

El Surgimiento de

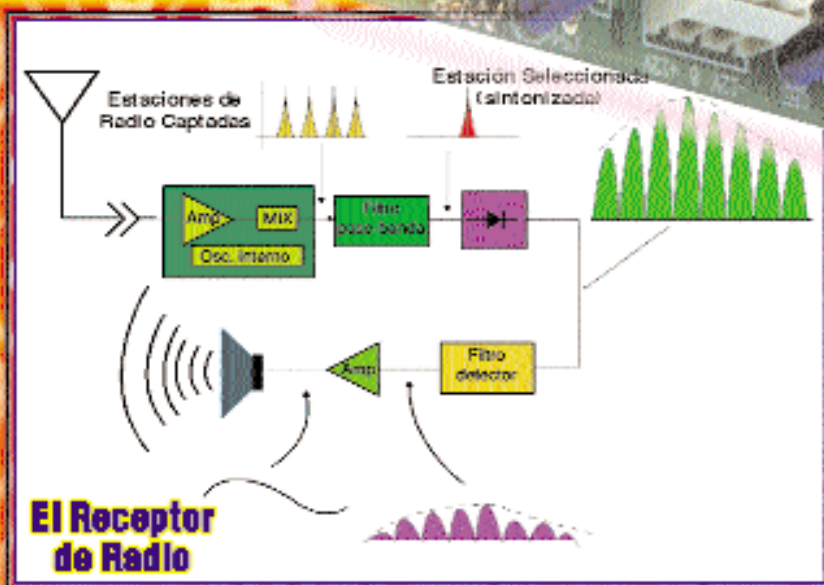
La Radio

7

El Mundo de la

Electrónica

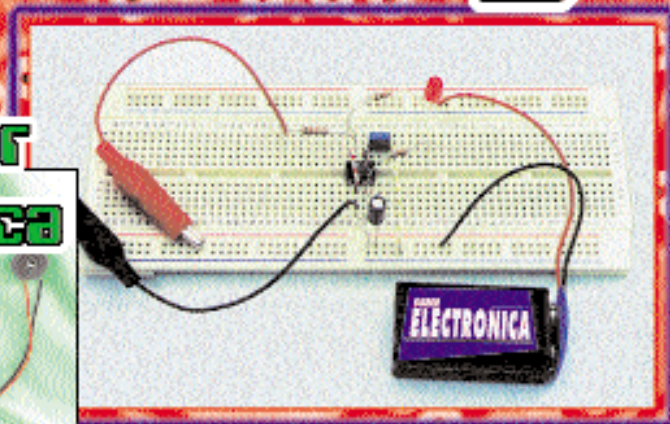
TV
AUDIO
VIDEO
MICROPROCESADORES



Bricolage



**Intercomunicador
por la Red Eléctrica**



Enciclopedia Visual de la Electrónica

INDICE DEL CAPITULO 7

EL SURGIMIENTO DE LA RADIO

Los experimentos de Faraday	99
Los planteamientos de Maxwell	99
Las ondas de radio y el espectro electromagnético	99
La telegrafía sin hilos	100
Estructura simplificada de una válvula diodo	100
Principio básico de operación de un receptor de radio	101
Las primeras transmisiones	102
La evolución de las comunicaciones por ondas radiales	103
El desarrollo de la radio comercial	103
Modulación en FM y transmisión en estéreo	103

TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO

Los FETs	105
El JFET	105
Efecto de campo	105
El MOSFET de empobrecimiento	105
MOSFET de enriquecimiento	106
Protección de los FETs	107
Funcionamiento del transistor de efecto de campo	107

INTERCOMUNICADOR POR LA RED ELECTRICA

El circuito transmisor	109
El circuito receptor	110
Lista de materiales del transmisor	112
Lista de materiales del receptor	112

Capítulo 7

El Surgimiento de la Radio

LOS EXPERIMENTOS DE FARADAY

Aunque se realizaron múltiples experimentos sobre electricidad y magnetismo antes de Michael Faraday (figura 1), fue este investigador inglés quien descubrió la estrecha relación que existe entre ambos tipos de fenómenos.

Fue precisamente Faraday quien descubrió que cuando en una bobina circula una corriente eléctrica, se produce un campo magnético proporcional a la corriente circulando, y a la inversa: **cuando a una bobina se aplica un campo magnético externo, en sus extremos aparece una variación de tensión** (figura 2).

Este descubrimiento, aparentemente tan sencillo, es la base sobre la cual funcionan prácticamente todos los aparatos eléctricos que nos rodean en nuestra vida cotidiana, desde el motor de un auto de juguete hasta los grandes transformadores que sirven para distribuir el fluido eléctrico en las grandes ciudades.

LOS PLANTEAMIENTOS DE MAXWELL

En la década de 1860, el físico inglés James Clerk Maxwell, con una gran lucidez que asombra incluso a los científicos contemporáneos, puso al descubierto en forma teórica la estrecha relación que existe entre los campos eléctricos y magnéticos; postulando que una carga eléctrica en movimiento produciría en su alrededor un campo magnético variable, el cual, a su vez, induciría un campo eléctrico, y así sