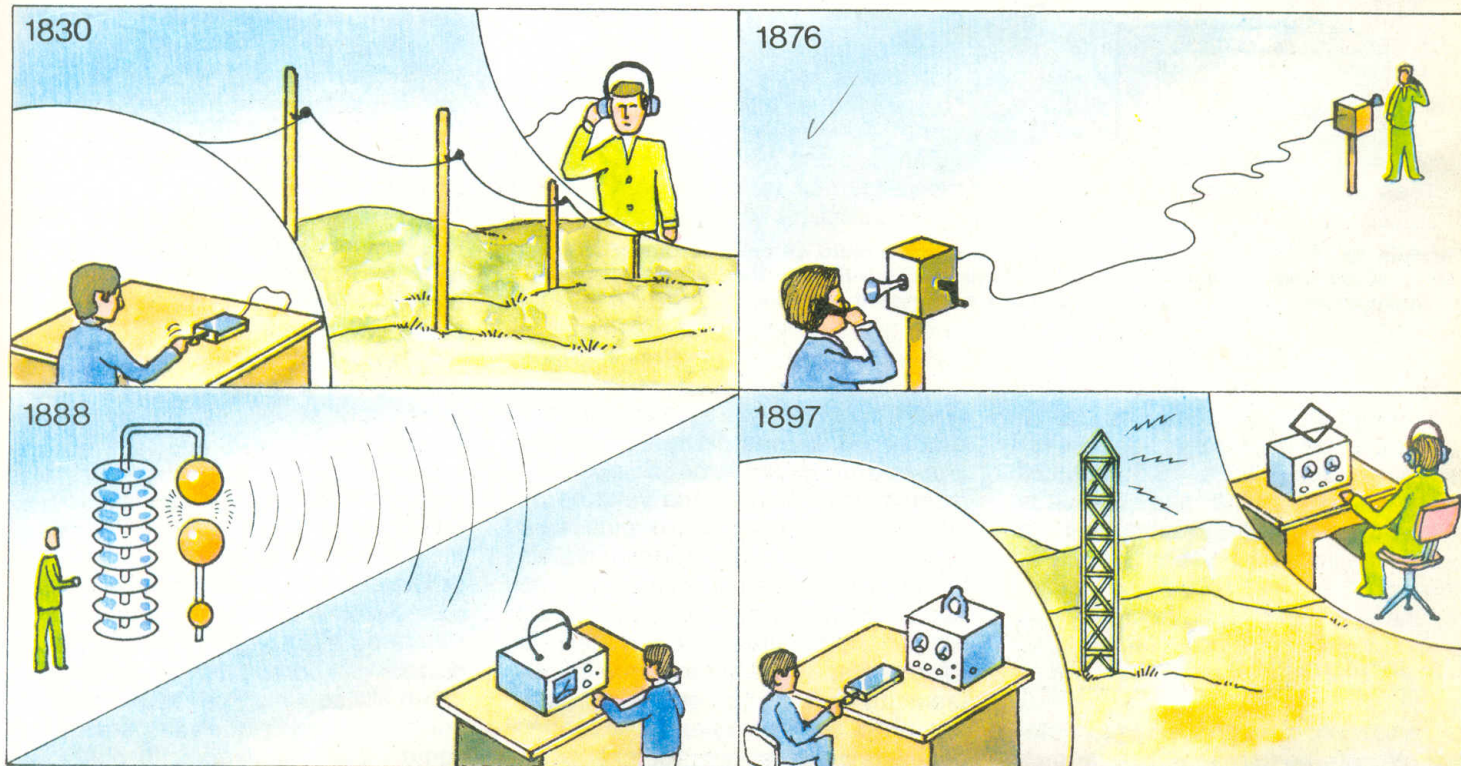
Este tipo de ondas presentan dos grandes ventajas frente a las ondas sonoras, en lo que a comunicación se refiere. En primer lugar, no necesitan de ningún medio «físico» para trasladarse (al contrario que las ondas sonoras, que necesitan de aire, agua o algún otro medio material); la prueba resulta patente: la luz del Sol y las estrellas (que, como luz, son ondas electromagnéticas) llegan hasta nosotros a

través del vacío del espacio interestelar. 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. (cerca de un millón de veces más rápido).

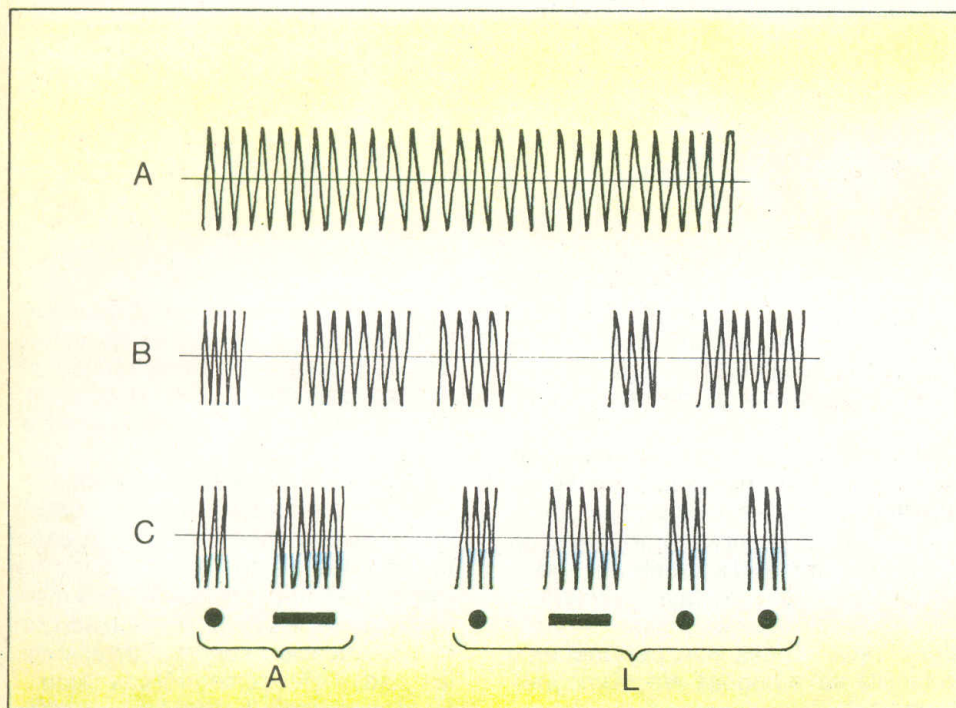
A pesar de esta clara diferenciación entre los dos tipos de ondas, presentan muchos puntos de utilización comunes, razón por la que hemos insistido tanto en los medios empleados en la comunicación sonora. Por ejemplo, las ondas electromagnéticas también se atenúan con la distancia, y aproximadamente en la misma proporción que lo hacen las sonoras.

No obstante, algún lector se preguntará aún por qué razón, si ambos tipos de ondas tienen similares características de atenuación, llegan más lejos las radiaciones electromagnéticas. Es simplemente cuestión de números. Cualquier receptor de los que se encuentran actualmente en el mercado es 100 veces más sensible que el

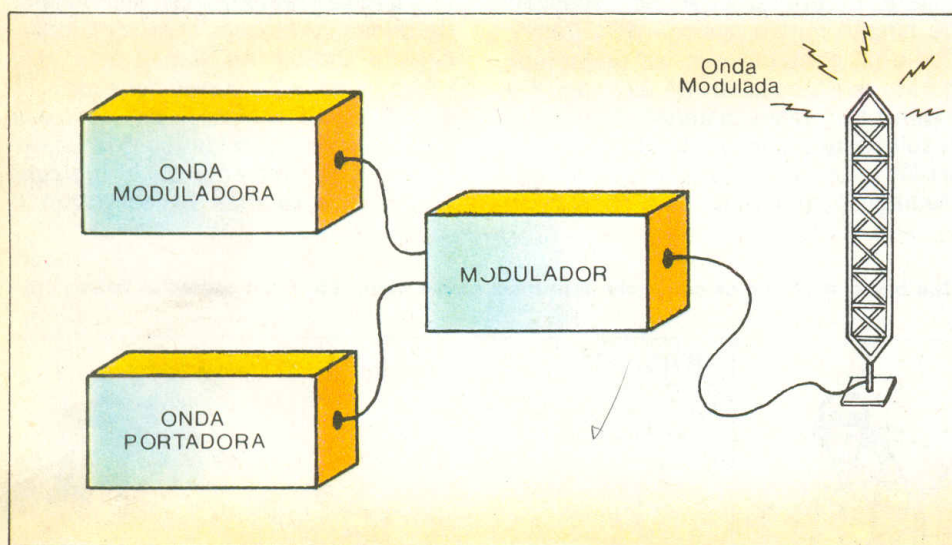
**Evolución de las comunicaciones eléctricas. No fue hasta 1897 que se consiguió la primera radiocomunicación sin contactos físicos entre transmisor y receptor.**







Un método de comunicación empleando ondas de radio. Una onda portadora (A) puede interrumpirse (B). Si las interrupciones son ordenadas, y con ayuda de un código preestablecido, puede llegarse a comunicarse entre dos puntos de una manera inteligible (C).



Principio de funcionamiento básico de un transmisor de radio. La onda portadora se «mezcla» en el modulador con la onda moduladora (la que lleva la «información» a transmitir). El resultado es la onda modulada que se lleva a la antena para ser radiada.

oído mejor dotado (cada uno en su campo), y hay emisoras que transmiten con una potencia 10.000 veces mayor que el grito más alto que pueda emitir una garganta humana. Sólo queda multiplicar, y sacar conclusiones.

## La modulación

Sin embargo, lo anterior no resulta suficiente para nosotros, pues una onda

electromagnética pura no es más que eso: una onda que no transporta ningún tipo de *información*. Si nos asomamos una noche a una ventana de nuestra vivienda, nuestro oído será capaz de percibir un cierto ruido, un rumor más o menos lejano, que no nos dirá más que algo o alguien lo está produciendo: son ondas sonoras *sin* información útil para nosotros. La primera idea que se nos ocurre para que una onda electromagnética lleve algo de información es interrumpirla a in-

tervalos más o menos frecuentes. Así se dará paso a dos situaciones perfectamente diferenciables: hay onda, o no la hay. Incluso, podemos adelantar un poco más: los intervalos en que haya onda pueden hacerse de distinta duración, y así seremos capaces de distinguir no sólo la existencia o no de la onda, sino su mayor o menor duración.

Así fue como se realizaron las primeras transmisiones de radio, aprovechando un código que Morse había inventado años antes (el código Morse), consistente en asignar a cada letra, número y signo ortográfico uno o varios intervalos de distinta duración (conocidos como *rayas* y *puntos*); espaciando adecuadamente la transmisión de los «códigos» correspondientes a cada letra, puede enviarse un mensaje inteligible. El código Morse puede asimilarse al lenguaje hablado: mediante un acuerdo preestablecido y conocido, dos personas pueden comunicarse y entenderse por medio de sonidos.

Ya sabemos cómo imprimir «información» a una onda electromagnética. Sin embargo, este tipo de información requiere del aprendizaje del código Morse, igual que el lenguaje hablado requiere conocer el significado de cada palabra. Además, el código Morse no podría transmitir nunca información de tipo musical o visual, que son las que más fácilmente «traducimos».

Se llaman vocales, en lenguaje hablado, a las letras que se pronuncian con tan sólo emitir la voz. En castellano son cinco, y resulta muy fácil comprobar que una suena distinta de otra tan sólo con cerrar más o menos la boca, y con poner la lengua en una posición u otra. Se dice que *modulamos* la voz, porque lo único que hacemos es modificar una corriente de aire salida de nuestra garganta para que suene de una forma o de otra. La corriente de aire podemos llamarla *portadora*, pues es la que llevará o «portará» la *modulación* que le imprimamos con la boca y/o lengua. La portadora, por sí sola, no es sonido, no transporta lo que hemos llamado «información».

Esto tan sencillo y que tan habituados estamos a hacer a diario (simplemente, hablar) es lo que se hace en una emisora de radio. Se crea una *onda portadora* (el equivalente a la corriente de aire) que se lleva a un *modulador* (la boca y lengua) para que sobre ella se «imprima» la información que deseamos, que se materializa como *onda moduladora* (lo que nos-



otros 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.

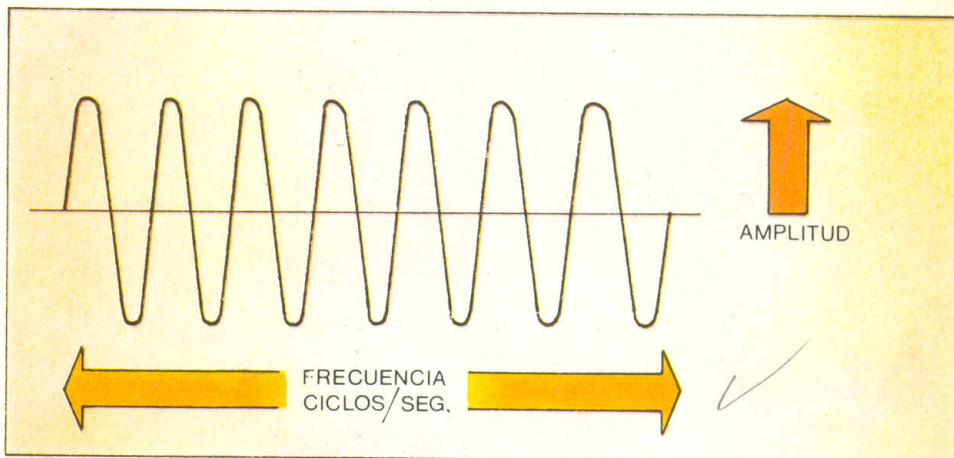
## Tipos de modulación

Ya se han descrito dos de los parámetros más importantes de una onda, que son su amplitud y su frecuencia. La *amplitud* da idea del valor máximo que adoptará la onda, mientras que la *frecuencia* nos dirá los *ciclos* completos que se repiten en cada segundo. La forma de las ondas hertzianas es idéntica a las de sonido. La única diferencia (aparte de su naturaleza) está en la frecuencia. Mientras que en las sonoras audibles rara vez llegan a los 20 KHz, las de radio pueden llegar a tener frecuencias superiores a los 10 GHz (diez mil millones de ciclos por segundo).

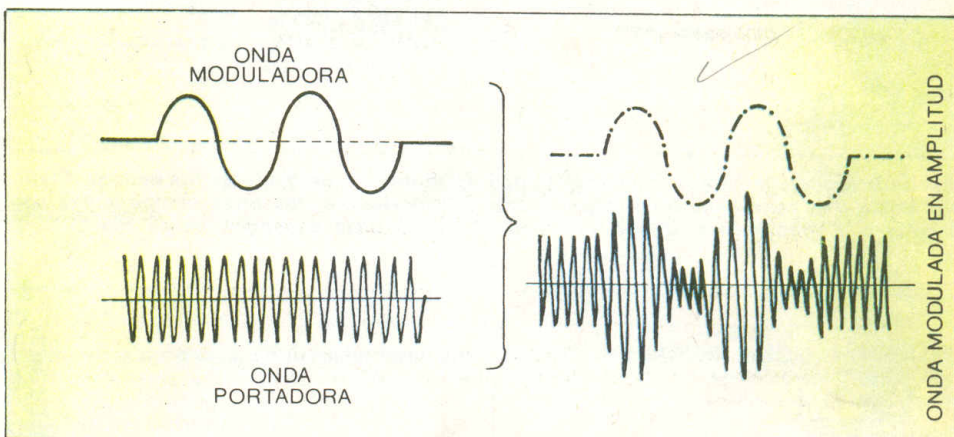
Aunque no lo hemos dicho explícitamente, ya hemos mencionado una forma de modulación cuando hablamos del sistema Morse. Se trata de dar amplitud máxima a la onda (cuando se transmite punto o raya) y amplitud cero (intervalo entre puntos y/o rayas). Es una modulación basada en el «todo» o «nada». Como vemos, en este caso lo que se modifica es la *amplitud* de la onda. Nos encontramos frente a la *modulación de amplitud*, que abreviaremos como AM.

Igual que hemos introducido la información en la portadora *modificando* uno de sus parámetros, la amplitud, también podríamos hacerlo modificando el otro parámetro antes citado, la frecuencia. Así, si nuestra portadora tuviera una frecuencia de, pongamos, 500 KHz, cuando quisiéramos transmitir un punto o una raya, podríamos cambiar la frecuencia a 510 KHz. Esa variación de 10 KHz en la frecuencia la interpretaría el receptor como la transmisión de un punto o una raya, según la duración. Así habremos hecho una *modulación de frecuencia*, que notaremos como FM.

Existen más tipos de modulación, como son la de fase, por impulsos, etc., pero sólo nos interesan las dos ya citadas, y lo que es verdaderamente importante es hacerse a la idea de que para *modular* una onda, hay que *modificar* alguno de los parámetros que la definen. Una onda portadora *no* posee en sí ningún tipo de información que pueda resultarnos útil.



Dos de los parámetros más importantes de una onda de radio son su amplitud y su frecuencia.



Esquema de funcionamiento de una modulación de amplitud. La amplitud de la onda portadora se modifica con arreglo a las variaciones de la moduladora. Los «picos» de la onda modulada tienen una forma idéntica a la onda moduladora.

## La modulación de amplitud

Puesto que la señal de audio es variable, podemos hacer variar la amplitud de la portadora al ritmo de la de audio. El receptor le diseñaremos de forma que sea sensible *sólo* a dicha variación de amplitud, que será precisamente la señal de audio que queremos transportar. Como vemos, la portadora es sólo el caballo que transporta el jinete que es la señal de audio. No nos sirve nada más que para conseguir que el jinete llegue más lejos que podría hacerlo por sus propios medios.

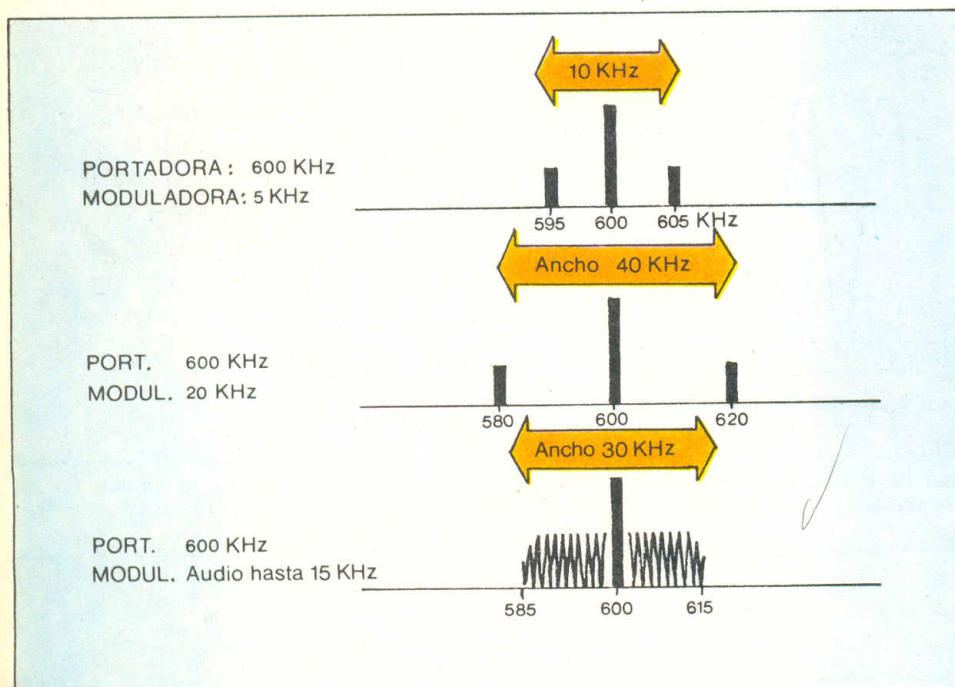
Aunque el proceso de modulación es tan sencillo como acabamos de exponer, al estudiar la onda modulada que transmitimos aparecen algunas complicaciones. Pongamos un ejemplo para verlo con mayor claridad. Supongamos que nuestra portadora tiene una frecuencia de 600 KHz, y que la modulamos en amplitud con una señal de audio de 5 KHz. Se puede demostrar matemáticamente que la onda modulada (frecuencia 600 KHz, y am-

plitud variando continuamente a razón de 5 KHz) es equivalente a tres ondas, una de 600 KHz, otra de 605 KHz y una tercera de 595 KHz. Si la frecuencia de la onda moduladora (la señal de audio) fuera de 20 KHz, la onda modulada seguiría siendo equivalente a otras tres, ahora de frecuencias 600, 620 y 580 KHz.

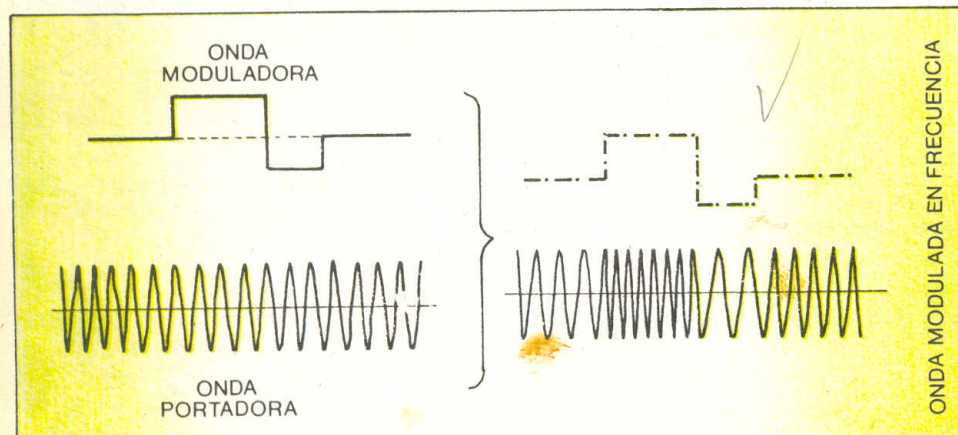
Si ahora queremos transmitir una reproducción musical que está compuesta por señales de frecuencia de hasta 20 KHz, la onda modulada se podrá descomponer como una componente central de 600 KHz y dos *bandas laterales*, una a cada lado de la frecuencia central, ocupando un ancho cada una de 20 KHz, esto es, la onda modulada ocupará una banda de frecuencias comprendida entre 580 y 620 KHz. Podríamos asimilar la formación de las dos bandas laterales a la modulación de amplitud que sufren tanto los semiciclos positivos como los negativos de la portadora.

Como fácilmente se comprende, y esto es importante, el *ancho de banda* ocupado por una transmisión de MA





Una onda modulada en amplitud tiene varias componentes de distintas frecuencias. Siempre existe una componente correspondiente a la portadora; las otras componentes son debidas a la moduladora, siendo su amplitud y frecuencia dependientes de ella.



Esquema de funcionamiento de una modulación de frecuencia. La frecuencia instantánea de la portadora se hace variar con arreglo a la amplitud de la moduladora. Así, cuando la amplitud aumenta, también lo hace la frecuencia; si disminuye, la frecuencia instantánea se hace menor. Esto es lo que muestra el ejemplo gráfico mostrado, donde se ha elegido una onda moduladora de forma rectangular para mayor claridad de exposición.

depende directamente del *ancho de banda* ocupada por la señal de audio a transmitir, y *no* de su *amplitud*. Además, el ancho de banda total ocupado por la onda modulada que se transmite es el *doble* del que tiene la señal de audio. Estos son los puntos destacables de este tipo de modulación.

## La modulación de frecuencia

Igual que en AM se hace variar la amplitud de la portadora al ritmo de la señal moduladora, también podemos hacer que la *frecuencia* de la porta-

dora varíe al ritmo de la señal que queremos enviar, la moduladora. De esta forma tan sencilla obtendremos una onda que lleva imprimida la información como variación de frecuencia, esto es, habremos hecho una *modulación de frecuencia* de la portadora. Ahora haremos que nuestro receptor sea tan sólo sensible a dichas variaciones de frecuencia, con lo que podremos recoger de nuevo la información contenida en la onda modulada. El proceso de modulación se realiza de tal forma que la *desviación de frecuencia* (el número de hertzios en que cambia la frecuencia instantánea de la

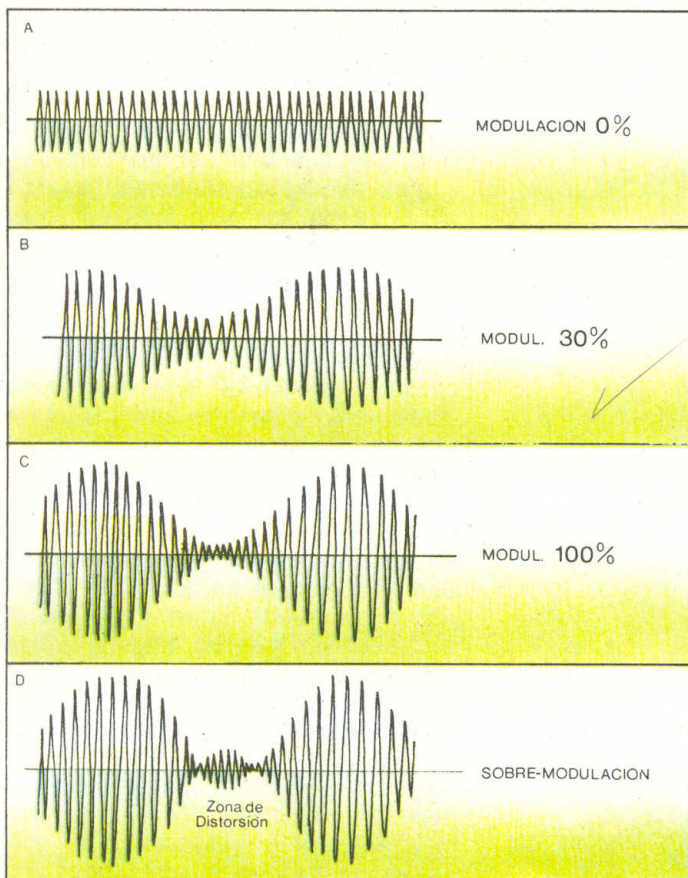
portadora) es proporcional a la *amplitud* de la señal moduladora. Pongamos un ejemplo numérico que nos aclare la idea. Supongamos una señal moduladora de 1 V de amplitud, no importa su frecuencia. Supongamos asimismo que dicha señal provoca una desviación de frecuencia de  $\pm 15$  KHz en la frecuencia de la portadora, que vamos también a suponer que es de 1.000 KHz. Conforme varíe la señal moduladora, la frecuencia de la portadora variará desde 985 KHz hasta 1.015 KHz ( $1.000 \pm 15$  KHz), ocupando un ancho de banda de 30 KHz ( $1.015 - 985 = 30$  KHz), esto es, el *doble* de la desviación.

Si ahora queremos modular la portadora de 1.000 KHz con una moduladora de 10 V de amplitud, la desviación que obtendremos será de  $\pm 150$  KHz (diez veces mayor desviación que con la modulación de 1 V), por lo que la frecuencia de la portadora variará entre 850 KHz y 1.150 KHz ( $1.000 \pm 150$  KHz), ocupando la transmisión una banda de 300 KHz ( $1.150 - 850 = 300$  KHz), también el doble de la desviación. ¿Qué cómo se distinguen dos moduladoras de igual amplitud, 10 V, y distinta frecuencia, 1 KHz y 5 KHz? Pues muy sencillo: puesto que ambas señales tienen la misma amplitud (10 V), la desviación de frecuencia de la portadora será la misma ( $\pm 150$  KHz); pero con la señal de 1 KHz la variación se hará a razón de 1.000 veces por segundo, mientras que con la de 5 KHz la desviación se realizará 5.000 veces cada segundo.

Así pues, destaquemos este punto que es importante: el *ancho de banda* ocupado por una transmisión de FM depende directamente de la *amplitud* de la señal de audio a transmitir. Además, el ancho de banda total ocupado por la onda modulada que se transmite podemos considerar, en principio, que es el *doble* de la desviación de frecuencia producida por la máxima amplitud de la señal de audio.

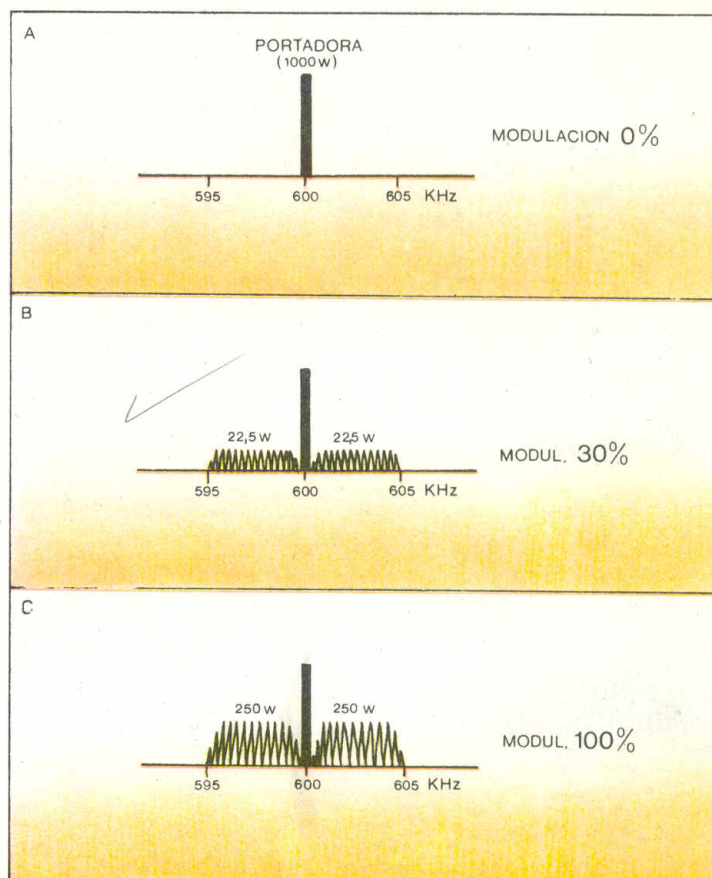
Podría pensarse que el empleo de la modulación de frecuencia reduciría a un mínimo el ancho de banda empleado para su transmisión, utilizando para ello una desviación de frecuencia muy pequeña. Esto no es así en la realidad. Por consideraciones matemáticas que ahora no vamos a exponer aquí, el ancho de banda de transmisión depende de la desviación de frecuencia empleada, y ésta a su vez del ancho de banda de la señal de audio, por lo que fácilmente se deduce que los anchos de banda de transmisión y de la señal de audio están interrela-





A la izquierda: Porcentaje de modulación en AM. Una onda portadora sin modular tiene una amplitud constante (A). Cuando se modula una señal, la amplitud media sigue siendo la misma, aunque varía con la misma forma que la moduladora (B). Cuando las amplitudes de la portadora y la moduladora se hacen iguales, se consigue la modulación al 100 % (C). No debe permitirse que la amplitud de la moduladora sea superior a la de la portadora, para evitar posibles distorsiones (D).

A la derecha: Potencias empleadas en las distintas bandas laterales. Si la potencia de la portadora se mantiene constante, cuando no module, toda la potencia emitida será gastada en transmitir onda portadora (A). Cuando el porcentaje de modulación alcanza el 30 % potencia empleada en cada banda lateral es poco más del 2 % de la portadora (B). Si el porcentaje de modulación se hace máximo, en cada banda lateral se emplea tan sólo la cuarta parte de potencia que en la portadora (C).



cionados entre sí. La forma en que el primero varía en función del segundo es complicada, pero en la práctica raramente el ancho de banda de transmisión es inferior a diez veces el de la señal de audio.

## Características de la modulación de amplitud

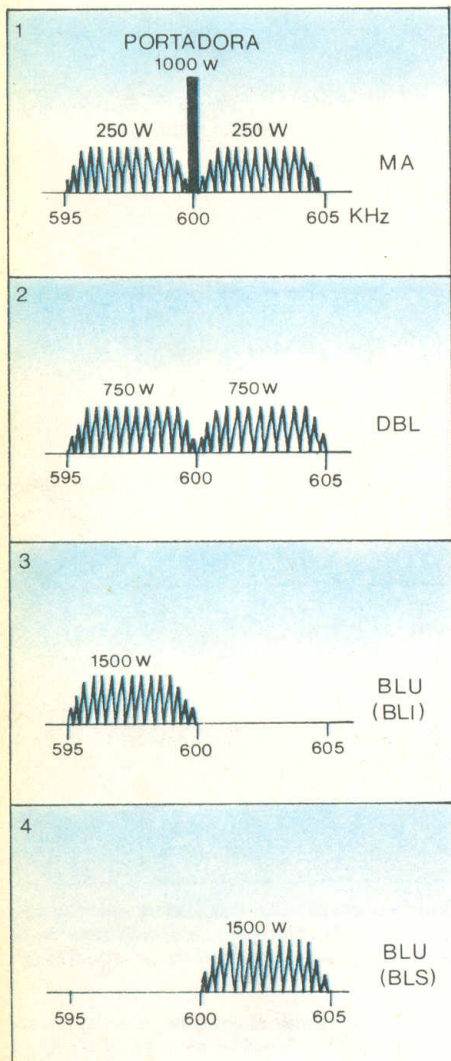
Ya sabemos que este tipo de modulación consiste en hacer variar la amplitud de la portadora al ritmo que le fije la moduladora. Pero ¿cuándo se puede hacer variar dicha amplitud? Existen dos toques claros: uno, cuando la amplitud de modulación alcanza la amplitud de la portadora, y otro, cuando no se produce modulación (amplitud de la portadora constante). En el primer caso, se dice que la *profundidad o porcentaje de modulación* es del 100 %, mientras que en el segundo, es cero. Entre ambos extremos se obtienen todos los valores de la

profundidad de modulación posibles. Es fácil comprender que si se pretende modular la portadora con una profundidad mayor del 100 %, la forma de la señal obtenida será diferente de la original, produciéndose distorsión en la parte receptora.

Una emisora de radio que transmita en AM gastará una cierta potencia en enviar las ondas de radio. Puesto que la amplitud *media* de la portadora es siempre la misma, la potencia gastada en enviar la portadora será constante. Sin embargo, la potencia gastada en las bandas laterales dependerá de la profundidad de modulación. Cuando dicha profundidad sea cero, no habrá modulación, no habrá bandas laterales y no se empleará potencia en ellas. Cuando la profundidad de modulación alcance el 100 %, se producirán dos bandas laterales iguales, en cada una de las cuales se empleará una potencia que es la cuarta parte de la empleada para la portadora. Para valores

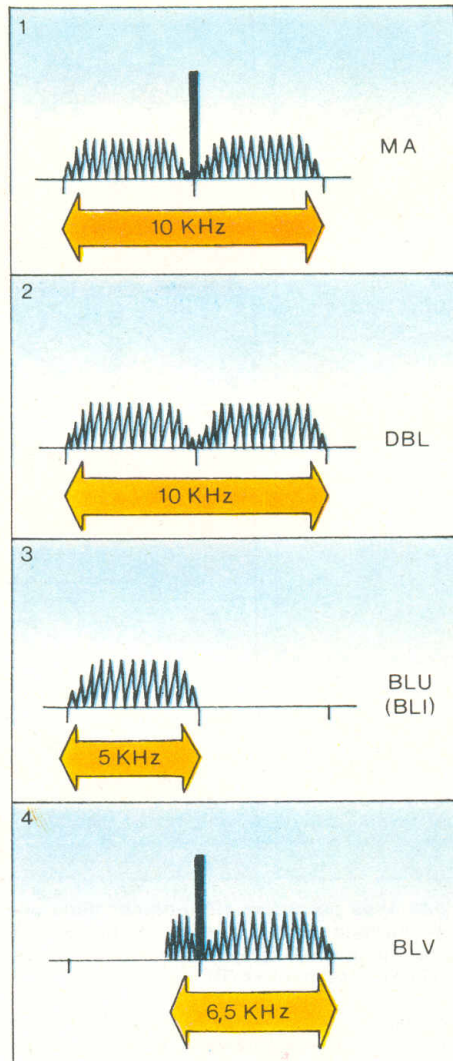
intermedios entre el 0 y el 100 %, potencia empleada en cada banda lateral disminuye, de forma que para 30 %, por ejemplo, la potencia en cada banda representa poco más del 2 % de la empleada para la portadora. Si tenemos en cuenta que la «información» que queremos transmitir contenida en las bandas laterales, fácilmente comprenderemos que estamos derrochando energía, puesto que apenas un 5 % de la potencia gastada por un transmisor de AM que modula con un 30 % de profundidad va a ser útil, ya que el otro 95 % se emplea para la portadora que, en sí, contiene información útil alguna. En mejor de los casos (modulación 100 %), la potencia empleada para los dos lados representa tan sólo el 50 % de la de portadora. Para conseguir un mejor rendimiento del proceso de transmisión, puede suprimirse (con un filtro, por ejemplo) la portadora, emitiéndose tan sólo





Reparto de potencia en distintas situaciones. Se supone que siempre se transmite con 1.500 W de potencia en antena. 1) Modulación en amplitud al 100 %. 2) Modulación en doble banda lateral (DBL). 3) y 4) Modulación en BLU. La única diferencia está en la transmisión de la banda lateral inferior (BLI) o la superior (BLS). En inglés, estas dos bandas se abrevian como LSB (de «Lower Side Band») y USB (de «Upper Side Band»), respectivamente.

dos bandas laterales, dando lugar a la llamada *modulación en doble banda lateral* (en inglés abreviado como DSB, de «Double Side Band»). Incluso puede suprimirse también una de las bandas laterales, ya que *toda* la información que queremos transmitir va contenida por igual en ambas. Así se da paso a los sistemas de *modulación en banda lateral única*, abreviada como BLU (y en inglés como SSB, de «Single Side Band»). Este último sistema es el que mayor rendimiento tiene, ya que *toda* la potencia gastada en el transmisor se aprovecha para transmitir *toda* la información. Otros tipos de modulación de amplitud



Ancho de banda ocupado por distintas transmisiones. 1) Modulación en amplitud con señales de hasta 5 KHz. 2) Modulación en DBL también con señales de audio de hasta 5 KHz. 3) Modulación en BLU (banda inferior) con señales de hasta 5 KHz. 4) Modulación en banda lateral vestigial (BLV). En este caso, se suprime parte de una de las bandas; la información suprimida puede recuperarse con ayuda de la otra banda lateral.

existen aún, unos sin y otros con supresión de portadora. Entre ellos cabe citar el empleado por la señal de imagen (video) de TV, denominado de *banda lateral vestigial*, en la que se suprime una parte de una de las bandas laterales. Aparte de la ventaja que supone un mayor rendimiento de transmisión, los sistemas que suprimen parte o la totalidad de una de las bandas laterales ahorran también ancho de banda ocupado, ya que sólo se emplea el suficiente para transmitir la información útil. En concreto, los sistemas de BLU utilizan la mitad o menos del espectro ocupado por una emisora de AM nor-

mal. Esto supone *doblar* el número de emisoras que pueden entrar en una cierta banda sin interferirse unas a otras.

Naturalmente, cada sistema de modulación entraña unas ciertas técnicas, que no sólo han de tenerse en cuenta en el transmisor, sino también en la parte receptora. Desde el punto de vista del receptor, los sistemas de portadora suprimida complican no sólo el diseño del mismo, sino también su ajuste y puesta a punto. Además, las emisoras de AM han empleado tradicionalmente el sistema de portadora y dos bandas laterales, al que están adaptados los receptores que se encuentran en el mercado.

Por estas razones, la totalidad de las emisoras que transmiten en las bandas de radiodifusión en AM lo hacen con doble banda lateral y portadora, no beneficiándose de ninguna de las ventajas de los distintos sistemas comentados. Además, cualquier otro sistema que eventualmente se empleara en dichas bandas, debería ser compatible con el actualmente empleado (es decir, debería poder ser recibido normalmente con un receptor de los que se encuentran en el mercado).

La única excepción al sistema de bandas laterales la constituyen las emisoras de TV, que transmiten siempre en el sistema ya comentado de BLV, sistema al que están adaptados los televisores. En este sentido podemos decir que no existe un único sistema empleado mundialmente, sino que en la actualidad existen al menos seis distintos, incompatibles unos con otros, por lo que un receptor de TV determinado puede que no funcione en cualquier parte del mundo, lo que no ocurre con los receptores de radio, cuya única diferencia puede estar en las bandas empleadas, pero no en los sistemas de modulación.

## Bandas de radiodifusión

Las ondas hertzianas suelen dividirse en varios grupos, atendiendo a su frecuencia. Estos grupos se denominan *bandas de frecuencias*, y la división es puramente convencional. También podemos hacer la clasificación en base a las longitudes de onda que presentan. Puesto que frecuencia y longitud de onda están interrelacionadas, dichas bandas pueden identificarse indistintamente de una forma u otra, pues la equivalencia es total. Comprendidos dentro de estas bandas están todos los servicios que se hacen por radio: policía, aficionados,

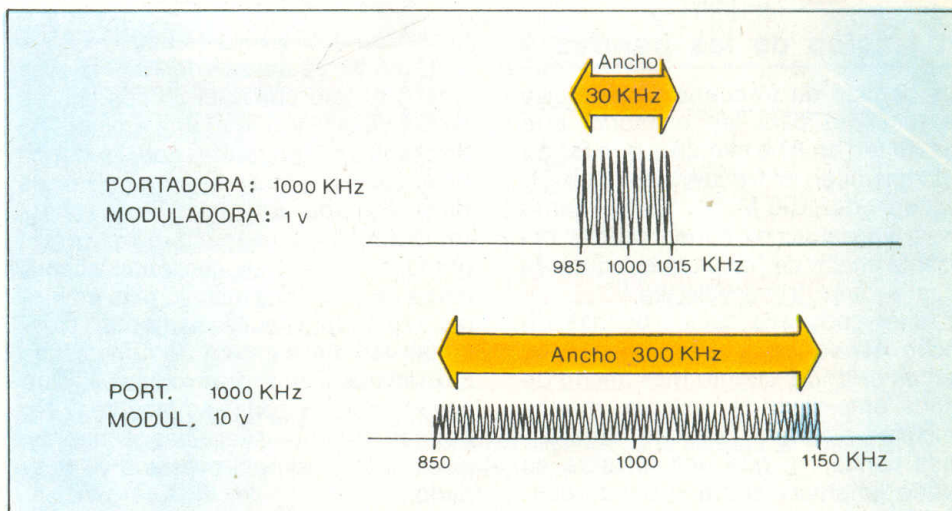


| DENOMINACION                                     | Siglas | Margen de frecuencias |
|--------------------------------------------------|--------|-----------------------|
| Frecuencias muy bajas (Very Low Frequencies)     | VLF    | 3-30 KHz              |
| Frecuencias bajas (Low Frequencies)              | LF     | 30-300 KHz            |
| Frecuencias medias (Medium Frequencies)          | MF     | 300-3.000 KHz         |
| Frecuencias altas (High Frequencies)             | HF     | 3-30 MHz              |
| Frecuencias muy altas (Very High Frequencies)    | VHF    | 30-300 MHz            |
| Frecuencias ultra altas (Ultra High Frequencies) | UHF    | 300-3.000 MHz         |
| Frecuencias super altas (Super High Frequencies) | SHF    | 3-30 GHz              |
| Frecuencias extra altas (Extra High Frequencies) | EHF    | 30-300 GHz            |

**Bandas de frecuencia.** Margen de frecuencias que abarcan y siglas más utilizadas para su nomenclatura.

comunicaciones móviles, radioayudas a la navegación, radar, comunicaciones tierra-satélite, etc., y cómo no, también se encuentran las bandas de *radiodifusión*, que son aquellas en que transmiten emisoras con fines fundamentalmente comerciales, de divulgación, y en general emisiones dirigidas al sector denominado «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 hertzianas utilizable: apenas el 0,2 % de todas las frecuencias útiles se destina a este fin. En él se incluyen no sólo las emisoras de radio, sino también las de TV. Sólo 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 necesita una emisora de FM, y es 600 veces mayor que el que emplea una de AM. Es por esta diferencia tan grande en el ancho de banda ocupado que existen más de 50 canales de radio por cada uno de TV, a pesar de ocupar la radio tan sólo el 5 % del ancho disponible. Las emisoras de radio se encuentran en distintas bandas,



Una onda modulada en frecuencia ocupa un cierto espectro alrededor de la frecuencia de la portadora. El ancho de dicha banda es proporcional a la amplitud de la moduladora; mayor amplitud, mayor ancho de banda ocupado.

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 partes del mundo existen los mismos acuerdos, por lo que estas cifras sólo valen para la zona europea occidental, Oriente Medio y parte de África. 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 una región con otras. Dentro de cada banda, cada país puede que introduzca sus propias limitaciones, reservas o utilización, por lo que las cifras deben tomarse sólo como característica general común a la zona antes dicha.



| DENOMINACION                                    | Siglas | Margen longitud onda | Equivale a |
|-------------------------------------------------|--------|----------------------|------------|
| Ondas muy largas ( <b>Very Long Waves</b> )     | VLW    | 10-100 Km            | VL F       |
| Ondas largas ( <b>Long Waves</b> )              | LW     | 1-10 Km              | LF         |
| Ondas medias ( <b>Medium Waves</b> )            | MW     | 100-1.000 m          | MF         |
| Ondas cortas ( <b>Short Waves</b> )             | SW     | 10-100 m             | HF         |
| Ondas muy cortas ( <b>Very Short Waves</b> )    | VSW    | 1-10 m               | VHF        |
| Ondas ultra cortas ( <b>Ultra Short Waves</b> ) | USW    | 100-1.000 mm         | UHF        |
| Ondas super cortas ( <b>Super Short Waves</b> ) | SSW    | 10-100 mm            | SHF        |
| Ondas extra cortas ( <b>Extra Short Waves</b> ) | ESW    | 1-10 mm              | EHF        |

Las bandas de frecuencias pueden también clasificarse en relación a las longitudes de onda que comprenden. Se da su equivalencia con las denominaciones en relación con la frecuencia.

## Utilización de las bandas

Las bandas de frecuencia 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, como ahora veremos, 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 «caben» en una determinada banda, ya que una emisora no puede «montar» sobre la banda ocupada por otra, pues se producirían interferencias. Por ejemplo, supongamos que queremos utilizar la banda de OM para emisoras de AM, y que cada una de ellas va a transmitir música en alta fidelidad. Ya sabemos que, para este uso, necesitaremos reproducir señales cuya frecuencia máxima será del orden de 20 KHz. Puesto que la modulación es en amplitud, a ambos lados de la portadora aparecerán dos bandas de 20 KHz de ancho cada una (igual ancho que la señal de audio), necesitándose, por tanto, 40 KHz de ancho para cada una de las emisoras. Puesto que la banda de OM ocupa un

ancho de 1.125 KHz ( $1.650 - 525 = 1.125$  KHz), a razón de 40 KHz cada emisora, sólo entrarían 28 con la condición ya dicha de que una emisora no se «solape» en parte con la banda ocupada por otra. Este número es muy reducido. En zonas muy densamente pobladas, como pueden ser las grandes urbes, es corriente encontrarse con 15, 20 e incluso más emisoras radiando simultáneamente. Ocuparían la banda entera de OM, y sólo se serviría a una gran ciudad. ¿Qué pasaría con las zonas adyacentes? No podrían tener sus propias emisoras, pues todo el espectro estaría ya ocupado.

Bajemos un poco la calidad de transmisión y reduzcamos la banda de audio de 20 KHz a tan sólo 15 KHz. Ahora necesitaremos 30 KHz ( $2 \times 15$  KHz) para cada emisora; por lo que en la banda de OM llegarían a entrar 37 emisoras. La práctica real sigue diciendo que es un número insuficiente. Por esta razón la comunidad internacional se puso de acuerdo en crear una Oficina o Comité que se encargara de redactar *normas* (con carácter de *recomendaciones*, pero que son seguidas al pie de la letra por todos los países) que estuvieran destinadas al mejor aprovechamiento del espectro

de ondas hertzianas, no sólo con fines de radiodifusión, sino de todos los servicios y usos que puede darse a las mismas. Esta es una de las misiones del C. C. I. R. (Comité Consultivo Internacional de las Radiocomunicaciones). 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 la señal de audio más elevada que puede transmitirse. De esta forma, pueden entrar hasta 125 emisoras transmitiendo simultáneamente sin interferirse unas a otras.

Naturalmente, cada una de esas 125 emisoras se ven imposibilitadas a poder transmitir programas en alta fidelidad, ya que el C. C. I. R. les ha limitado la banda de audio a 4,5 KHz. Así, pues, se ha cambiado conveniencia de uso por calidad de transmisión musical. En su día, ya dijimos que las emisoras de AM no podían considerarse integradas en la alta fidelidad. Aquí está la razón, que como también



| EMISORAS DE RADIO                                                                                            |                       |                                                                                     |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Banda                                                                                                        | Siglas                | Margen de frecuencia                                                                | Modulación |
| Onda Larga<br>Long Wave<br>Grandes Ondes<br>Langwelle                                                        | OL<br>LW<br>GO<br>LW  | 150-300 KHz                                                                         | MA         |
| Onda Media<br>Medium Wave<br>Petites Ondes<br>Mittelwelle                                                    | OM<br>MW<br>PO<br>MW  | 525-1.650 KHz                                                                       | MA         |
| Onda Corta<br>Short Wave<br>Ondes Courtes<br>Kurzwele                                                        | OC<br>SW<br>OC<br>KW  | Bandas principales:<br>16, 19, 25, 31, 41, 49, 60, 75<br>y 90 m de longitud de onda | MA         |
| VHF Banda II<br>Modulación de Frecuencia<br>Frequency Modulation<br>Modulation de Fréquence<br>Ultrakurzwele | MF<br>FM<br>MF<br>UKW | 87,5-104 MHz<br>(en algunos países<br>87-108 MHz)                                   | MF         |

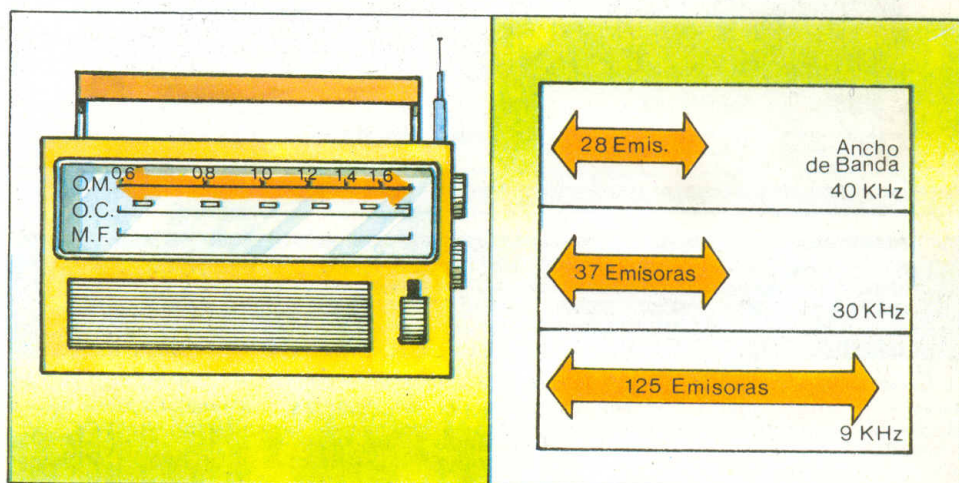
Principales bandas de radiodifusión para la zona europea, Oriente Medio y parte de Africa.

se dijo, es de orden técnico, y no porque la AM no pueda «dar más de sí», independientemente de que luego se presenten otro tipo de problemas, como el de las interferencias de tipo atmosférico, de las que ya hablaremos en su momento.

## La transmisión en FM

Cuando hemos hablado del ancho que ocupa una transmisión en FM, dijimos que era de, al menos, diez veces el de la señal de audio. Así, y suponiendo que transmitiéramos música en alta fidelidad, con señales de frecuencias de hasta 20 KHz, cada emisora necesita, por lo menos, una banda de 200 KHz. ¿Qué ocurriría si pretendiéramos utilizar este tipo de transmisión en la banda de OM? Sólo entrarían, y mal, seis emisoras. Si antes teníamos problemas con la AM, no diremos nada de los que se presentarían ahora (aparte de otros de tipo técnico que surgirían, y que no comentaremos). Aun admitiendo a reducir el ancho de banda de audio a tan sólo 4,5 KHz, no podrían transmitir más de 25 emisoras simultáneamente.

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 de 87 a 108 MHz entrarán un mínimo de 105



Al ser la banda de OM de una anchura determinada, el número posible de emisoras que pueden transmitir simultáneamente sin interferirse depende de la anchura de cada una de ellas; a mayor anchura, menor número de emisoras cabrán.

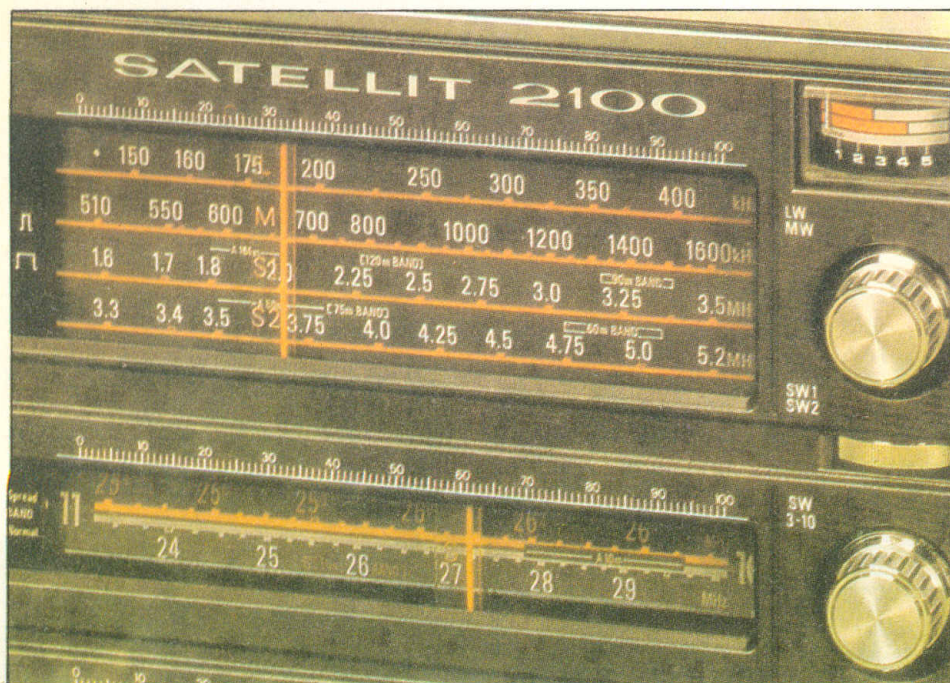
emisoras. En Europa se ha normalizado la separación entre dos emisoras contiguas en 300 KHz, asignándose además una numeración a las posibles emisoras o «canales» (igual que en TV). Así, el primer canal es el dos, y está situado en 87,6 MHz.

En los EE. UU. se admiten emisoras separadas 200 KHz (situadas en canales contiguos o adyacentes), 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

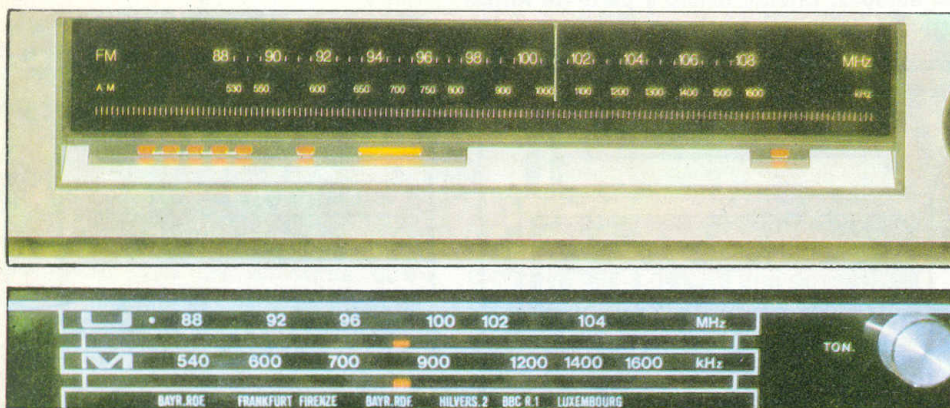
108 MHz por el lado alto de la gama, se ha originado por la gran congestión que se produce en determinadas zonas, de forma que pueden encontrarse cerca del doble de canales que en Europa. Tanto en un continente como en otro se emplea una desviación típica de  $\pm 75$  KHz sobre la frecuencia de la portadora.

Ya hemos esbozado algunas ventajas de la FM frente a la AM desde el punto de vista de la posibilidad de transmisión en alta fidelidad. Así, ya hemos dicho que con la normativa actual es imposible transmitir en alta fidelidad



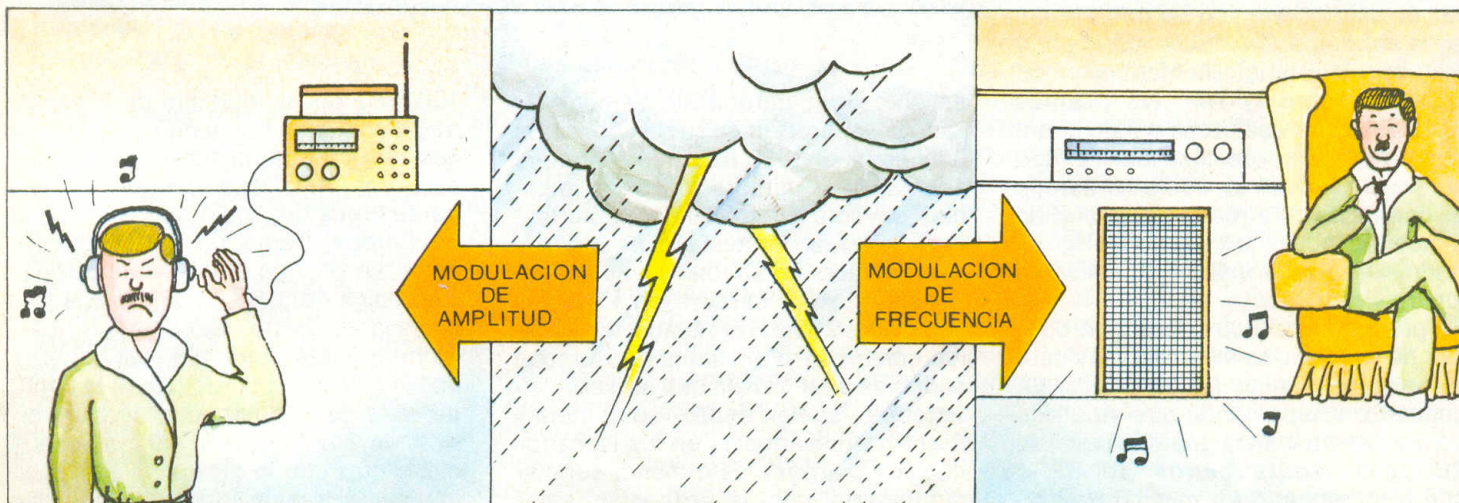


Las bandas de radiodifusión en MA son hoy día tres: la OL, la OM y parte de la OC. La mayor parte de los receptores pueden recibir emisoras en dichas bandas.



La banda de radiodifusión en MF se sitúa alrededor de los 100 MHz. En Europa se han establecido unos canales que son ocupados por las distintas emisoras. La división en canales es puramente convencional y obedece a razones de organización práctica.

Las tormentas y otros fenómenos eléctricos perturban gravemente la escucha de las transmisiones en MA, mientras que apenas si tienen efecto alguno sobre las realizadas en MF.



en las bandas de AM. Sin embargo, la FM deja una puerta abierta, ya que con la desviación de frecuencia adoptada de  $\pm 75$  KHz (que dan un ancho de banda mínimo de 150 KHz) si es posible transmitir señales de audio de hasta 15 ó 16 KHz, con lo que nos posibilita para hacer una transmisión por ondas hertzianas con una banda suficiente para una verdadera alta fidelidad.

Otra gran ventaja presenta la FM frente a la AM en este sentido. Todos conocemos los ruidos tan desagradables que se oyen en nuestro receptor de AM cuando hay una tormenta o, simplemente, cuando ponemos en marcha un secador de pelo o una batidora eléctrica. Incluso en TV (que también emplea un tipo de modulación en amplitud), y con este tipo de interferencias, se observan puntos luminosos que recorren la pantalla, enturbiando la imagen. 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 interferencia se produce porque la fuente u origen (la tormenta o el secador) 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 o la de TV, modificando su *amplitud*, que es donde va contenida precisamente la «información» sonora o de imagen. Cuando el receptor «examina» la amplitud de la señal que le llega, no sabe reconocer si hay o no «ruido», y envía al altavoz o a la pantalla todo lo que recibe, incluida la interferencia. 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 grandemente modificada por la interferencia, el receptor rechazará esta última, dejando pasar la señal de audio «limpia».

## Características de la modulación de frecuencia

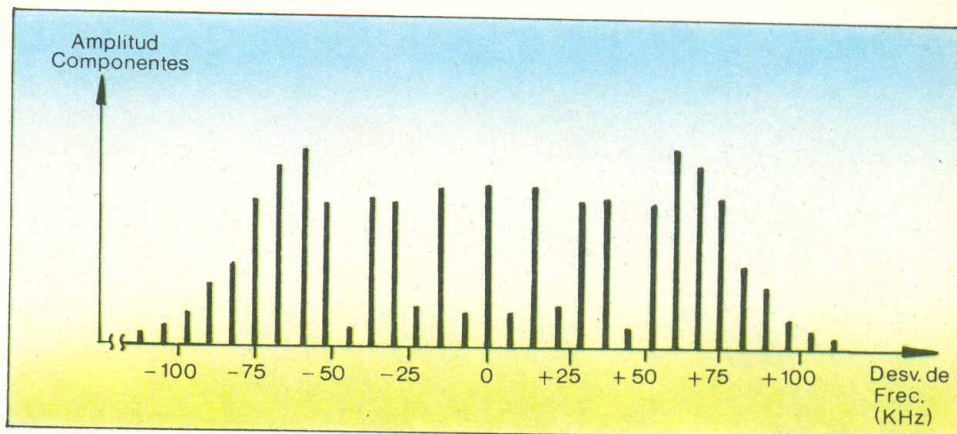
Al igual que ocurre con la señal modulada en amplitud, la que ha sido modulada en frecuencia también puede descomponerse matemáticamente en varias componentes. Sin embargo, ahora el resultado no es tan sencillo. Aunque no vamos a exponer un estudio completo, sí vamos a esbozar cuáles son los problemas 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.

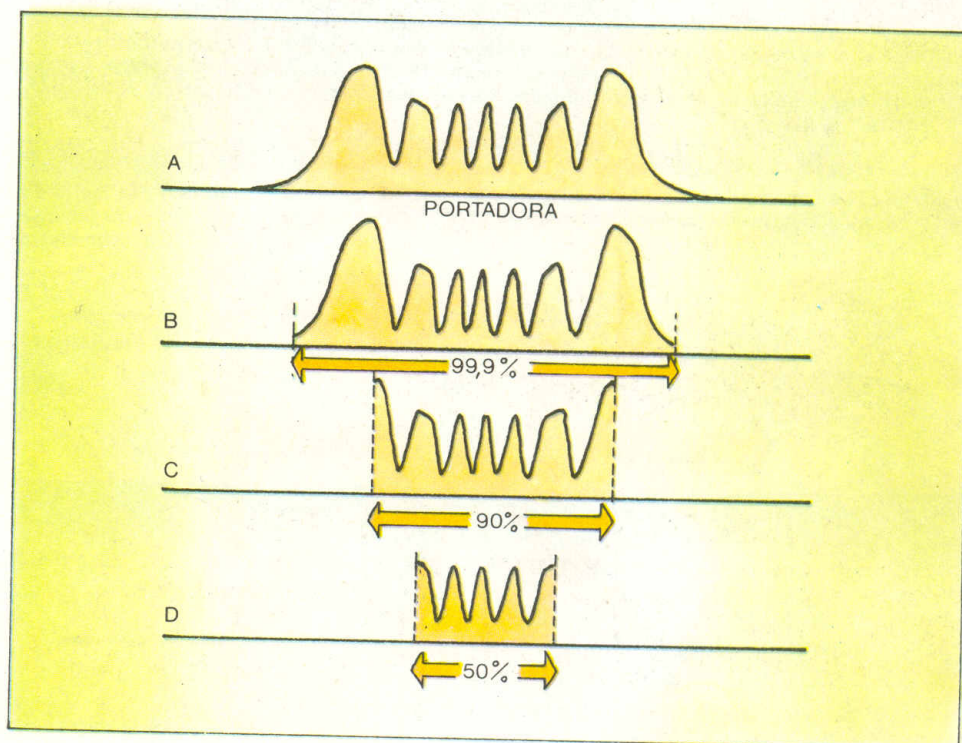
Un estudio más detenido de las componentes nos dice que su amplitud decrece rápidamente conforme nos alejamos de la frecuencia de la portadora, por lo que tomando un número relativamente pequeño de las mismas, puede recuperarse suficiente información como para recomponer la señal con un grado determinado 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  $\pm 75$  KHz y si se desea recuperar la información suficiente para que no haya diferencia



Las componentes de frecuencia producidas por una modulación en frecuencia son, teóricamente, infinitas. Aquí se muestran las producidas por un tono de 7,5 KHz de audio, que ocupa un ancho de banda superior a los 250 KHz.



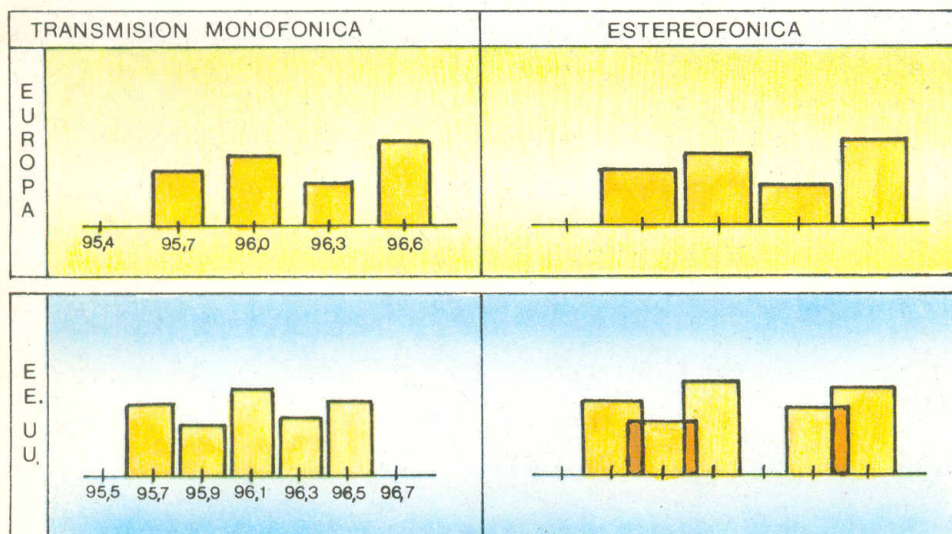
Cantidad de información recuperada de una onda modulada en frecuencia según el ancho de banda de recepción. A) Espectro completo. B) Ancho de banda de 250 KHz. Se recupera prácticamente toda la información. C) Ancho de banda de 150 KHz. Se recupera la suficiente cantidad de información como para que la distorsión sea pequeña. D) Ancho de banda de 100 KHz. Se pierde gran parte de la información, siendo la reproducción defectuosa.

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

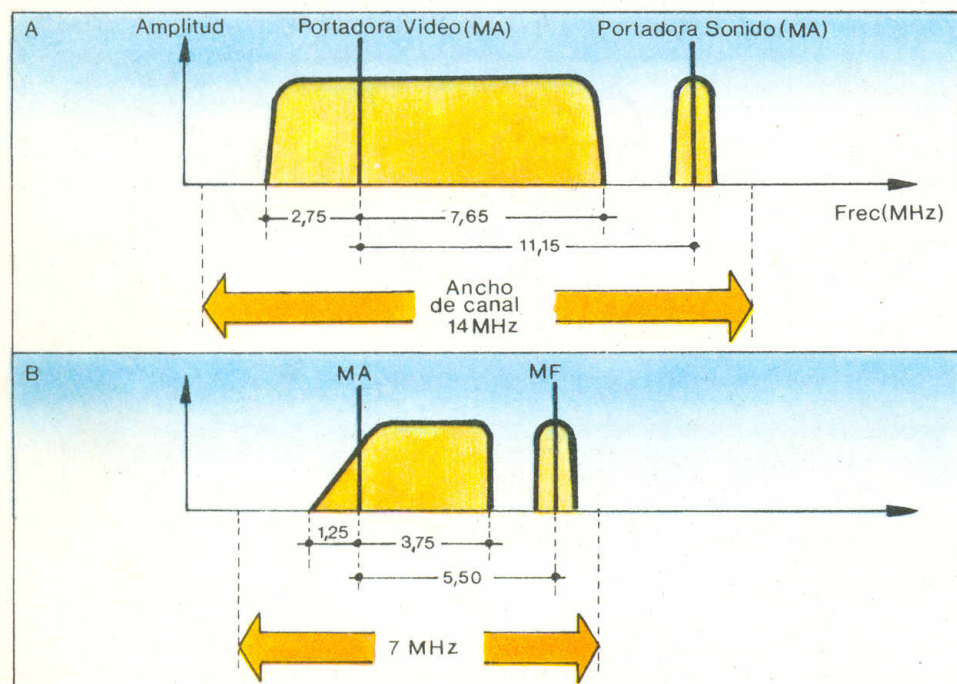
ancho de la banda de paso, sin que pueda apreciarse diferencia alguna con la señal original.

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 estereofónica 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 exigua, mientras que con 300 KHz hay suficiente. Así, dos canales adyacentes en Europa pueden ser





Distintos anchos de banda ocupados por señales en MF monofónica y estereofónica. Como puede observarse, en E.E.UU. no pueden transmitir dos estaciones en estéreo que se encuentren próximas entre sí y en canales adyacentes, pues se interferirían.



Distribución del espectro ocupado por un canal de TV. A) Sistema francés de 819 líneas. B) Sistema C.C.I.R. de 625 líneas.

ocupados por emisoras cercanas, pues no se interferirán; sin embargo, en E.E.UU. se ha de dejar un canal libre entre dos emisoras próximas que transmitan en estereofonía (canales alternos), ya que la separación pasará 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 E.E.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.

## 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 sintetizar las propiedades que presenta, sino que vamos a hacer un análisis práctico de su comportamiento. Así, diremos que, fundamentalmente, podemos considerar que una transmisión radio puede desplazarse de tres formas, que suelen denominarse como onda de tierra, onda de espacio y onda visual.

En principio, las ondas 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 barrotes no son muy gordos).

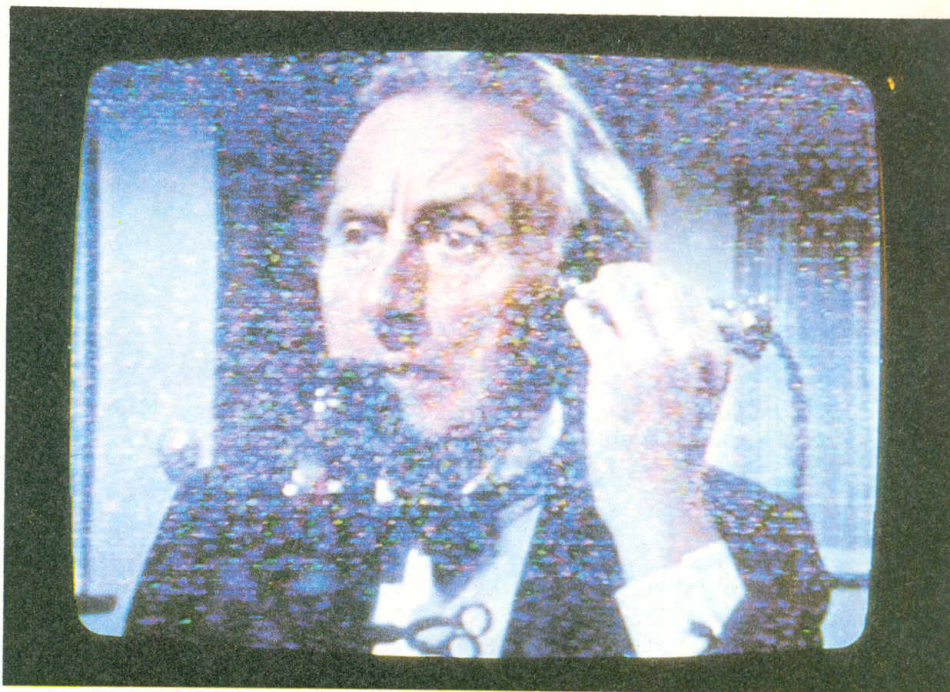
Por otro lado, las ondas radio también pueden propagarse sobre la superficie de la tierra, siguiendo su orografía. Esta es la denominada *onda de tierra*, que se atenúa con la distancia debido



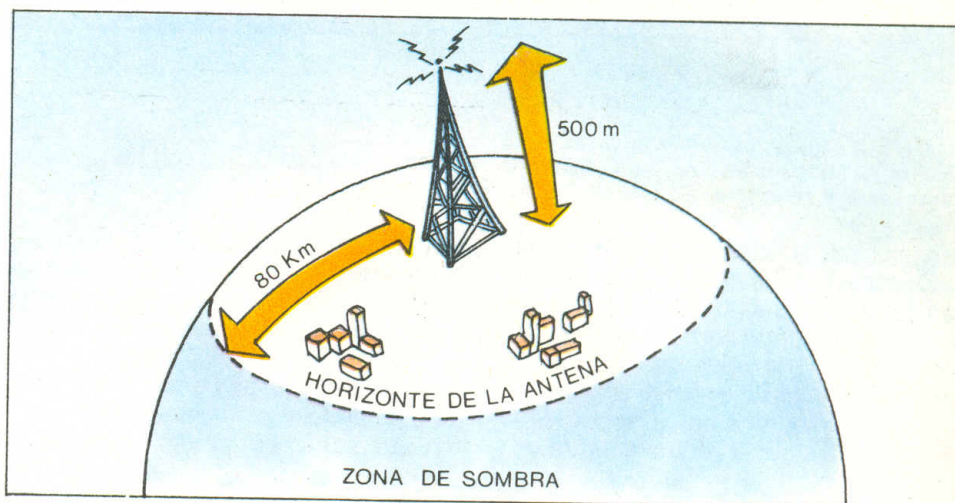
a las pérdidas producidas por el mismo terreno sobre el que viaja. Dichas pérdidas dependen de la frecuencia de la transmisión, así como de las características eléctricas de la tierra (conductividad, entre otras). El término «tierra» debe aplicarse en el sentido de superficie terrestre, la cual incluye 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 alcance 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 frecuencias 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 1.600 KHz (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 con 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 im-

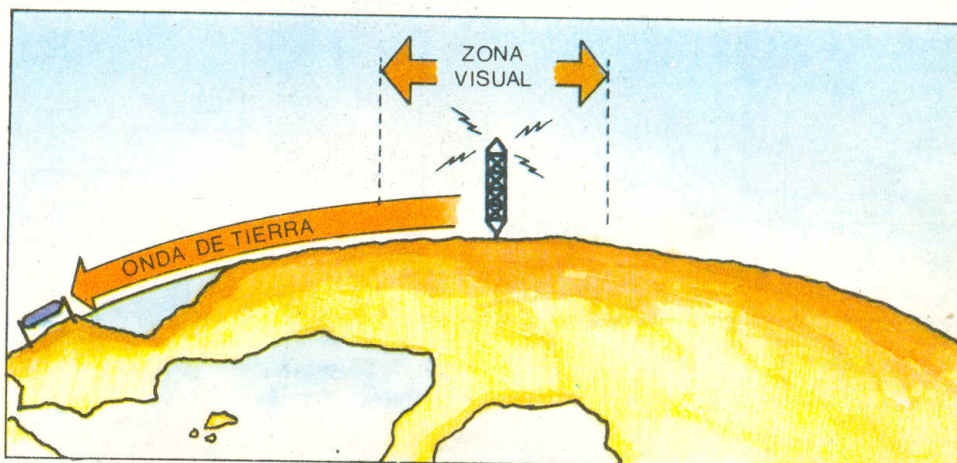


La señal de TV emplea un tipo de MA, por lo que la imagen puede verse afectada por cierto tipo de interferencias, que se traducirán por bandas luminosas, puntos blancos en zonas localizadas o incluso desincronización de los circuitos de imagen.

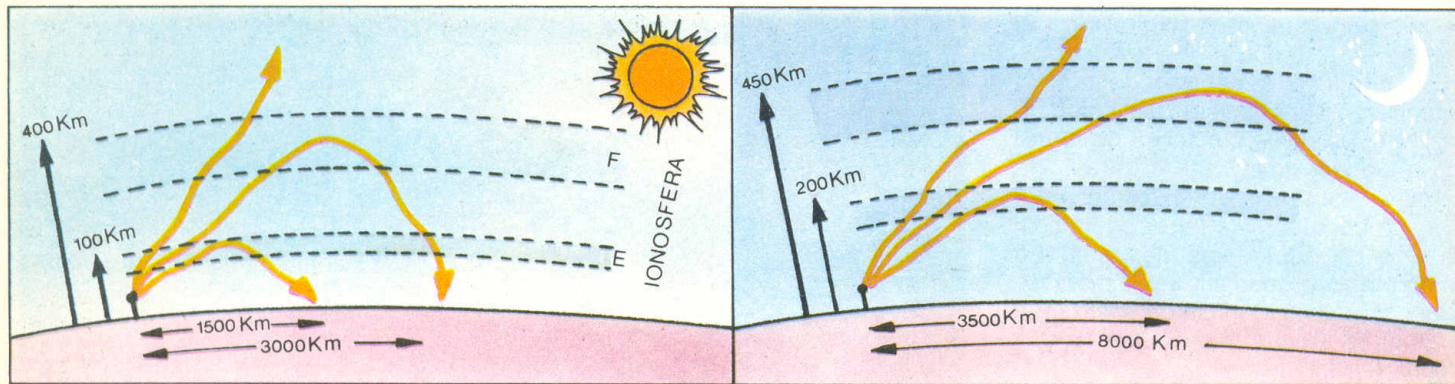


Zona útil de propagación por onda visual. El alcance de una transmisión en estas condiciones viene limitado principalmente por el horizonte geográfico de la antena de transmisión.

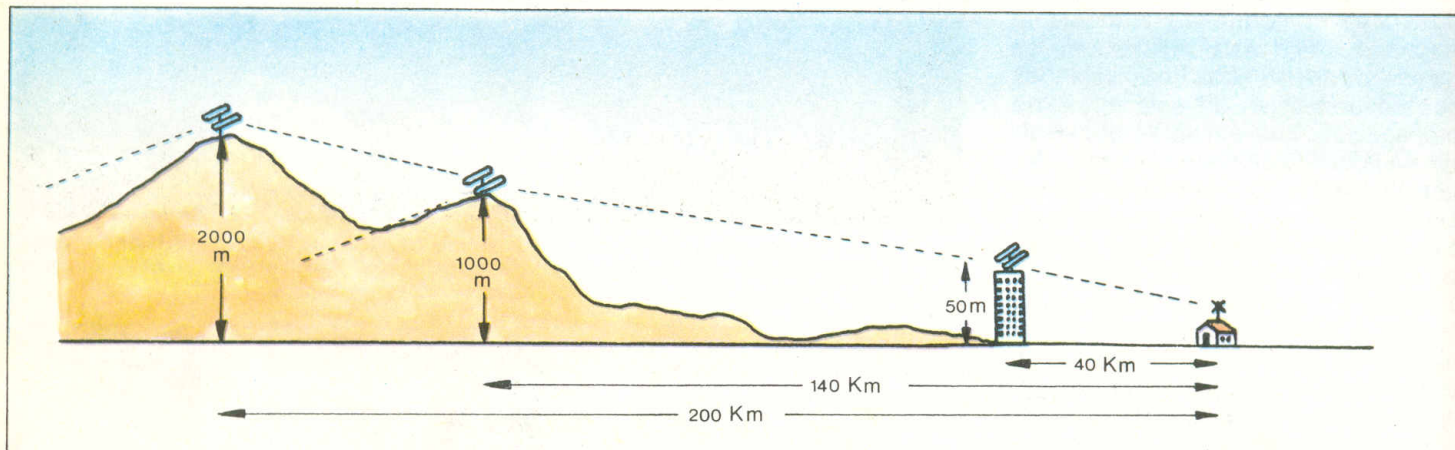
Comunicación por onda de tierra. El alcance de la onda de tierra es considerablemente mayor que el visual, y puede llegar a ser de varios miles de kilómetros, dependiendo de la potencia de la emisora. En igualdad de condiciones, el mayor alcance se obtiene cuando la onda se propaga sobre agua salada.







Comunicación por onda de espacio. Existe una zona en la atmósfera, denominada ionosfera, que presenta características muy interesantes para las ondas de radio. La altura de dicha zona varía con la hora del día, y puede presentar varias capas de similares características.



Alcance de las transmisiones en la banda de radiodifusión en MF. Dicho alcance se ve influido por la diferencia de alturas entre antenas transmisora y receptora.

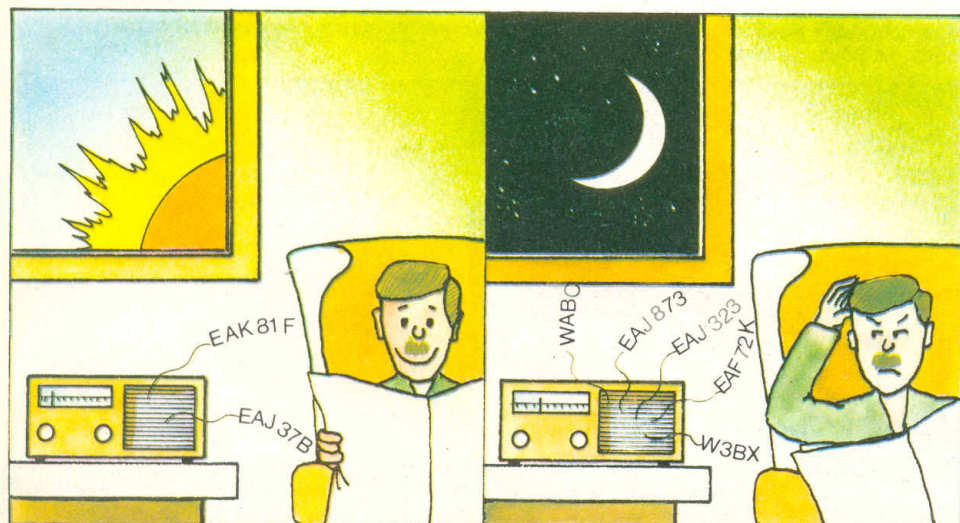
predictibles. Además, como en esas frecuencias la onda de tierra tiene gran alcance, para nuestros efectos es la única que puede considerarse. En la banda de OM, la onda de espacio no regresa a la tierra durante el día; sin embargo, sí lo hace por la noche, debido principalmente a que la altura de

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. Es por esta razón que las emisoras que transmiten en las bandas de 16, 19, 25 e incluso la de 31 metros, se reciben mejor durante el día que durante la noche, mientras que con el resto de las bandas de radiodifusión en OC ocurre justo lo contrario, dándose la mejor recepción durante la noche.

De cualquier forma, la recepción de emisoras en OC es, en general, muy aleatoria, y desde luego en ningún caso podemos considerar que vaya a ser en alta fidelidad, aparte de por el exiguo ancho de banda transmitido, por la inseguridad de recibir una cantidad de señal suficiente como para escuchar con cierta regularidad una transmisión. Por contra, pueden recibirse (dentro de las condiciones comentadas) emisoras que se encuentren a más de 5.000 kilómetros de distancia, lo que también para algunos puede ser un aliciente. Sólo hay que

Las señales de las emisoras de OM se ven afectadas por las capas de la ionosfera. Así, durante el día, apenas si tienen efecto alguno sobre la propagación de las mismas. De noche, sin embargo, pueden conseguir alcances muy grandes, con lo que el número de emisoras que podremos sintonizar será muy elevado, aunque a veces la calidad sonora no sea muy buena.





ver el gran número de radioaficionados que existen hoy día, y cuya meta primaria es *establecer* una comunicación con un punto lejano, independientemente de la *calidad* del enlace.

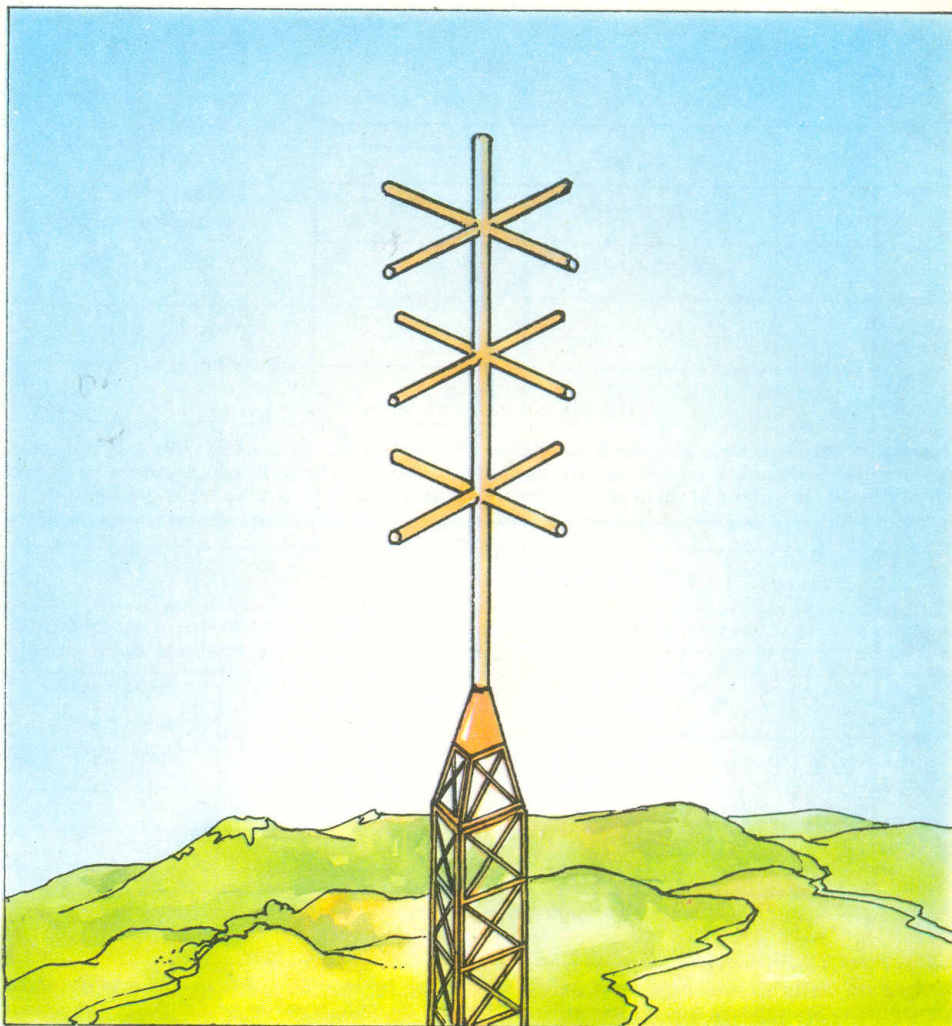
## La propagación en VHF

Hasta aquí no hemos comentado nada de las características de propagación de las frecuencias muy altas, donde se encuentra la banda de radiodifusión en FM. La onda de tierra es ahora atenuada muy rápidamente, por lo que no podemos contar con ella para la comunicación. Por otro lado, la onda de espacio no es reflejada por la ionosfera, y escapa fuera de la atmósfera, imposibilitada de volver a la superficie de la tierra, con lo que tampoco nos resulta de ninguna utilidad.

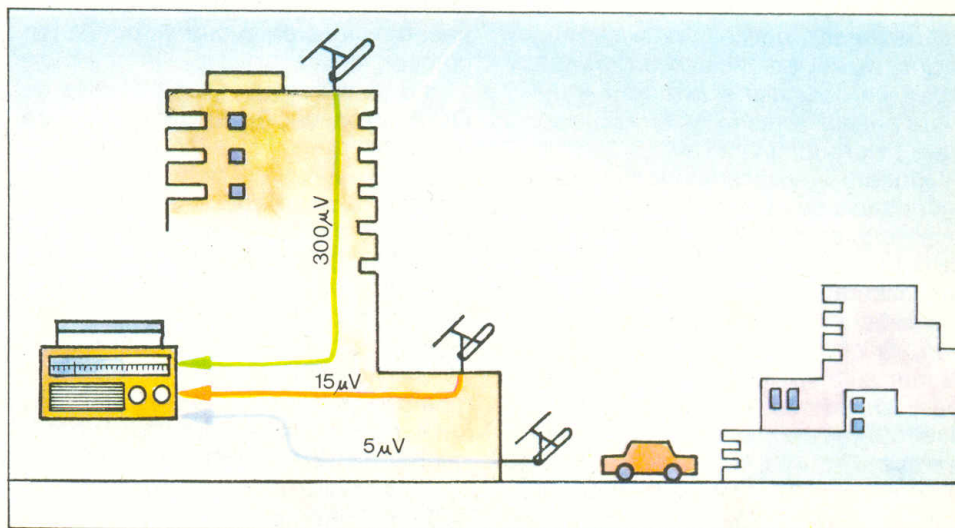
Así, pues, la única forma de comunicación que persiste es la que se realiza por medio de la onda visual, con lo que el alcance de este tipo de emisoras es muy limitado, y depende en gran manera de las alturas sobre el terreno a las que se encuentren las antenas transmisora y receptora, y casi nunca por la potencia con que transmiten las emisoras (superando un cierto valor). Por esta razón, la mayoría de las emisoras de la banda de FM son de una potencia relativamente baja, y sus antenas se encuentran colocadas lo más elevado que se pueda sobre el terreno circundante.

Una antena transmisora situada en lo alto de un edificio de 15 plantas (unos 40 ó 50 metros de altura) puede tener un alcance máximo de unos 40 kilómetros, mientras que si la misma antena se coloca sobre una elevación del terreno que se encuentre a unos 1.000 metros por encima de éste, pueden lograrse fácilmente alcances de 140 kilómetros. Para conseguir un alcance de 200 kilómetros, se requeriría situar la antena transmisora a más de 2.000 metros sobre el terreno circundante.

Como vemos, esta banda podrá estar ocupada por emisoras netamente locales, cuyo radio de acción medio raramente superará los 100 kilómetros de distancia desde la antena transmisora. Puesto que la propagación se efectúa por onda visual, su atenuación será pequeña, ya que es el aire el medio por el que viaja. Además, las condiciones de propagación apenas si variarán (los fenómenos atmosféricos tienen poca influencia sobre la propagación de ondas propiamente dicha, aunque puedan tenerla sobre las condiciones de recepción), con lo que lograremos una comunicación segura,



Las antenas de los transmisores de MF suelen situarse en lugares predominantes y lo más elevados posible sobre el terreno circundante.



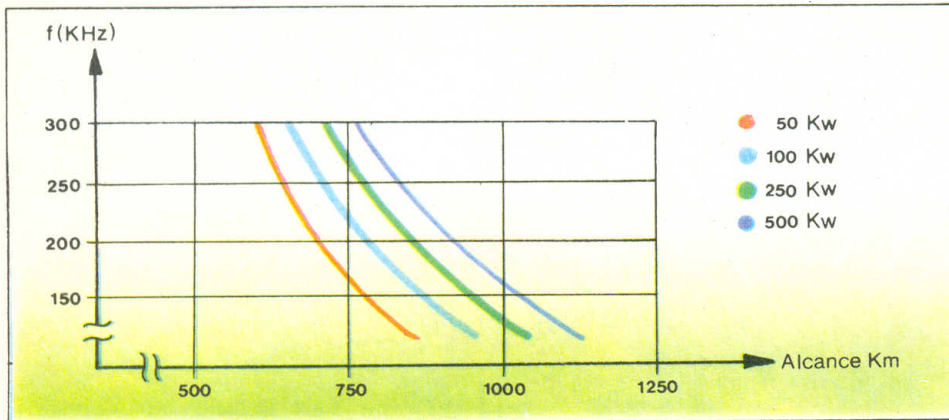
La cantidad de señal recogida por una antena receptora depende en gran manera de la altura sobre el suelo de la misma. Siempre debe procurarse colocarla lo más alto y despejado posible.

aunque de relativamente corto alcance.

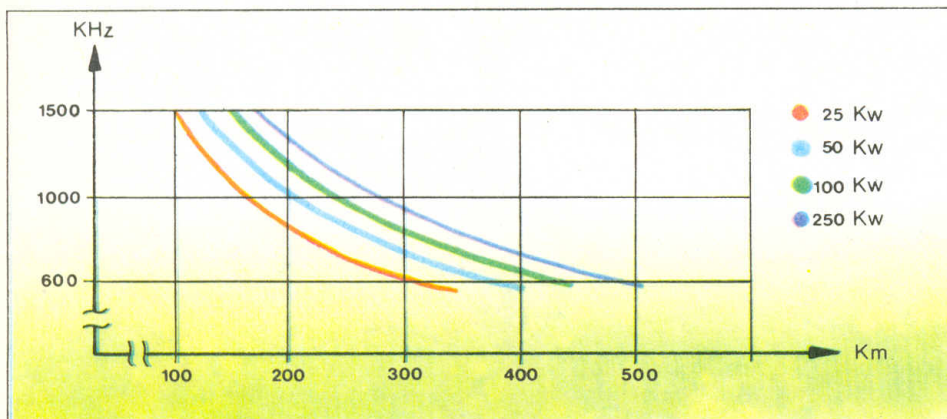
Ya dijimos antes, que el alcance «visual» es relativo a lo que es, o no es opaco para las ondas de radio. Así, en las zonas urbanas, por ejemplo, las

edificaciones no son estrictamente opacas, salvo las que poseen una estructura metálica densa, que son verdaderas «pantallas» para la señal de radio. De todas formas, se dan también fenómenos de reflexión (sobre el





Alcance de distintas emisoras en la banda de OL, en función de la frecuencia y la potencia transmitida. Se supone que el campo recibido es de  $400\mu\text{V/m}$ , la propagación es sobre terreno firme, la antena transmisora es de  $\lambda/4$ , y es indiferente que se trate del día o de la noche.



Alcance de distintas emisoras en la banda de OM, en función de la frecuencia y la potencia transmitida. Se supone que el campo recibido es de  $400\mu\text{V/m}$ , la propagación es sobre terreno firme, la antena transmisora es de  $\lambda/4$ , y es de día.

propio terreno o sobre determinadas edificaciones), por lo que la comunicación es segura incluso en grandes urbes, en particular si la antena transmisora está cercana y en situación elevada predominante.

Finalmente, destaca el hecho de la importancia que tiene el que la antena receptora esté situada en un lugar elevado y despejado (igual que la transmisora), aspecto sobre el que podemos tomar nosotros mismos acción, ya que las transmisoras no podemos variarlas. Si situamos la antena receptora a tan sólo 5 metros sobre el nivel del terreno, la señal que obtendremos será tres veces mayor que a ras del suelo, mientras que si conseguimos ponerla a 50 metros sobre el suelo, la señal obtenida será ¡60 veces! mayor.

## Alcance de las transmisiones

Aunque la distancia a que puede recibirse una determinada emisora depende de infinidad de factores, pode-

mos dar unas cifras aproximadas para hacernos idea de lo que se puede cubrir con ellas.

Como ya sabemos, en las bandas de OC la propagación es muy difícil de predecir, pues la onda de espacio puede encontrarse con condiciones buenas o regulares continuamente cambiantes. Además, depende en gran manera de la antena receptora que tengamos, y de la hora del día y estación del año, por lo que creemos muy aventurado hacer una estimación de alcance seguro. Lo que sí podemos decir es que en toda la península ibérica pueden recibirse programas desde toda Europa, Norte de Africa y Oriente Medio (la mayoría de los Estados transmiten programas en español a distintas horas y frecuencias) e incluso con antenas modestas pero adecuadas se reciben con facilidad programas desde los EE. UU.

Debido al estado cambiante de las condiciones de programación, a nuestro receptor van a llegar señales de amplitud muy variable (independientemente de la modulación contenida en ellas), incluso en el transcurso de

minutos, produciéndose *desvanecimientos* (en inglés, «fading»). Sería muy molesto para el oído estas continuas subidas y bajadas de la señal, por lo que la casi totalidad de los receptores incorporan un circuito llamado de C. A. G. (Control Automático de Ganancia), o *antidesvanecimientos* («anti-fading») que le permite al receptor regular automáticamente la señal de salida para que tenga un valor constante, independiente de la mayor o menor amplitud de la señal que llegue a la antena.

Cuando la transmisión se realiza en OL, las condiciones de propagación por onda de tierra son poco cambiantes, y, por tanto, la recepción será muy constante a cualquier hora del día o de la noche. Una emisora que transmita en una frecuencia de 150 KHz con 100 Kw de potencia en antena, puede dar una intensidad de campo de  $400\mu\text{V/m}$  a 1.000 kilómetros de distancia.  $400\mu\text{V/m}$  es un valor de sensibilidad que prácticamente cualquier sintonizador moderno tiene.

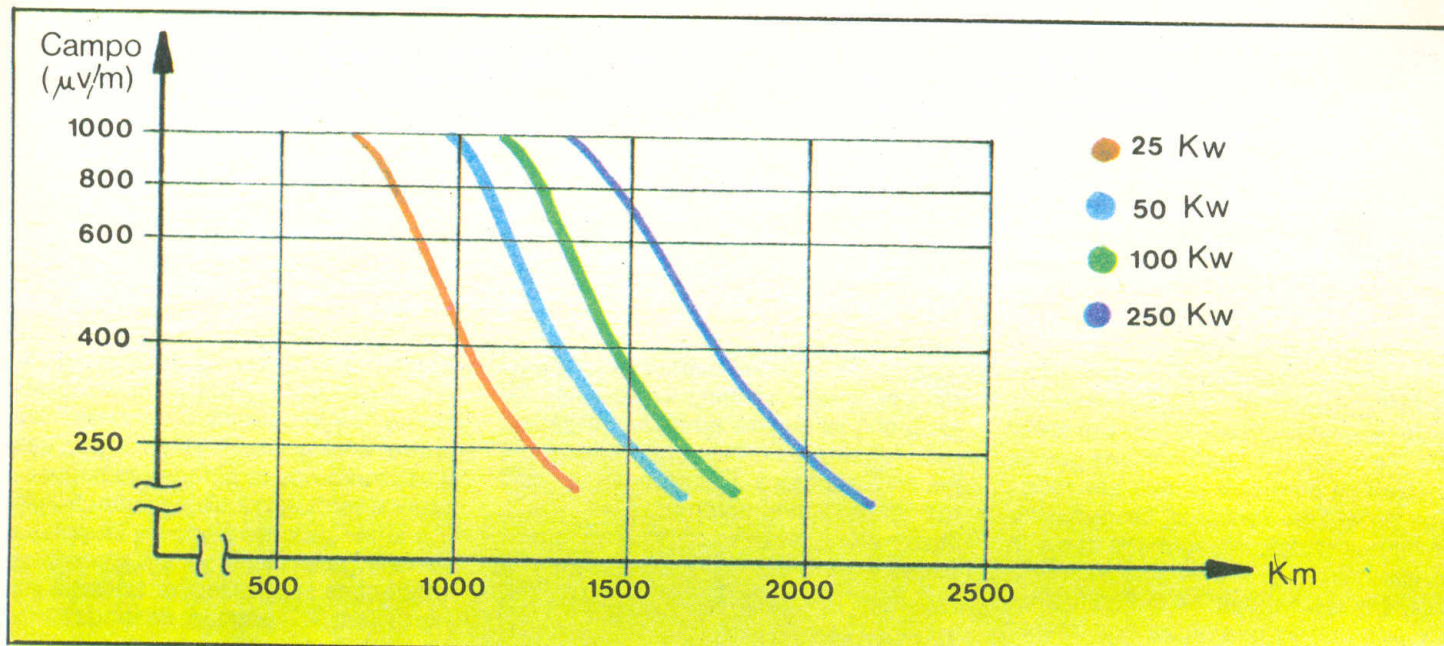
Distancia cubierta y potencia de transmisión no son cantidades proporcionales. Si en lugar de 100 Kw la emisora radiase con 200 Kw (el doble), el alcance para  $400\mu\text{V/m}$  apenas si llegaría a los 1.100 kilómetros (un 10 % mayor alcance). Para que con esos 200 Kw se llegaran a cubrir 1.500 kilómetros, el receptor tendría que llegar a una sensibilidad de unos  $130\mu\text{V/m}$ , lo que ya es más difícil de conseguir.

Cuando nos vamos a la banda de OM, los alcances por onda de tierra se reducen bastante. Por ejemplo, la misma emisora de 100 Kw transmitiendo a una frecuencia de 1.000 KHz tan sólo alcanzaría unos 220 kilómetros para la sensibilidad de  $400\mu\text{V/m}$ . En esta banda, el alcance depende mucho de la frecuencia.

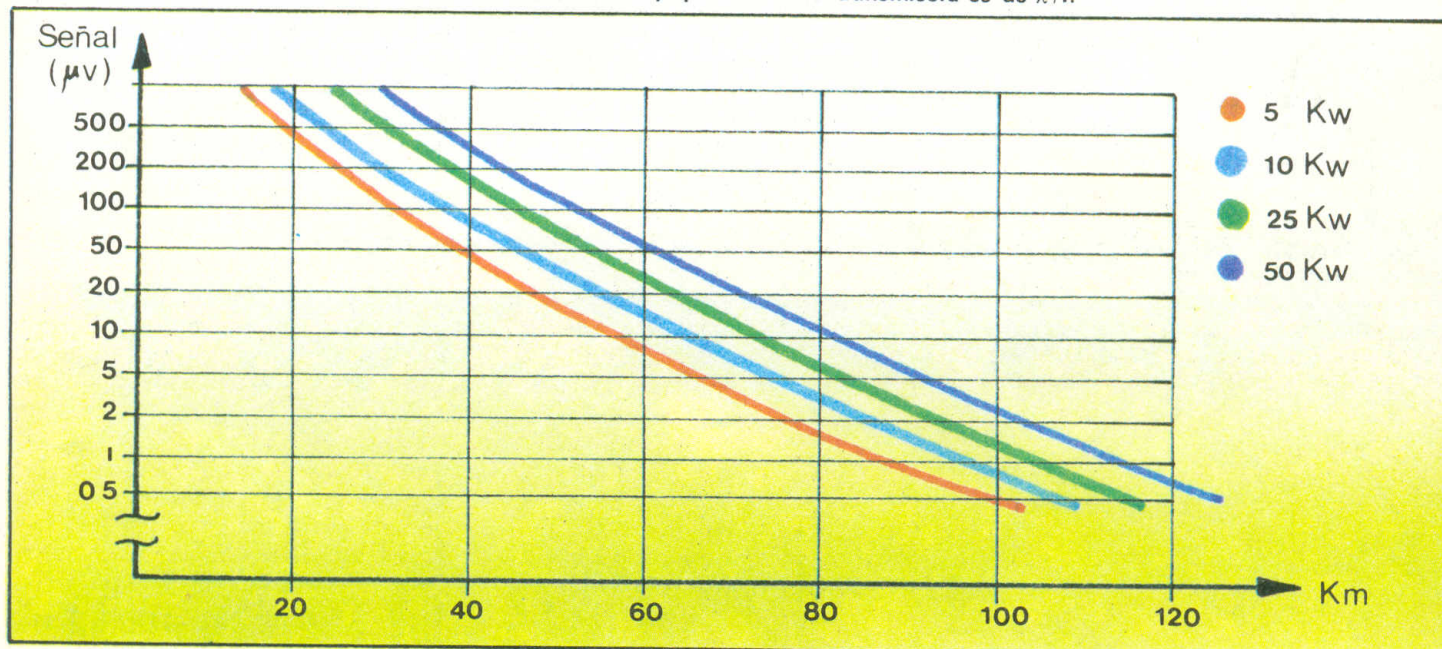
Para la misma potencia de transmisión y la misma sensibilidad, el alcance de 600 KHz sería superior a 850 kilómetros, mientras que para 1.500 KHz llegaría escasamente a 150 kilómetros. Para potencia en antena de 25 Kw, el alcance lógicamente baja, pudiendo estimarlo en 300 kilómetros (a 600 KHz), 180 kilómetros (a 1.000 KHz) y 110 kilómetros (a 1.500 KHz).

La distancia cubierta con la onda de espacio es mucho mayor que con la onda de tierra para la banda de OM, aunque sólo es a partir de la hora que comienza a ponerse el Sol que la propagación por onda de espacio se hace importante. Así, para la sensibilidad de  $400\mu\text{V/m}$  pueden lograrse fácilmente 1.500 kilómetros de alcance con 100





Alcance de distintas emisoras en la banda de OM, durante la noche, en función del campo requerido por el sintonizador y la potencia transmitida. Se supone la propagación sobre terreno firme y que la antena transmisora es de  $\lambda/4$ .



Alcance de distintas emisoras en la banda de MF, en función de la señal requerida en antena por el sintonizador y la potencia transmitida. Se supone la propagación sobre terreno firme, la altura de la antena transmisora es de 50 metros, la frecuencia de transmisión es de 100 MHz, la antena receptora es un dipolo en  $\lambda/2$ , y es indiferente que se trate del día o de la noche.

Kw; con 200 Kw podría llegarse a cerca de 1.700 kilómetros, mientras que con 25 Kw se llegaría hasta 1.100 kilómetros.

Finalmente, para la banda de FM, los alcances son muy distintos. Así, para emisoras que transmitan en 100 MHz y con una potencia de 25 Kw, el alcance depende de la sensibilidad del sintonizador, o mejor, de la mínima señal que necesite el mismo para dar una señal de audio de una calidad mínima (que ya veremos de qué factores depende).

Así, si el sintonizador requiere  $55\mu\text{V}$  en antena, el alcance será de tan sólo 40 kilómetros; si con  $6\mu\text{V}$  tiene sufi-

ciente, el alcance puede llegar hasta 70 kilómetros, mientras que si con  $2,5\mu\text{V}$  le basta para dar una cierta calidad, podremos recibir transmisiones hasta a 90 kilómetros de distancia.

Naturalmente, estos alcances que damos son orientativos, siendo en general válidos para receptores domésticos dotados de una antena adecuada (las de ferrita, o las de varilla, que incorporan los receptores portátiles pueden no ser suficientes). En zonas urbanas, el alcance se reduce en gran manera, aunque se suele compensar con la cercanía de las emisoras. No obstante, no es de extrañar que puedan existir zonas de «som-

bra», a donde sea difícil que puedan llegar las ondas, en particular para la banda FM. La solución sólo puede consistir en emplear una antena adecuada. También en zonas montañosas pueden darse casos parecidos. La vegetación frondosa es un grave inconveniente para la propagación de las señales de FM, hasta el punto de que tan sólo un kilómetro de bosque produce una atenuación del orden de 20 dB, lo que significa que la señal que sale es 100 veces más débil que la que entró. La solución en este caso es elevar la antena receptora por encima de toda vegetación, con lo que podrá conseguirse algo de señal útil.



# Las antenas

**C**UALQUIER onda de radio que nos sirva para establecer una comunicación se desplaza por la atmósfera (o fuera de ella) entre un origen y un destino. Para que la onda hertziana pueda «nacer», y para que pueda ser recogida en el lado receptor, se necesita, en ambos casos, tan sólo una cosa: la *antena*.

En todas las bandas de radiodifusión, que son por las que ahora nos interesamos, la antena está formada siempre por un conductor de forma y dimensiones apropiadas al fin que se persigue. No siempre la antena es un hilo conductor; cuando la frecuencia de la señal de radio cae por las bandas de EHF y SHF no se emplean «cables» para llevarlas hasta la antena

propriadamente dicha, sino que se utilizan las llamadas *guía-ondas*, cuyo aspecto exterior se asemeja a tuberías de secciones rectangulares, siendo los técnicos que las emplean verdaderos «fontaneros», más que especialistas en electrónica. Las antenas, en estos casos, son simplemente las terminaciones, o bocas, de dichas guía-ondas.

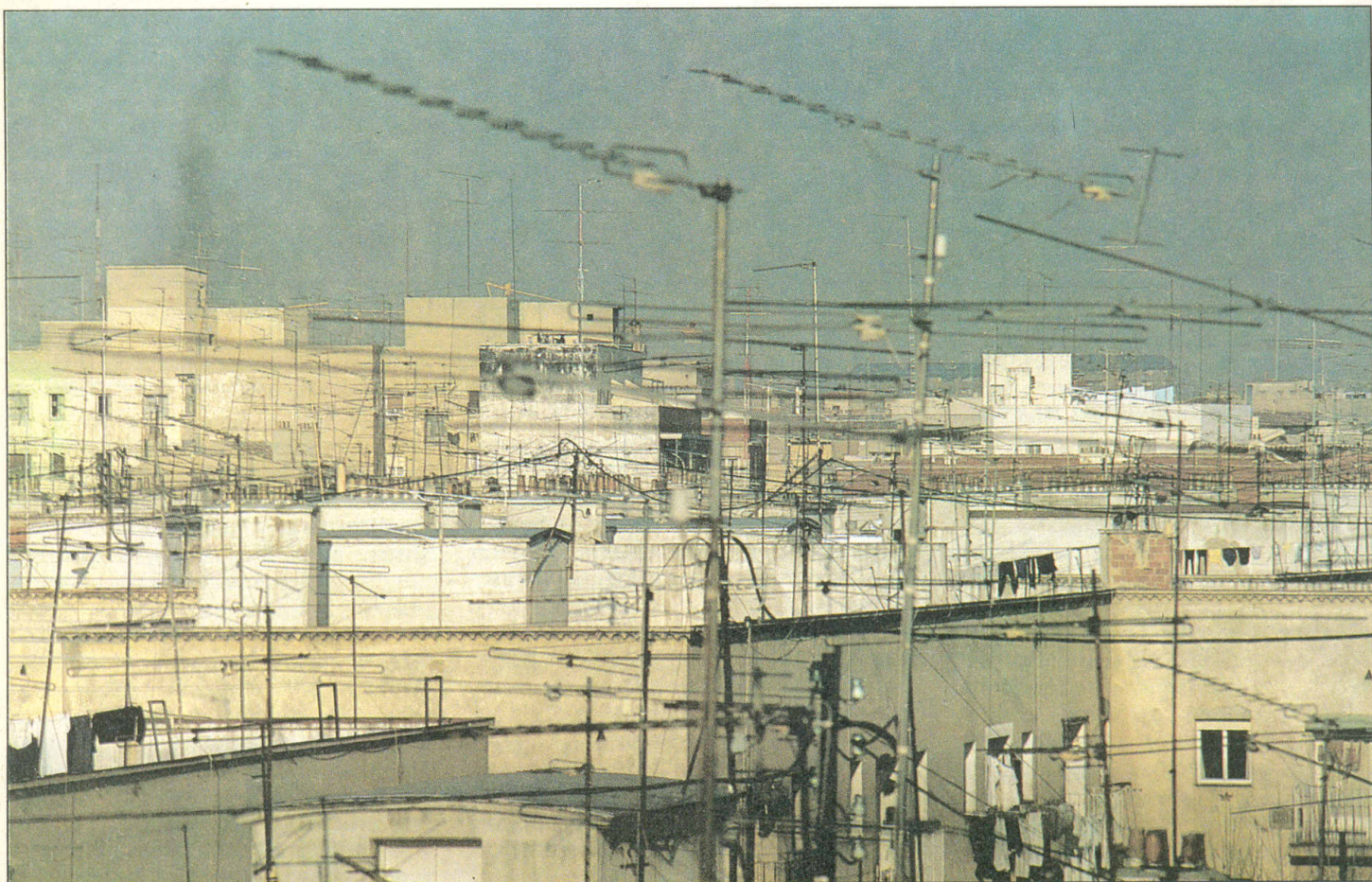
## Dimensiones

Realmente, cualquier hilo conductor puede servir de antena, y de hecho están continuamente ejerciendo dicha función; lo que ocurre es que debido a sus dimensiones (longitud, grosor, forma, etc.), suelen ser unas antenas,

no ya malas, sino pésimas. Para que un conductor pueda ser considerado como antena lo primero que debe hacerse es dimensionarse adecuadamente a la frecuencia de la señal para la que vaya a emplearse. En general, el «tamaño» de la antena (ya hablaremos de formas) va en relación directa con la longitud de onda de la señal a manejar, que como ya sabemos está relacionada con la frecuencia según la expresión:  $\lambda$  (longitud de onda) =  $v$  (velocidad de propagación) /  $f$  (frecuencia).

Para hacernos una idea del tamaño ideal de una antena sólo hay que ver las longitudes de onda de las bandas de radiodifusión, que son sobre las que nos vamos a centrar. Así, para la OL (150 a 300 KHz) las longitudes

**Elementos imprescindibles para captar las ondas de radio, las antenas suelen colocarse en el exterior de los edificios y generalmente en lugares altos y despejados.**





de onda van de 1.000 a 2.000 metros; para la OM (525 a 1.650 KHz), de 182 a 571 metros; en OC, la longitud de onda viene dada por la misma nomenclatura de la banda (16, 19, 25, ..., 90 metros), mientras que para la banda II de VHF (87 a 108 MHz), las longitudes de onda varían desde 2,78 hasta 3,45 metros.

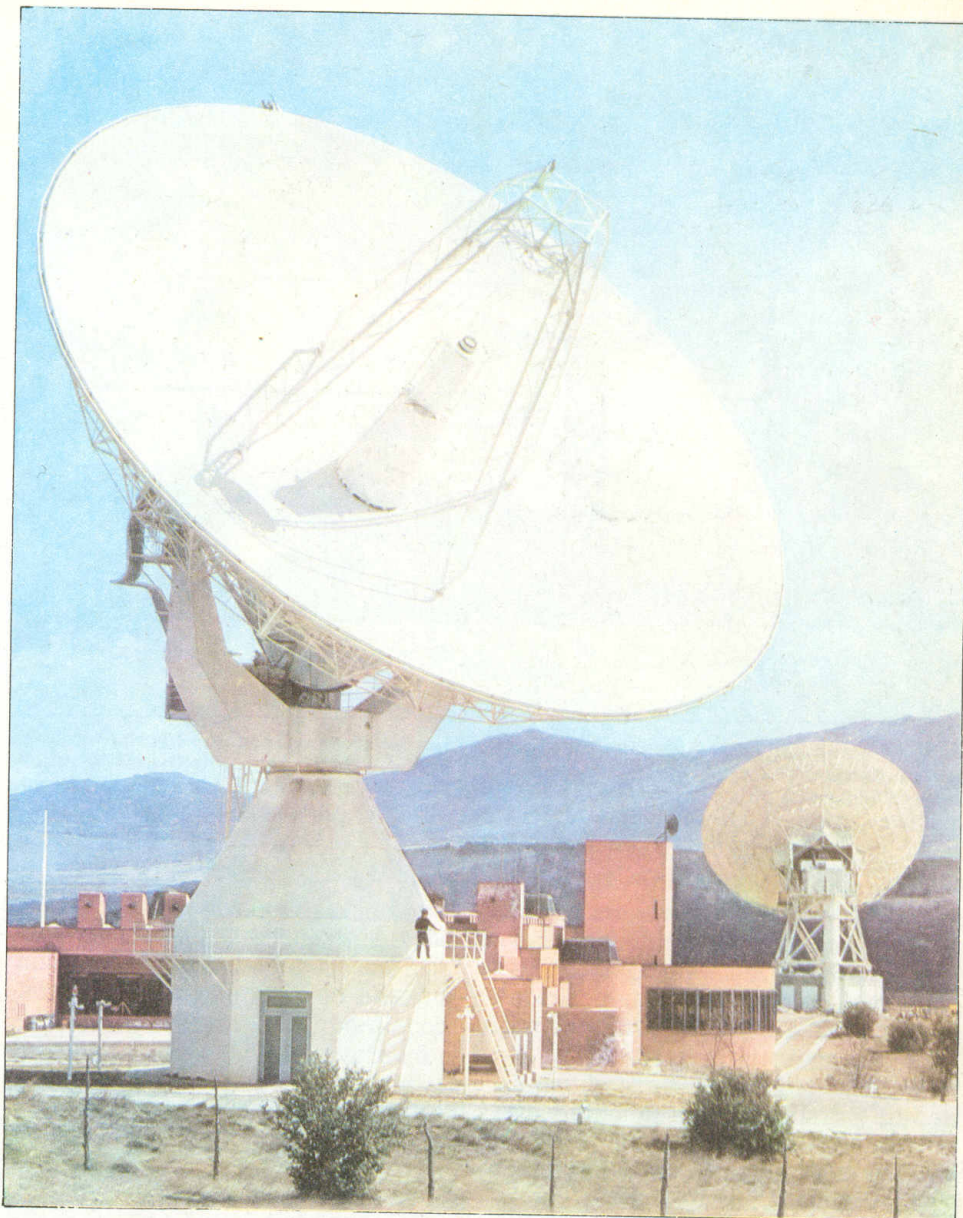
Para que una antena de transmisión comience a ser efectiva debe tener una longitud de un cuarto de la longitud de onda de la señal que va a enviar al aire. Así, las antenas para la banda de OL deberían medir entre 250 y 500 metros, y para la OM entre 45 y 143 metros; para la OC y la banda de FM suelen emplearse antenas más largas, próximas a una semilongitud de onda, de forma que en OC oscilarán entre 8 y 45 metros, mientras que para VHF, banda II, alrededor de 1,5 metros.

Una propiedad interesante que poseen las antenas es que se comportan en forma idéntica tanto a la hora de transmitir (enviar energía electromagnética al espacio), como a la de recibir (recoger dicha energía). Cualquier antena que se utilice para una transmisión, puede emplearse con igual rendimiento para recibir señales de la misma frecuencia. Los radioteléfonos portátiles utilizados en comunicaciones móviles (aficionados, policía, servicios de urgencia, etc.) utilizan una sola antena, que conectan internamente al transmisor cuando se pulsa la tecla que permite emitir, o al receptor cuando el equipo se está utilizando como tal.

## Directividad

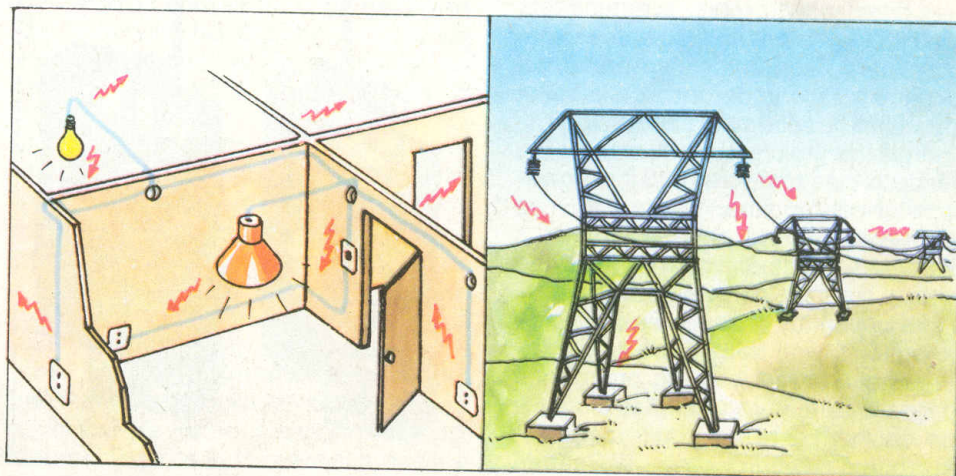
Ya hemos dicho que una antena es capaz de radiar energía al aire. La forma más simple de una antena es un hilo rectilíneo. Nos surge una pregunta: ¿radia esta antena energía al espacio por igual en cualquier dirección? La respuesta es no; cuando la antena tiene unas dimensiones comparables con la longitud de onda de las señales utilizadas (por ejemplo, las antenas de longitud de cuarto de onda que antes comentamos).

Existe una dirección en la que nuestra antena no radia energía, que es precisamente la de su eje, la línea que la contiene. Por contra, existe una dirección privilegiada, en la que la radiación es máxima, y es aquella perpendicular a la anterior. Realmente, no es una dirección única, sino más bien un abanico de ellas, contenidas todas en un plano perpendicular a la antena. Entre ambas direcciones, la radiación de la

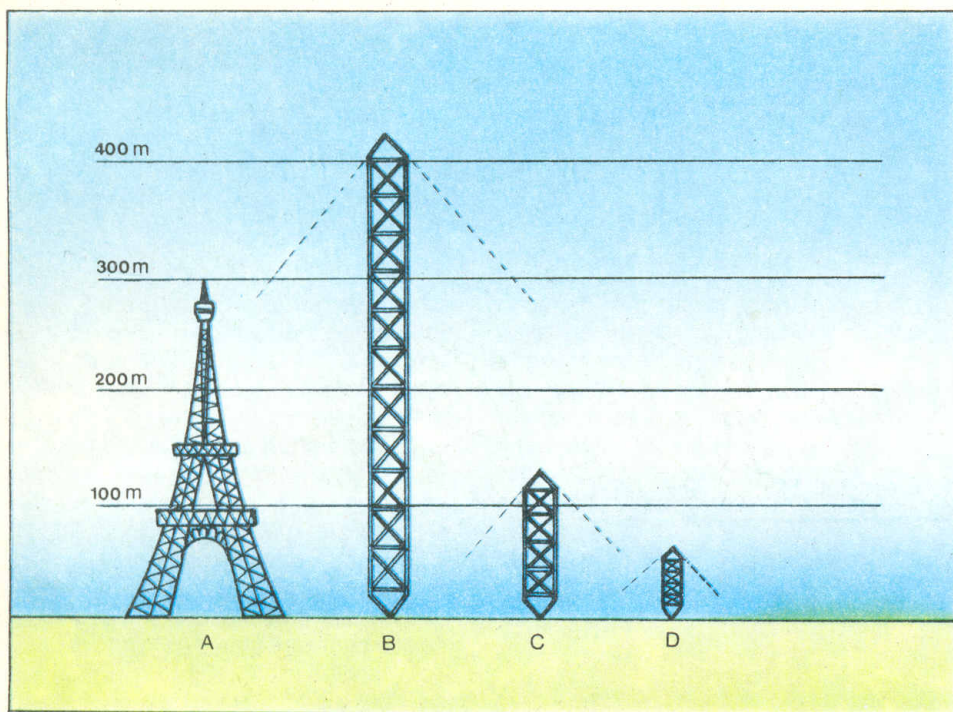


Quando se emplean frecuencias de transmisión muy elevadas (superiores a 1 GHz) los cables que las manejan adoptan peculiares características, convirtiéndose en las llamadas guías-ondas, y las antenas se hacen sumamente aparatosas, como las aquí mostradas.

Todos los conductores ejercen funciones de antena, sea cual sea su dimensión o forma. Las redes de distribución eléctrica manejan «señales» cuya frecuencia es de 50 Hz, a la que corresponde una longitud de onda de 6.000 kilómetros, por lo que incluso los conductores más largos son pequeños comparados con dicha longitud, y la efectividad de las «antenas» es muy pobre.







**Tamaño comparativo de antenas.** Aquí se muestran las dimensiones que habrían de tener unas antenas en  $\lambda/4$  para distintas frecuencias. En el caso de OL, para 180 KHz (B), la antena debería tener una altura superior a la de la torre Eiffel (A). Para la OM, las dimensiones son inferiores, como puede verse en la antena para 600 KHz (C) y para 1,5 MHz (D).

antena varía desde el máximo al mínimo (cero) de una forma que depende de varios factores, como la longitud real de la antena, su posición respecto de la superficie de la tierra, su altura sobre la misma, etc.

Esta propiedad, denominada *directividad* de la antena, que a primera vista podría parecer un inconveniente, en la práctica puede resultar útil. Por ejemplo, si ponemos nuestra antena vertical sobre el suelo, no radiará hacia el firmamento. Pero ¿para qué queremos emitir en esa dirección, si en la práctica los receptores van a estar sobre la superficie terrestre? Sería una energía que desaprovecharíamos con vista a los fines que perseguimos. En muchos casos, incluso se propicia esta directividad propia, acentuándola aún más. Por ejemplo, una antena vertical sobre la superficie terrestre de longitud igual a la de onda de la señal a transmitir radia más del 90 % de la energía dentro de un ángulo que va desde la horizontal hasta 30° por encima de la misma. Realmente, se aprovecha bien la energía radiada. Esta acusada directividad en el plano vertical no es conveniente para el plano horizontal cuando la emisora es de radiodifusión. Muy al contrario, interesa que la radiación de energía en dicho plano lo sea hacia todos los puntos del horizonte, en todas direcciones, que sea *omnidireccional*. Cuando

la antena es vertical, como antes, no existe problema en este sentido, pues radia por igual en cualquier dirección. Tan sólo en algunos casos muy con-

**Las antenas presentan idénticas características tanto al transmitir como al recibir. Por eso, los radioteléfonos portátiles sólo incorporan una única antena, que, conectada adecuadamente al circuito interno, realiza las funciones de transmisora y receptora, según se requiera.**



cretos puede interesar una cierta directividad en el plano horizontal. Por ejemplo, cuando la emisión se realiza para cubrir una determinada zona, región o país, como ocurre con los programas de OC, donde desde un punto se pretende enviar una señal de radio para una determinada audiencia, que sólo va a interesar en una zona concreta. Cuando se trata de conseguir esta directividad se recurre al empleo de varias antenas o *radiadores*, que pueden ser *activos* (que actúan como tales antenas) o *pasivos* (que actúan sólo modificando la directividad), que combinados de forma y posiciones adecuadas dan las características deseadas. Un ejemplo cotidiano de este efecto lo tenemos en las antenas de recepción de TV, formadas por varios elementos, y de tal forma constituidas, que a mayor número de elementos, mayor directividad presentan.

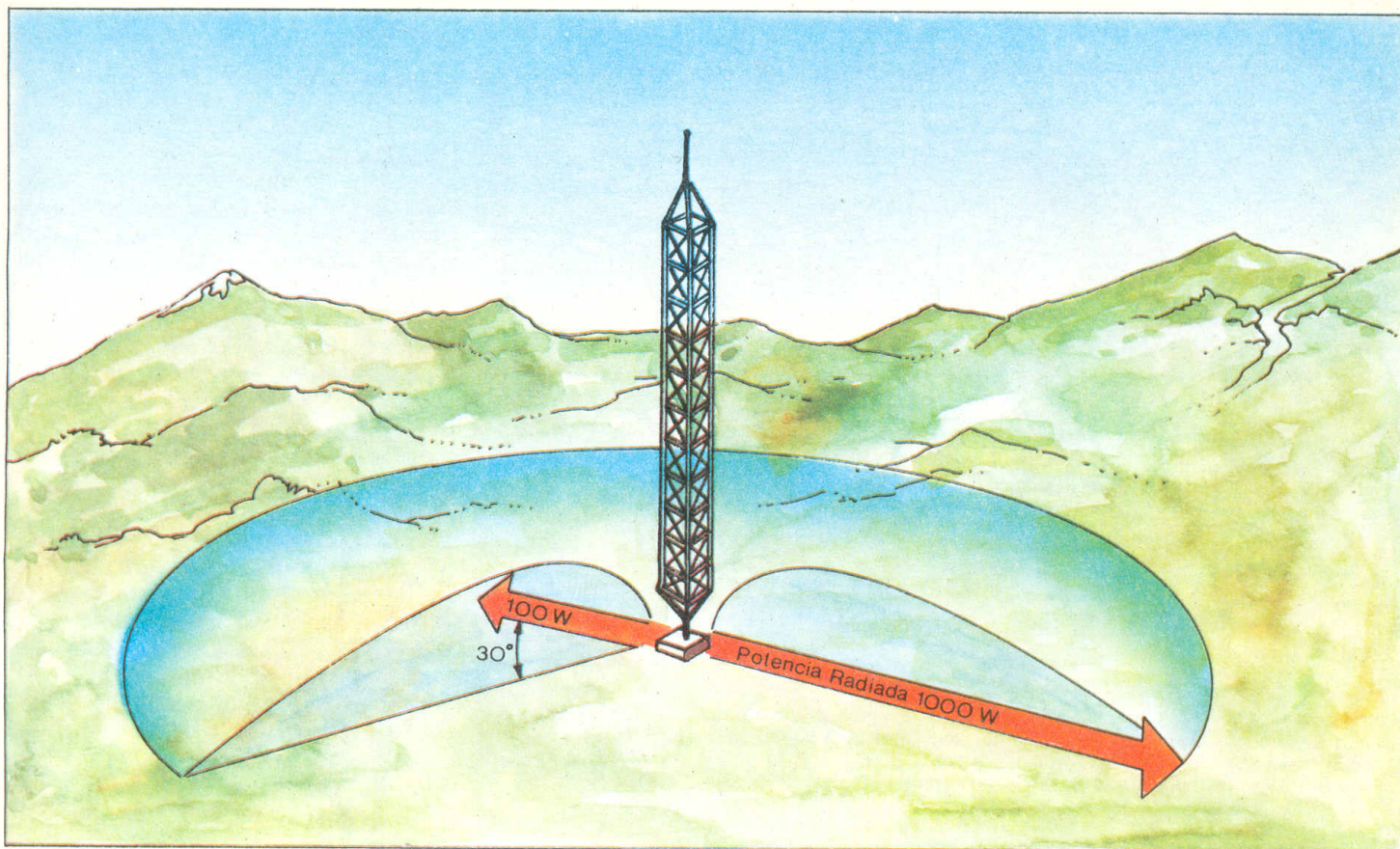
Todas estas propiedades direccionales de las antenas también son característica común tanto para las transmisoras como para las receptoras. La antena de TV que acabamos de comentar la usamos como receptora; pero con iguales propiedades de directividad la podríamos utilizar para emitir las señales apropiadas. Esta dualidad transmisora-receptora es constante común en todos los aspectos que se puedan contemplar.

## Tipos de antenas

Aquí podemos hacer dos grandes grupos, que nos relacionan la longitud física de la antena con la longitud de onda de la señal de radio a recibir. Estos grupos son los de las antenas *periódicas* y las *aperiódicas*.

Las antenas *periódicas* tienen un tamaño físico comparable con el de la longitud de onda que han de recibir. El término «comparable» significa que su longitud será, al menos, del orden de una cuarta parte de la de onda a recibir. Esto permitirá a la antena *resonar* con la señal que capta, multiplicándose la efectividad de la antena. Todos estamos acostumbrados a utilizar el término «resonancia». Si disponemos de una cuerda de un par de metros de longitud, y sujetamos uno de sus extremos en el pomo de una puerta, por ejemplo, cuando el otro extremo le cogemos con la mano y hacemos un movimiento de vaivén hacia arriba y abajo, todos sabemos que con un determinado ritmo podemos conseguir que la cuerda ondule de una forma regular. Habremos puesto en *resonancia* el ritmo de nuestra mano





Una antena verticalmente dispuesta sobre el terreno radia por igual hacia cualquier punto del horizonte; sin embargo, la radiación disminuye cuando se consideran ángulos sobre el horizonte. Verticalmente, la radiación es nula.

con la frecuencia propia de la cuerda. Esto mismo ocurre con las antenas. Por otro lado, las antenas *aperiódicas* tienen un tamaño físico que no tiene relación con la longitud de onda a recibir, siendo por lo general de tamaño mucho más pequeño que ésta. Por ejemplo, resulta raro encontrar una antena para coche que tenga más de 2 metros de larga, tamaño muy pequeño comparado con las longitudes de onda utilizadas en la OM, que, como sabemos, están comprendidas entre 182 y 571 metros.

Las antenas periódicas suelen denominarse según la relación existente entre su longitud y la de onda que van a recibir. Esta última suele representarse con la letra griega  $\lambda$  («lambda»). Así, existen las antenas en  $\lambda/4$  (lambda cuartos) o de *cuarto de onda*, cuya longitud es la cuarta parte de la de onda de la señal a recibir; las de  $\lambda/2$  (lambda medios) o de *semilongitud de onda*; y muchas otras, como la de  $3/8 \lambda$ ,  $5/8 \lambda$ , etc., cada una con sus características propias.

### Antenas prácticas

A pesar de que se adivina una preferencia por las antenas de tipo perió-

dico, éstas presentan un gran inconveniente; que sólo se aprovechará al máximo su efectividad para una determinada longitud de onda, o todo lo más, para una banda muy estrecha alrededor de la misma. Esto resulta un inconveniente para emplearlas en la banda de OM, por ejemplo, donde se encuentran longitudes de onda desde 182 hasta 571 metros. Ninguna antena periódica será útil para cubrir la banda entera. Además, está el inconveniente del tamaño físico, pues una antena en  $\lambda/4$  (que es la más corta) habría de tener una longitud de casi 150 metros para uno de los extremos de la banda. No digamos ya las dimensiones que se obtendrían si las emisoras a recibir estuvieran en la banda de OL.

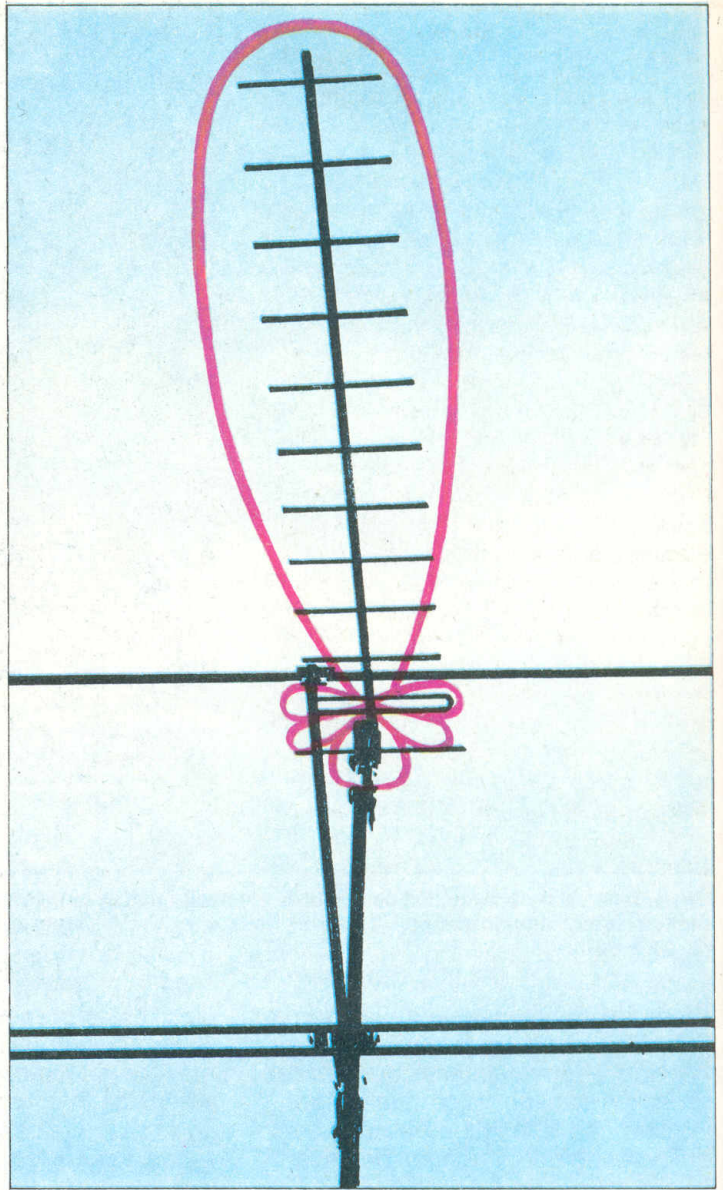
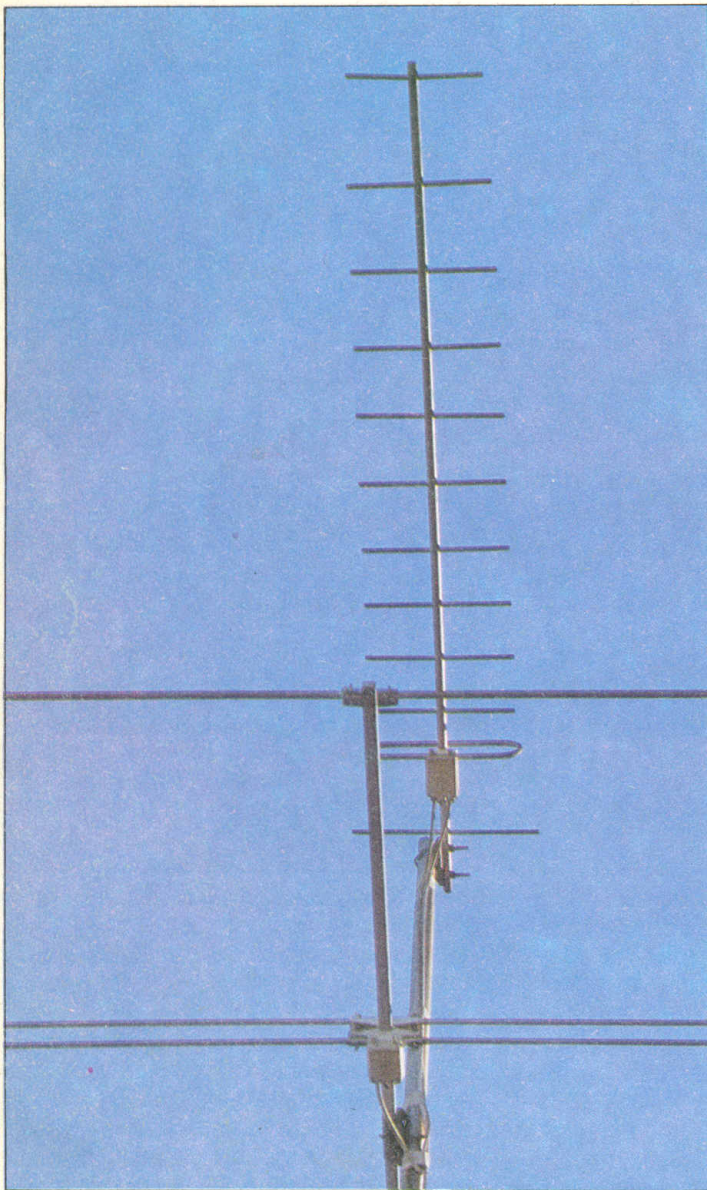
Así, pues, desechamos para las bandas de radiodifusión de OM y OL las antenas de tipo periódico. Para estas bandas, la mejor antena que podemos recomendar es la constituida por un hilo lo más largo que se pueda, y colocado lo más elevado posible sobre el suelo: cuanto más largo, más señal nos llevará al sintonizador; cuanto más elevado sobre el suelo, menor cantidad de ruido captará. Además, debe colocarse lo más alejada posible

de fuentes de ruido eléctrico, como redes de distribución eléctrica, transformadores, etc. La posición del hilo no tiene mucha importancia, puesto que su longitud será muy pequeña en comparación con la longitud de onda de la señal a recibir; en estas condiciones, no presenta apenas directividad, y podrá situarse en vertical, en horizontal, en zig-zag o tirado por el suelo.

Puede emplearse hilo eléctrico de cualquier sección, aislado o no, puesto que la corriente que va a circular por él va a ser pequeñísima. También pueden emplearse con igual efectividad las antiguas antenas de forma espiral, que pueden adaptarse a cualquier longitud con sólo estirarlas un poco. Hace treinta o cuarenta años resultaban imprescindibles para hacer funcionar cualquier receptor de radio. Hoy día no han perdido ni un ápice de su eficacia; lo que ha ocurrido es que los sintonizadores han multiplicado su sensibilidad, y ya no parecen ser útiles. Pero no es así; si aún disponemos de alguna, podemos usarla con plena confianza.

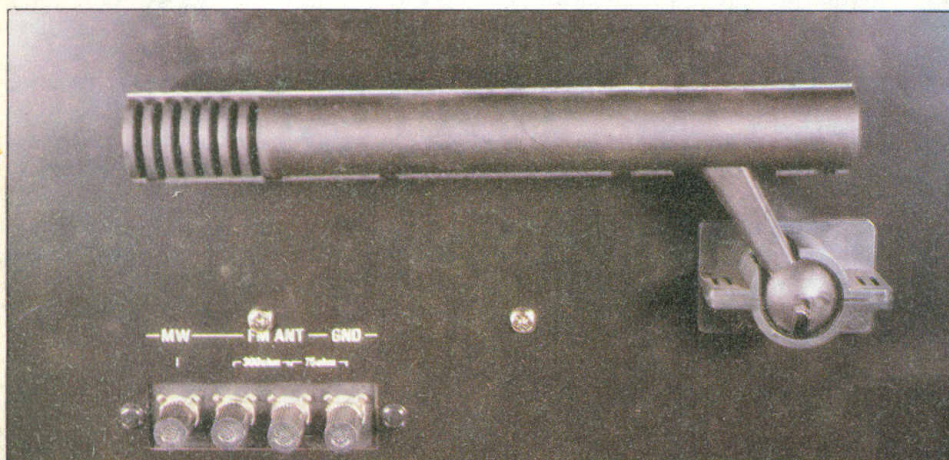
Es conveniente fijar la antena en sus extremos por medio de aisladores (de porcelana, por ejemplo), para que su





La directividad de una antena puede hacerse más acusada con la ayuda de los llamados elementos pasivos. Un caso típico lo tenemos en las antenas para las bandas altas de TV (UHF).

La casi totalidad de sintonizadores modernos incorporan una antena de ferrita, con lo que se consigue gran rendimiento sobre todo en OM y OL, pudiendo sustituir en algunos casos a la antena exterior.



efectividad sea mayor. Igualmente debe conectarse la toma de tierra del sintonizador (si es que la lleva) a una buena masa eléctrica, como por ejemplo la toma de tierra de nuestro edificio (atención: no conectar *nunca* la borna de tierra a uno de los polos de la red de distribución eléctrica, pues podría producirse un cortocircuito o una peligrosa pérdida de aislamiento). La casi totalidad de los sintonizadores modernos incorporan hoy día una antena de gran efectividad. Consiste en una barra de un material llamado *ferrita*, que se fabrica en distintas formas y tamaños. Lo más corriente es que vengan en forma plana o redonda, y siempre macizas. Su longitud puede variar entre 6 y 20 centímetros, siendo las redondas de hasta 10 milímetros de diámetro, y las planas de unos 4



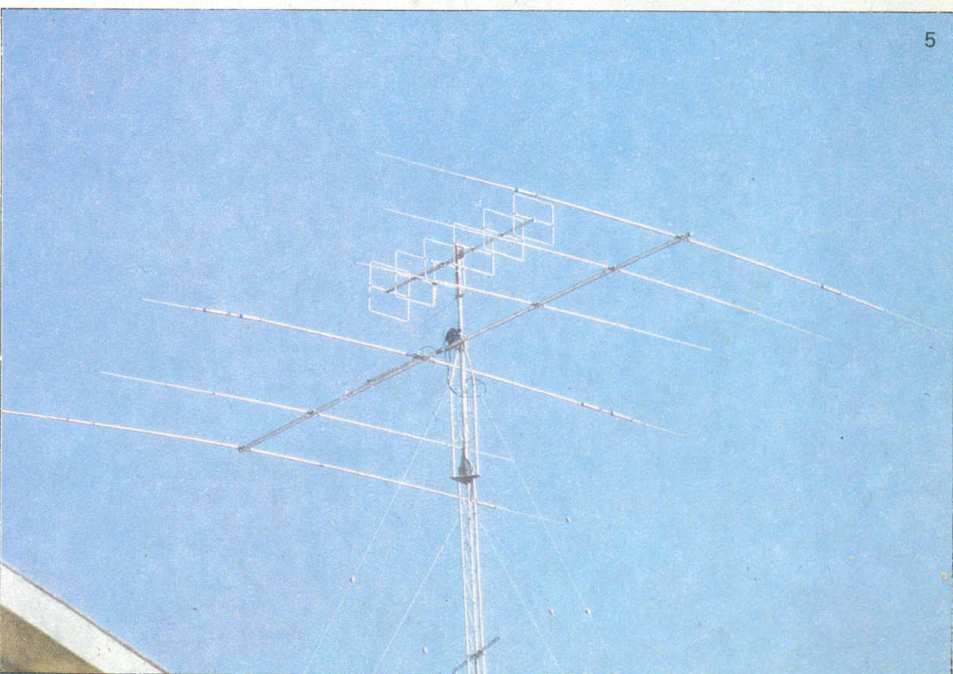
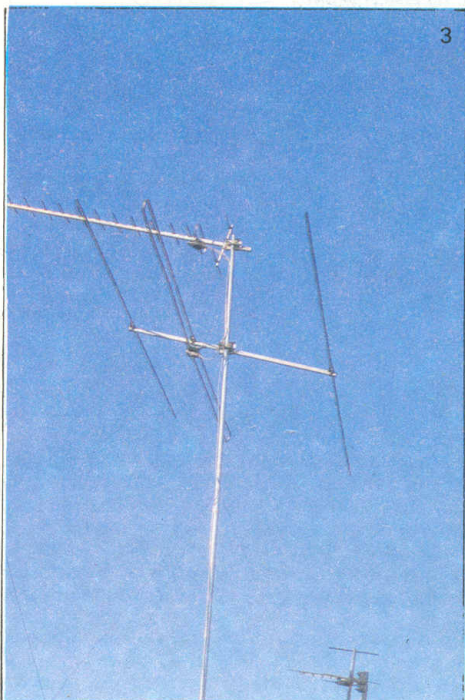
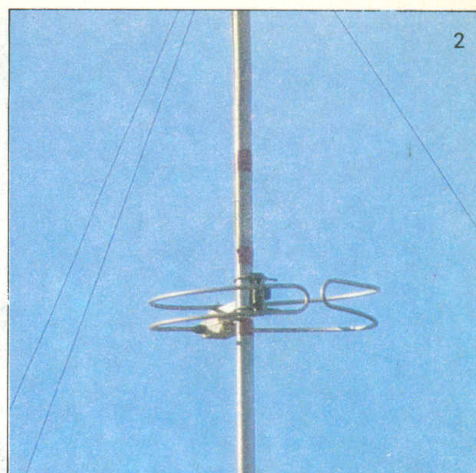
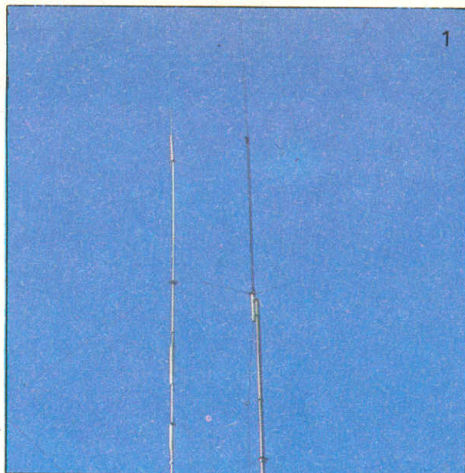
**Varias formas prácticas de antenas. 1) Antena con planos de tierra artificiales. 2) Antena dipolo plegado circular. 3) Antena VHF de tres elementos. 4) Antena de 27 MHz de coche. 5) Antenas para las bandas de aficionado.**

milímetros de grueso y un ancho de hasta 2 centímetros. Son de color grisáceo, y a veces van forradas de plástico (aunque la ferrita es un buen aislante eléctrico); son duras, pero muy frágiles, rompiéndose muy fácilmente.

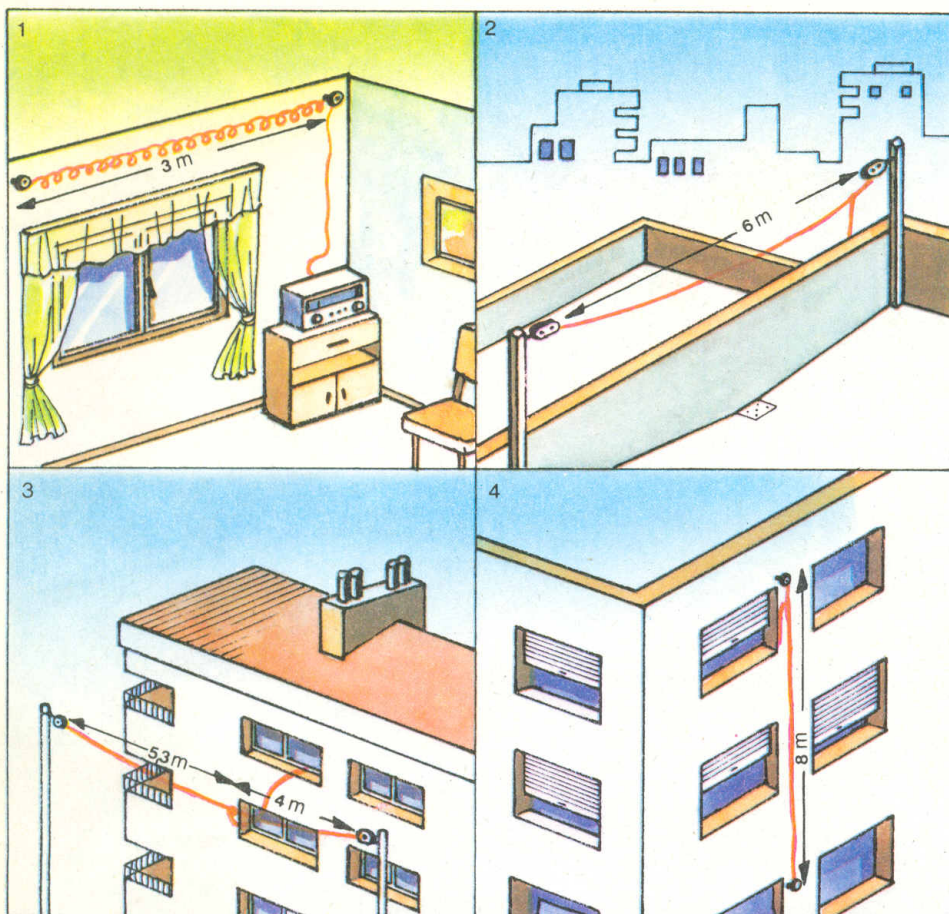
La ferrita es un material con unas propiedades magnéticas muy acusadas (se emplea modernamente en equipos magnetofónicos). Debido a su baja reluctancia (término magnético equivalente a la impedancia eléctrica) es capaz de concentrar a su través las ondas electromagnéticas (que, como su propio nombre indica, tienen dos componentes, una eléctrica y otra magnética). Si sobre una barra de ferrita se arrolla una bobina, sobre ella aparecerá una cantidad importante de señal recogida del espacio; si esta señal se introduce al sintonizador, la ferrita habrá hecho las veces de antena, y de aquí su utilidad.

Una barra de antena de ferrita presenta una directividad muy acusada, de forma que apenas recoge las señales que tengan la misma dirección de su eje principal. Por esta razón, los receptores portátiles deben ser a menudo «orientados» en determinada dirección, para que puedan captar una cantidad suficiente de señal. La dirección privilegiada es la transversal al eje principal de la barra. La eficacia de la barra de ferrita disminuye conforme aumenta la frecuencia de la emisión, de forma que será especialmente útil para las bandas de OL y OM, y menos para la de OC. Un sintonizador que incorpore una barra de antena de ferrita no necesitará, normalmente, de antena exterior, salvo que se encuentre muy alejado de las emisoras o en zona de «sombra» o señal débil, en cuyo caso será imprescindible el uso de una antena de hilo como la anteriormente descrita.

Para la banda de OC no resulta sencillo recomendar un tipo de antena útil para cubrir todas las bandas. Antenas de tan sólo 5 ó 6 metros de largo pueden resonar en determinadas bandas (como las de 16, 19 y 25 metros), con lo que su eficacia puede mejorar mucho con relación a la obtenida en otras bandas, creándose un desequilibrio. Por otro lado, al ser la antena de dimensiones apreciables en relación a la longitud de onda de la señal recibida, las características de directividad

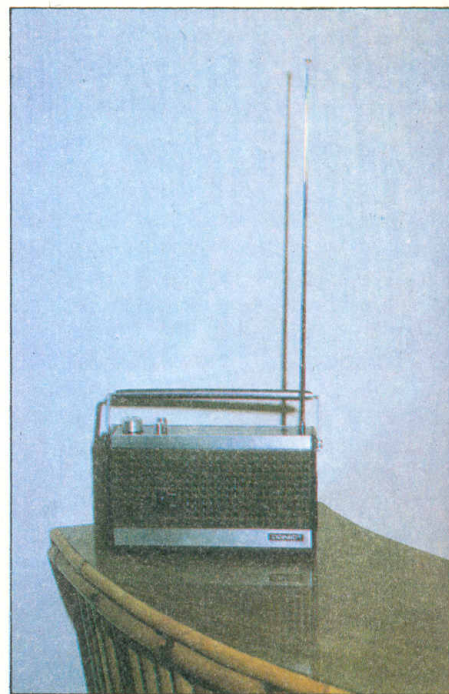






La instalación de una antena doméstica para la recepción de OM y OL es sencilla, y puede ser realizada por uno mismo. 1) Antena interior. Puede utilizarse hilo monofilar o antena de espiral. 2) Antena exterior. Puede montarse sobre la terraza de una casa. Debe procurarse que sea lo más larga posible. 3) Cuando se dispone de suficiente sitio, puede montarse un hilo entre dos postes. La toma para el receptor puede realizarse como se indica. Para algunas bandas de OC, puede resultar un tanto directiva. 4) Si no se dispone de un lugar adecuado en la terraza, también puede situarse la antena verticalmente sobre la fachada. En todos los casos, deben emplearse aisladores adecuados para ambos extremos de la antena.

Los receptores portátiles incorporan una antena de ferrita interiormente, no disponiendo generalmente de toma para antena exterior. Las antenas de ferrita son muy directivas, por lo que a veces hay que «orientar» el receptor en una dirección determinada, que permita recoger suficiente señal.



Para las bandas de OC y FM no suele ser demasiado efectiva la antena de ferrita, por lo que aquellos receptores que incorporan estas bandas suelen llevar también una antena del tipo extensible, para poder recibir señal adecuadamente.

comienzan a hacerse notar y deben tenerse en cuenta, por lo que siempre será preferible una antena vertical (omnidireccional) a otra horizontal (que presentará cierta directividad). Aunque no puede desdeñarse la efectividad de la ferrita para la banda de OC, siempre es preferible el empleo de una antena de hilo, que captará mayor cantidad de señal para nuestro receptor. En este sentido, diremos que en aquellos receptores portátiles que incorporen una antena extensible será muy conveniente su uso para estas bandas, mientras que para OM y OL este tipo de antena no tiene apenas efecto alguno comparado con el de la antena de ferrita.

Si la escucha de las bandas de OC se va a hacer ocasionalmente, y tan sólo con ánimo de recibir cualquier emisión (no una específica y determinada), podrá valernos la misma antena que recomendamos para OM y OL. En caso contrario, aconsejamos al lector recurra a la literatura especializada, donde podrá encontrar el tipo de antena que en particular le sirva para la aplicación que desea.

### Antenas para FM

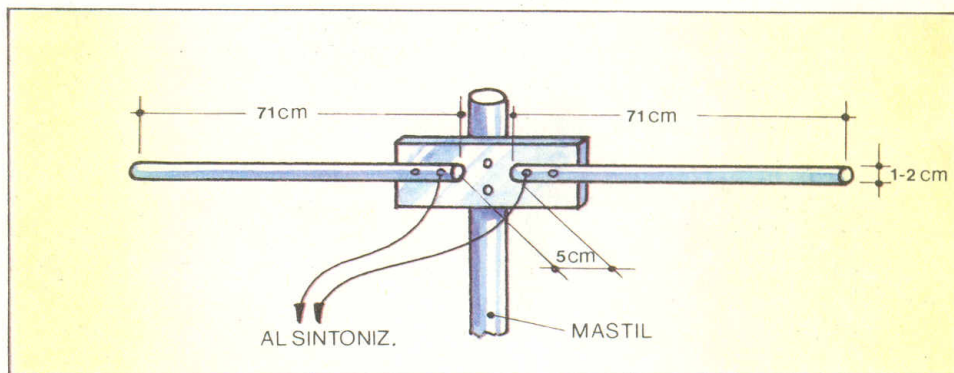
Mientras que para OM y OL la antena exterior se sustituye por una antena



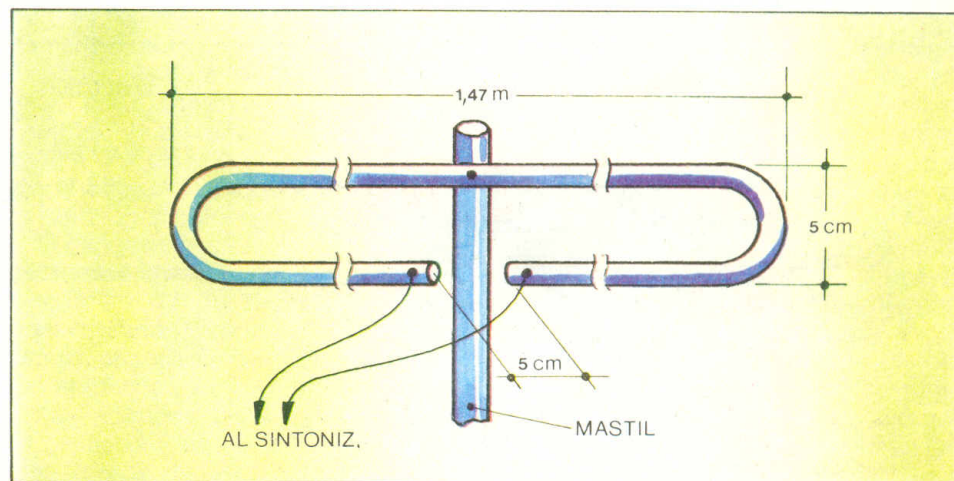
que incorpora el mismo equipo sintonizador, para las frecuencias de la banda de radiodifusión en FM es totalmente imprescindible el uso de una antena exterior si queremos beneficiarnos de todas las ventajas que dicha banda ofrece.

Ya dijimos en su momento que el tamaño físico de una antena está en relación directa con la longitud de onda de las señales con que ha de trabajar. En la banda de 87 a 108 MHz las longitudes de onda varían entre 2,78 y 3,45 metros, por lo que las antenas no van a ser escandalosamente grandes, como ocurría en las bandas de OM y OL. Por razones que ahora no vamos a detenernos a estudiar, las antenas de transmisión para esta banda (igual que para TV) se colocan en posición paralela al suelo, con lo que se consigue la polarización horizontal de la onda (al contrario que en OM y OL, donde la polarización es vertical). La posición idónea de las antenas de recepción es igualmente horizontal; en aquellas zonas en que la señal es débil, es muy importante la colocación en la posición correcta, ya que es en la que la antena enviará mayor señal al sintonizador para que éste pueda trabajar correctamente.

Una antena capta la mayor cantidad de energía posible cuando se hace resonante con la señal que llega (un ejemplo de resonancia lo tenemos en el circuito oscilante que nos sirve para sintonizar una emisora). La resonancia de una antena puede lograrse dándole una longitud adecuada. Para el tipo de antena que nos ocupa, la menor longitud de antena para la que resuena se corresponde aproximadamente con la mitad de la longitud de onda de la señal que recibe (es una antena en  $\lambda/2$ ). Puesto que las longitudes de onda de las señales a recibir varían en un cierto margen, no vamos a emplear una antena para cada uno de los canales de



**Construcción de una antena dipolo para la banda de FM. Puede emplearse tubo de aluminio de 10 ó 20 milímetros de diámetro. La placa de sujeción debe ser de material aislante (baquelita, plástico, etc.).**



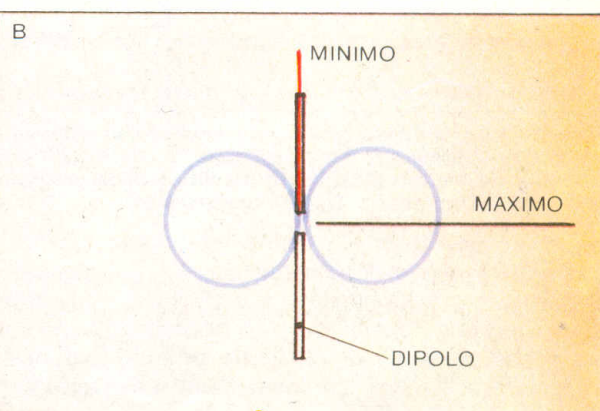
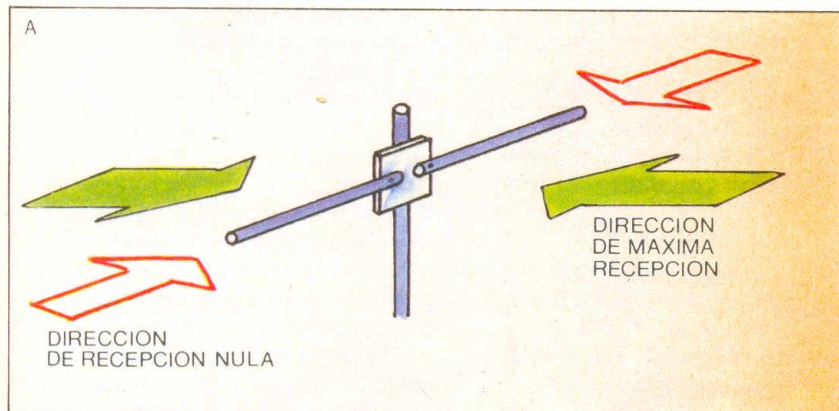
**Construcción de una antena dipolo plegado para la banda de FM. El tubo puede ser de aluminio y el mástil puede fijarse directamente (sin necesidad de aislamiento) al punto central del brazo superior.**

la banda de FM. En la práctica, y debido a que la diferencia entre dichas longitudes de onda de los extremos de la banda no son muy grandes, se emplea una antena sintonizada para la frecuencia media de la banda, que se corresponde aproximadamente con 96 MHz y 3,12 metros. Por lo tanto, la antena en  $\lambda/2$  que cubra la banda completa de FM deberá tener una

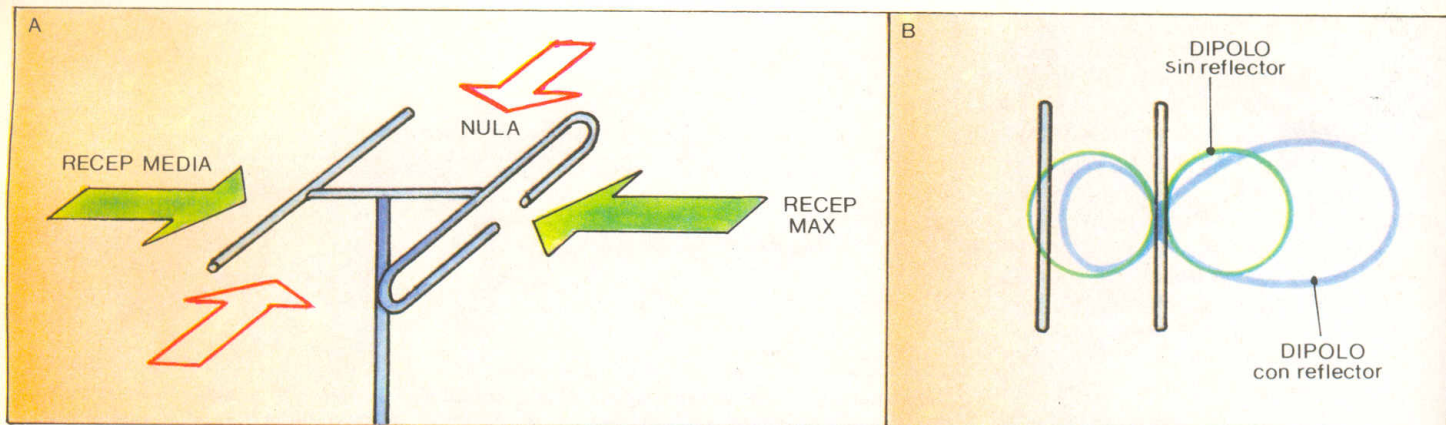
longitud de 1,47 metros (se pueden admitir dimensiones comprendidas entre 1,40 y 1,55 metros sin gran error).

Ya tenemos la forma de la antena (un hilo o varilla rectilínea), su posición (horizontal) y su longitud (1,47 metros); sólo queda acoplarla al receptor. Para ello, la varilla se corta en su punto central y se hace una separación de

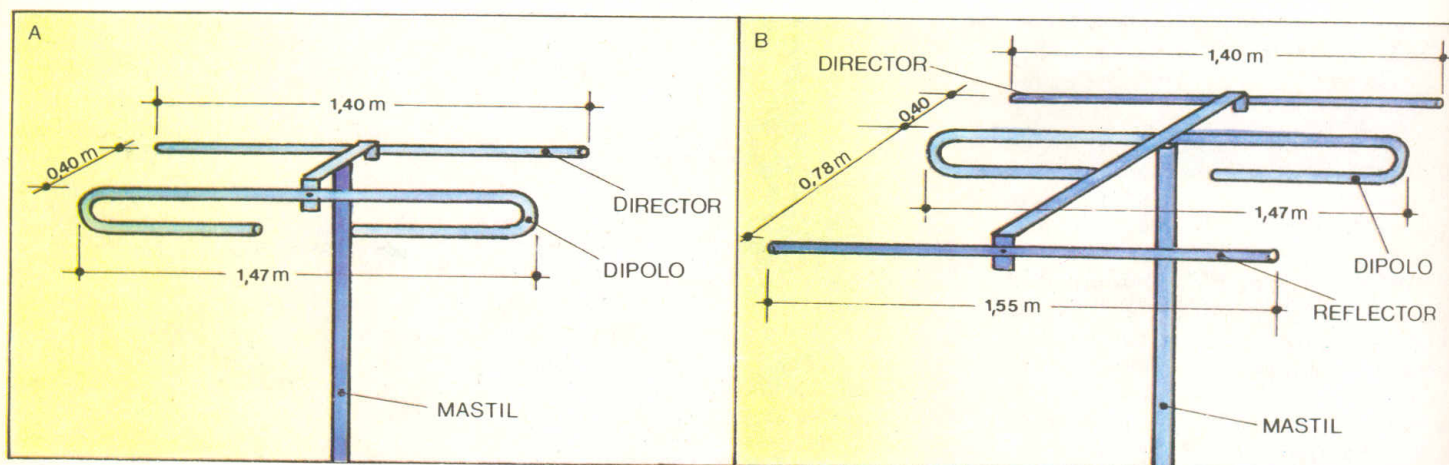
**El dipolo tiene una dirección de recepción máxima (perpendicular a su eje) y otra de recepción nula (la de su eje). Esto hace que el diagrama de directividad sea como el mostrado en B.**



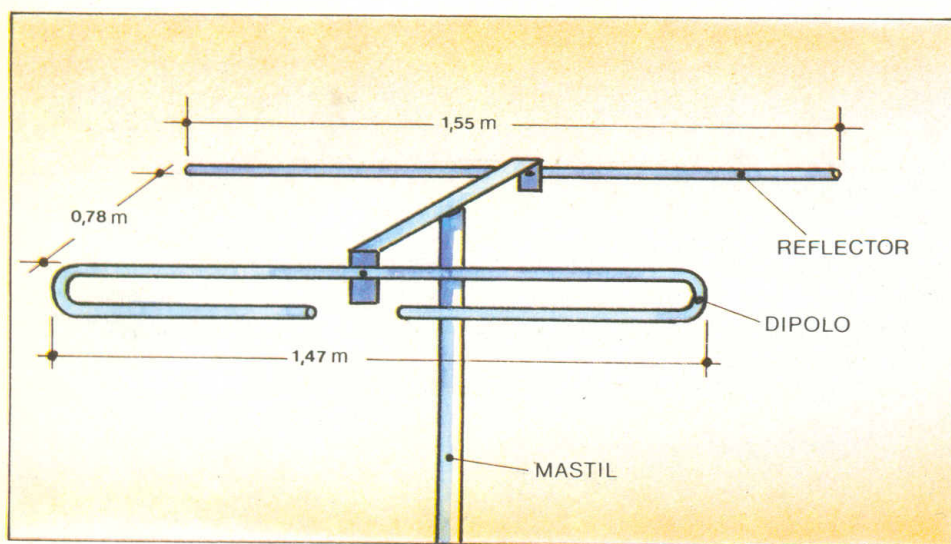




Característica de directividad de un dipolo con reflector. Como puede observarse, el conjunto tiene ahora un sentido privilegiado dentro de la dirección de máxima recepción.



Construcción de una antena dipolo (plegado o no) con director (A), y con director y reflector (B).



Construcción de una antena dipolo plegado con reflector. El tubo para el reflector puede ser igual que el empleado para el dipolo. No hace falta aislar del mástil el punto central de sujeción del reflector. El dipolo doblado puede sustituirse por un dipolo normal (la sujeción del mismo será entonces con aislante).

entre 3 y 5 centímetros. Hemos construido una antena *dipolo* en  $\lambda/2$ , llamada así por constar de dos brazos independientes. El dipolo tiene unas características de directividad muy acusadas. La máxima recepción se

obtiene en la dirección perpendicular a la antena (en los dos sentidos), disminuyendo conforme el ángulo de incidencia de las ondas se va aproximando hacia el eje longitudinal de la antena, en el que la recepción es nula.

En principio, pueden construirse dipolos resonantes cuya longitud sea un múltiplo de una semilongitud de onda, aunque en este caso la característica de directividad presenta varias direcciones preferentes (en las que la recepción es máxima), por lo que no suelen emplearse sino para casos muy concretos, sobre todo porque pueden recoger interferencias no deseadas, ruido, etc.

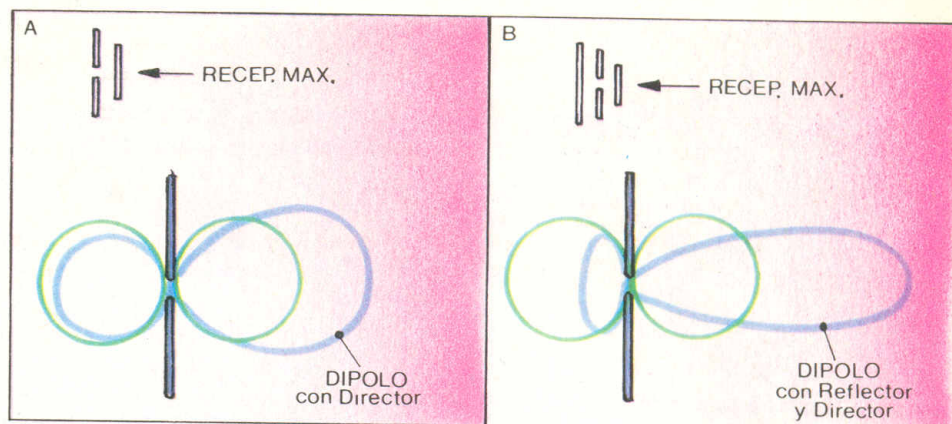
Otro tipo de antena muy utilizada para recepción de señales de FM es el llamado *dipolo doblado*, *plegado* o *antena trombón*, constituido por un dipolo normal al que se le acopla paralelamente una varilla de su misma longitud y grosor, separada una pequeña distancia por encima del dipolo (de 3 a 5 centímetros), y unida a éste por los extremos. Se acostumbra a redondear dichas uniones, constituyendo una varilla continua, sólo interrumpida en el centro de la parte inferior (igual que el dipolo), teniendo la apariencia de la corredera tubular de un trombón, de donde deriva uno de sus nombres. Las características de directividad y captación de señal son idénticas a las del dipolo normal en  $\lambda/2$ .



## Elementos pasivos

La directividad de un dipolo es una característica interesante, pues permite recoger preferentemente aquellas señales que provengan de una dirección determinada, disminuyendo o incluso anulando otras señales no buscadas o interferentes (como, por ejemplo, ruido). En algunos casos puede resultar interesante aumentar el grado de directividad de un dipolo, lo que puede conseguirse fácilmente con la adición de determinados elementos adecuadamente colocados. Estos nuevos elementos no recogen señal por sí mismos, sino que ayudan al dipolo a hacerlo, por lo que suelen denominarse *pasivos*, diferenciándolos así del elemento activo, que es el que verdaderamente capta las radiaciones de las emisoras.

El elemento pasivo más ampliamente utilizado es el llamado *reflector*, consistente en un hilo o varilla ligeramente más largo que el dipolo (aproximadamente 1,55 metros) y dispuesto paralelamente a él a una distancia de un cuarto de onda (esto es, unos 0,78 metros). El conjunto tiene ahora, dentro de la dirección perpendicular a ambos elementos, un sentido preferente, que es en el que la onda incidente alcanza primero el dipolo y luego el reflector. Esto presenta dos ventajas: en primer lugar, la señal captada por la antena es *mayor* que en el caso del dipolo simple (la relación entre ambos valores, en igualdad de condiciones, se llama *ganancia* de la antena, y se suele expresar en decibelios); en segundo lugar, la directividad aumenta, puesto que capta más señal por «delante» que por «detrás» (la relación entre ambos valores también suele expresarse en decibelios). Otro elemento pasivo importante es el



Gráficos de directividad de las antenas dipolo con director (A), y con director y reflector (B).

llamado *director*, que es también rectilíneo y paralelo al dipolo, aunque algo más corto (aproximadamente 1,40 metros), y colocado «delante» del dipolo a una distancia comprendida entre el 20 y el 50 % de la longitud del mismo. El dipolo con director tiene una ganancia ligeramente inferior que el dipolo con reflector (las ganancias son de 3 y 3,5 dB, respectivamente). Naturalmente, pueden disponerse un dipolo, un reflector y un director, todos en el mismo plano y con las medidas antes indicadas, con lo que se mejora la ganancia (unos 6 dB) y la directividad (cerca de 16 dB). Aún pueden añadirse mayor número de directores, con lo que ambos parámetros aumentan de valor, mejorando la efectividad de la antena. Todas las cifras y dimensiones dadas se refieren tanto al dipolo normal en  $\lambda/2$  como al dipolo doblado.

## Adaptación de impedancias

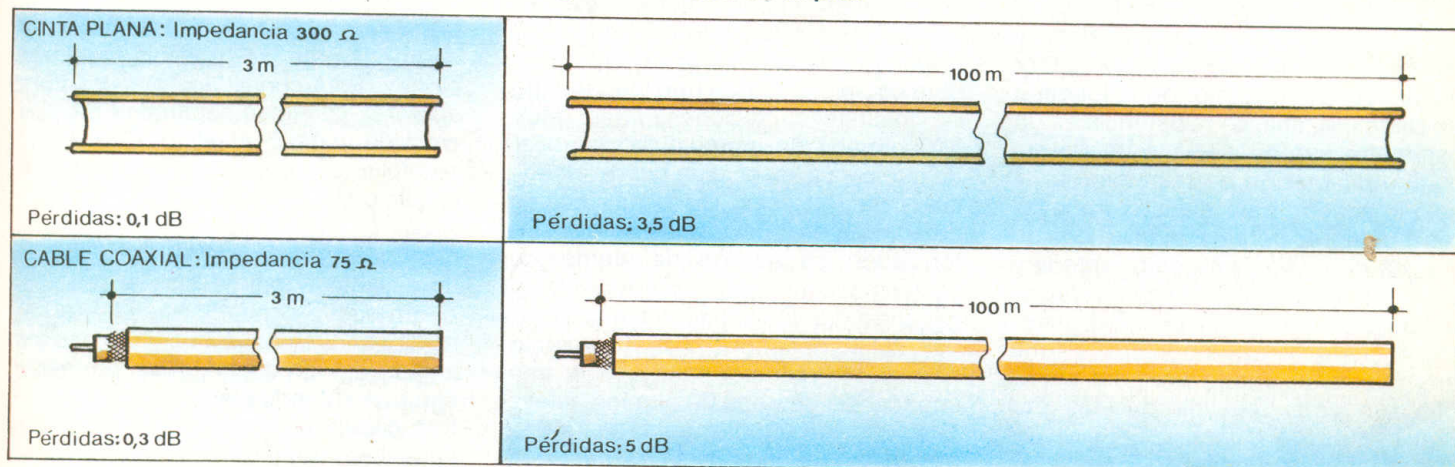
Ya conocemos la importancia que tiene que la impedancia propia de dos

elementos a conectar entre sí sean iguales, y que podría resumirse en una frase muy sencilla: la adaptación de impedancias supone la máxima transferencia de energía de un elemento a otro.

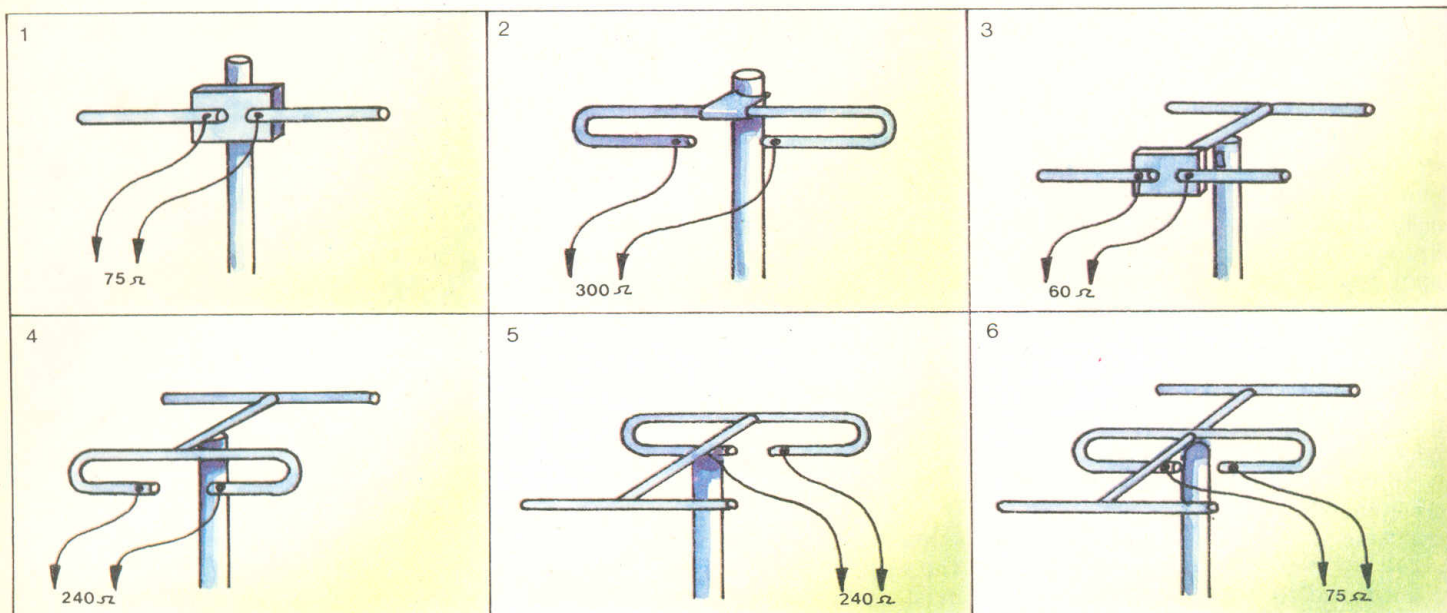
Si una de las razones del empleo de una antena eficiente para FM es la de que al sintonizador llegue la mayor cantidad posible de señal, resulta claro que para conseguirlo la impedancia propia de la antena y la de entrada del sintonizador deben ser iguales. No nos olvidemos del cable que une ambos elementos, ya que, en general, antena y sintonizador van a estar relativamente alejados. De nada nos serviría la adaptación entre los dos si la unión no fuera eficiente. Para ello, la impedancia propia del cable debe coincidir también con la de la antena y el sintonizador.

No debemos confundir la *impedancia* que presenta el cable a las señales de FM con la *resistencia* eléctrica de los hilos de que está constituido el mismo. La impedancia depende de la forma, dimensiones y materiales de que está constituido el cable, y *no* de

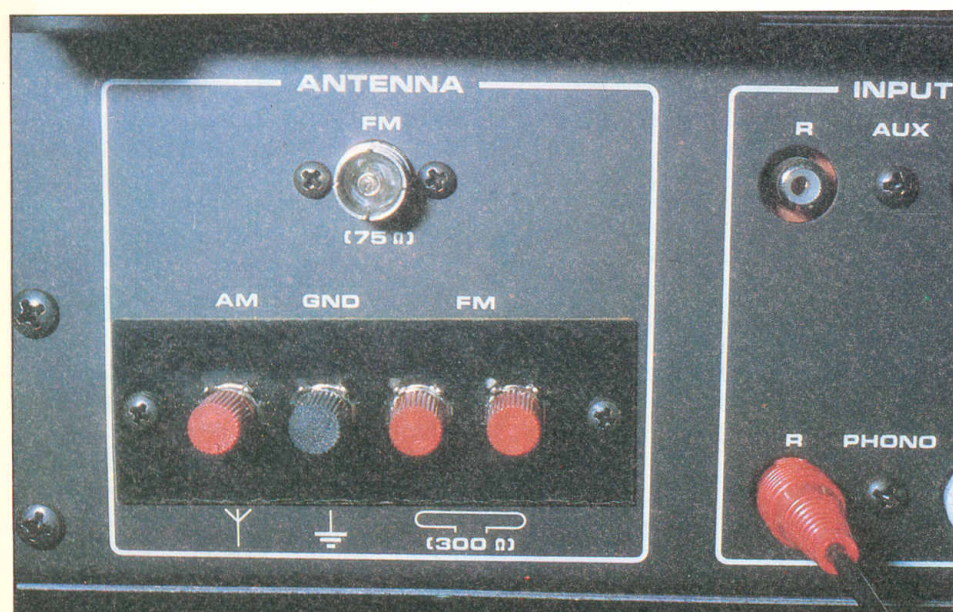
La impedancia de un cable es independiente de la longitud empleada. Sin embargo, las pérdidas (en las que interviene la resistencia del conductor empleado) son mayores cuanto más longitud del mismo se emplea.



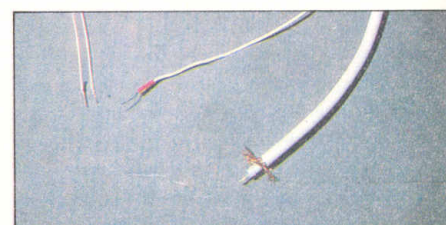




Impedancias propias de diversas antenas: 1) Dipolo. 2) Dipolo doblado. 3) Dipolo con reflector. 4) Dipolo doblado con reflector. 5) Dipolo doblado con director. 6) Dipolo doblado con director y reflector.



Las tomas de antena más corrientes en los sintonizadores son la simétrica de 300 ohmios y la asimétrica de 75 ohmios.



Típicas líneas de bajada de antena.

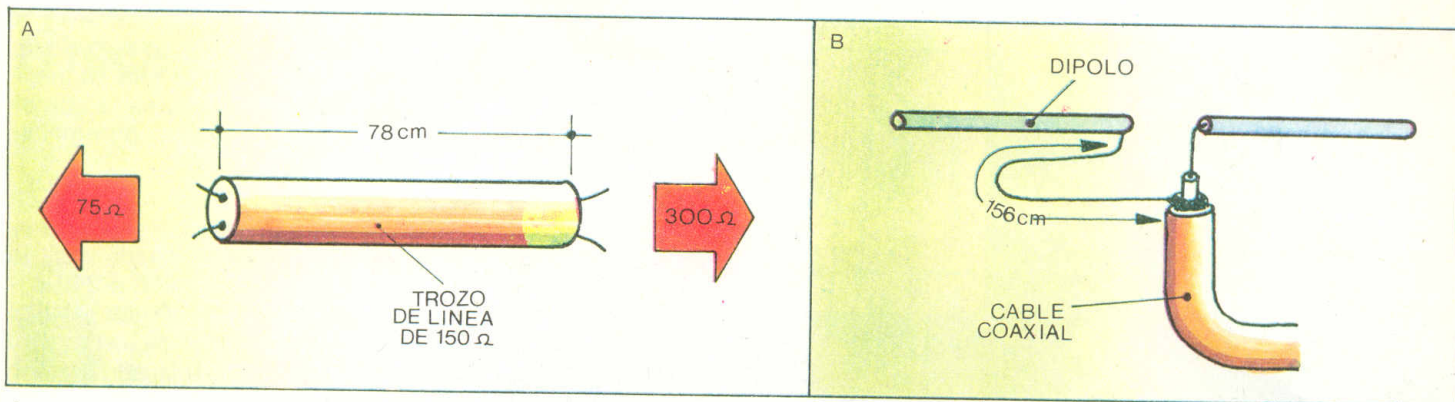
pende de la longitud empleada. La resistencia depende de la naturaleza y dimensiones del material conductor empleado, y, por tanto, de la longitud de cable utilizada. La resistencia es un parámetro que *no* se tiene en cuenta para la adaptación de impedancias, y sólo interviene para definir las mayores o menores pérdidas que se den en la línea de transmisión entre antena y sintonizador: a mayor longitud, mayores pérdidas, aunque exista una adaptación perfecta de impedancias (una desadaptación puede producir tantas pérdidas como las introducidas por 200 metros de cable). Los valores de impedancia prácticos

se mueven sobre valores relativamente bajos. Un dipolo normal en  $\lambda/2$  presenta una impedancia de unos 75 ohmios, mientras que uno plegado, en las mismas condiciones, tiene unos 300 ohmios de impedancia. A pesar de que cara a la señal de radio presentan características idénticas, no se comportan de igual forma frente al sintonizador. La adición de elementos pasivos que aumentan la directividad y ganancia del dipolo hacen también variar su impedancia. Así, un dipolo normal con reflector pasa a tener una impedancia de unos 60 ohmios, mientras que un dipolo doblado, igualmente con reflector, pasa a tener unos

240 ohmios. Si además del reflector se incorpora un director, la impedancia baja más aún, dependiendo además de la separación del mismo, pudiendo llegar a presentar el dipolo doblado con reflector y director una impedancia de tan sólo 75 ohmios. La dependencia de la impedancia con los distintos parámetros comentados no es sencilla, y su exposición se sale de nuestros propósitos. El lector interesado podrá encontrar amplia bibliografía al respecto.

En el comercio existen dos tipos básicos de cable para antenas: la cinta plana y el cable coaxial. La *cinta plana* se puede obtener en varias presentaciones. Está constituida por dos conductores paralelos separados por una cinta de material plástico. El conjunto puede ir en el interior de una funda plástica. Hay cintas de 300 y 240 ohmios. El *cable coaxial* está formado por un conductor central rodeado de un aislante, y éste a su vez rodeado de un nuevo conductor tubular (o una malla conductora) concéntrico con los anteriores. El conjunto va protegido con una cubierta plástica. Se encuentran cables coaxiales de 60 y 75 ohmios. La malla o conductor exterior de





Aquí se muestra un adaptador simétrico de 75 a 300 ohmios (o viceversa) con 78 cm de línea de 150 ohmios de impedancia característica (A), así como un simple adaptador de una línea asimétrica (cable coaxial) a una antena simétrica (dipolo); las impedancias características de ambos deben ser iguales (B).

| ANTENA                         | IMP<br>( $\Omega$ ) | ENTRADA ASIMETRICA 75 $\Omega$ |              | ENTRADA SIMETRICA 300 $\Omega$    |              |
|--------------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|
|                                |                     | SEÑAL DEBIL                    | SEÑAL FUERTE | SEÑAL DEBIL                       | SEÑAL FUERTE |
| Dipolo                         | 75                  | Simet/Asimet                   | —            | Adaptador<br>c/línea 150 $\Omega$ | —            |
| Dipolo c/refl.                 | 60                  | Simet/Asimet                   | —            | Adaptador<br>c/línea 150 $\Omega$ | —            |
| Dipolo plegado                 | 300                 | Balún 300/75                   | Balún 300/75 | —                                 | —            |
| D. plegado c/refl.             | 240                 | Balún 240/75                   | Balún 240/75 | —                                 | —            |
| D. plegado c/refl.<br>c/direc. | 75                  | Simet/Asimet                   | —            | Adaptador<br>c/línea 150 $\Omega$ | —            |
| Colectiva                      | 75                  | —                              | —            | Balún 75/300                      | Balún 75/300 |

En esta tabla se muestran los distintos tipos de adaptadores recomendados para distintas combinaciones de antena y entrada al sintonizador.

un cable coaxial, conectada adecuadamente, puede ejercer una protección efectiva contra interferencias exteriores, por lo que cada vez es más utilizado este tipo de cable. Por lo general, los dos conductores no realizan funciones intercambiables entre sí, por lo que se considera como una típica línea *asimétrica*. Por el contrario, los dos conductores de una cinta son totalmente intercambiables, por lo que la línea es *simétrica*.

El dipolo es una estructura totalmente simétrica, siendo ambos terminales intercambiables desde el punto de vista eléctrico. El cable que nos lleve la señal al sintonizador ha de ser, por tanto, simétrico. Consecuentemente, el tipo de cable idóneo es la cinta de la impedancia adecuada. Por otra parte, los sintonizadores suelen tener dos entradas de antena para FM distintas: una simétrica de 300 ohmios, y otra asimétrica de 75 ohmios. Naturalmente, existen adaptadores de impe-

dancia y/o simetría, de forma que pueda realizarse cualquier tipo de acoplamiento.

La existencia de este acoplamiento es fundamental en la unión entre cable y sintonizador, ya que parte de la energía que llega puede resultar «reflejada» de nuevo hacia la antena si las impedancias no están acopladas, disponiendo entonces el sintonizador de mucha menor cantidad de señal. Por tanto, el tipo de cable a emplear vendrá fijado principalmente por la entrada de antena del sintonizador. No es vital la adaptación entre antena y cable, unión en la que pueden admitirse ciertas pérdidas, ya que la introducción de un adaptador puede ocasionar parecidas pérdidas que una desadaptación. Solamente en aquellos casos en que la señal disponible sea débil es aconsejable un adaptador adecuado en esta unión.

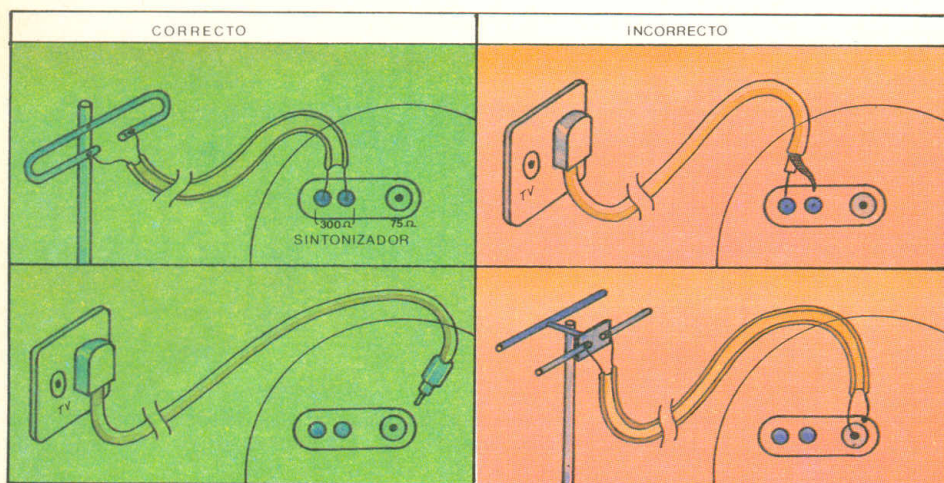
En caso de disponer de toma del sistema de antena colectiva, ésta es

siempre de tipo coaxial (asimétrico) y no debe conectarse nunca directamente a la toma de 300 ohmios simétrica del sintonizador. Lo correcto es realizar el empalme a la entrada de 75 ohmios (que en la inmensa mayoría de los casos será asimétrica), o bien emplear un adaptador de 75 ohmios/asimétrico a 300 ohmios/simétrico (conocidos con el nombre de *balún*).

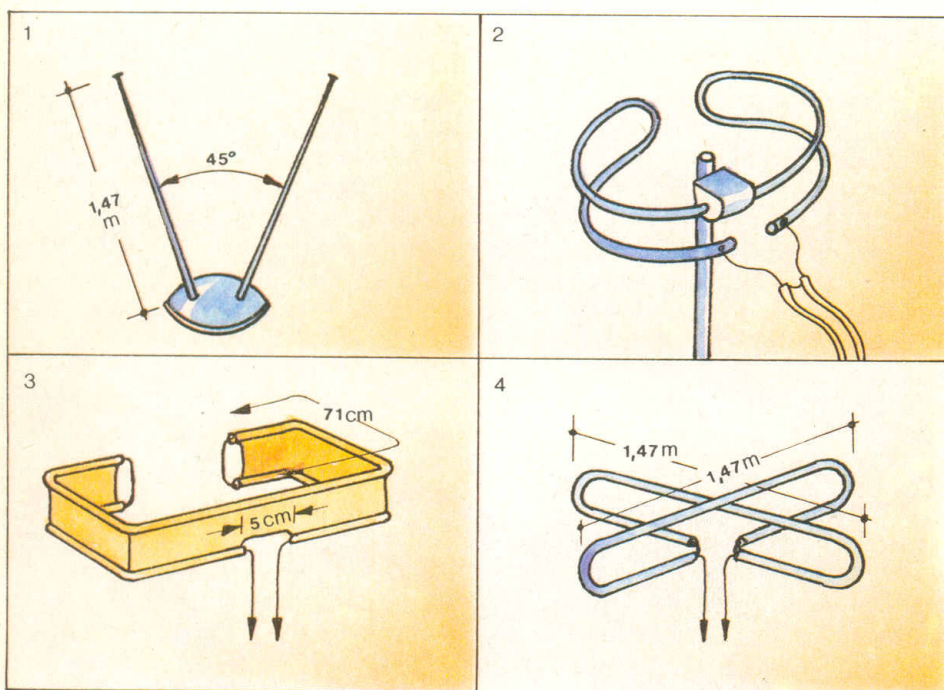
## Otras antenas

Una antena que se ha hecho muy popular es la constituida por dos varillas de 1,47 metros ( $\lambda/2$ ) cada una colocada en un plano vertical y formando un ángulo de unos 45 ó 50°, conocida como *antena en V* debido a su forma. Se utiliza principalmente para interiores y la dirección de mayor captación de señal se encuentra perpendicularmente al plano que contiene las vari-





Debe prestarse atención a la unión entre el cable de bajada de antena y el sintonizador, ya que pueden ocasionarse pérdidas de señal importantes.



Diversos tipos de antena para FM: 1) Antena en V. 2) Antena dipolo doblado omnidireccional. 3) Antena interior omnidireccional construida con cinta plana de 300 ohmios. 4) Antena en molinete con características direccionales.

llas. Su uso es sólo aconsejable cuando la señal disponible es elevada. Aunque presenta una impedancia de unos 75 ohmios, puede acoplarse con cinta de 300 ohmios a la toma simétrica del sintonizador, o bien con un cable coaxial de 75 ohmios directamente. Cuando la antena se va a situar en un punto al que van a llegar las ondas radio desde varias direcciones (por ejemplo, cuando está enclavada en el casco urbano de una población, donde por lo general las distintas emisoras estarán situadas en la periferia) la directividad es un poco inconveniente,

puesto que la antena captará más señal de unas emisoras que de otras. No es una solución práctica disponer de una antena orientada en cada una de las direcciones, por lo que suele recurrirse a dar forma circular a la misma, con lo que se convierte en omnidireccional (capta por igual desde cualquier dirección). Esta es una solución que resulta aceptable, en general, ya que el nivel de señal que se obtiene en la práctica en los cascos urbanos es muy elevado, captando cualquier tipo de antena suficiente señal como para que el sintonizador trabaje cómodamente.

Por tanto, puede utilizarse tanto el dipolo normal como el plegado (sin elementos pasivos) formando una circunferencia, convirtiéndose así en omnidireccionales.

Otra antena que puede utilizarse en interiores en aquellas zonas con mucha señal, es la constituida por un trozo de cinta plana de 300 ó 240 ohmios de 1,47 metros de longitud, al que se le practica un corte de longitud igual al ancho de la cinta en el centro de uno de los conductores. Los terminales de los dos extremos se cortocircuitan. En realidad lo que hemos construido es un dipolo doblado con hilo flexible. Dicha antena puede colocarse en el interior o en la trasera de cualquier mueble, preferiblemente en forma circular, para que reciba por igual desde cualquier dirección. Su impedancia es de unos 300 ohmios, y puede conectarse directamente a los terminales de entrada simétrica del sintonizador.

También pueden conseguirse antenas omnidireccionales colocando dos dipolos en planos perpendiculares (*molinete*), aunque se necesita un pequeño adaptador entre ambos para conseguir que el conjunto reciba por igual desde cualquier dirección. Pueden también combinarse con una antena para AM; mezclando ambas señales, pueden unirse con un solo cable con el sintonizador, aunque previamente habrá que separarlas de nuevo.

Por último, para aquellos lugares en que la recepción sea muy débil, es muy conveniente utilizar antenas multielementos. Dichas antenas pueden dotarse de sistemas mecánicos de rotación por medio de motores adecuados, para desde el interior de nuestra casa orientar el eje principal de la antena en la dirección óptima. En este caso será imprescindible la adaptación de impedancias antena-cable-sintonizador.

Esta solución también puede adoptarse cuando exista gran interferencia de una emisora no deseada, o cuando sólo nos interese recibir una transmisión concreta, en cuyo caso incluso puede suprimirse el sistema de rotación (como suele hacerse con las señales de TV).

Cualquier antena de FM, incluso aunque sea omnidireccional, debe colocarse lo más elevada posible sobre el terreno circundante. Esta disposición ayuda a recibir emisoras más lejanas y a una menor captación de ruido, por lo que es siempre aconsejable.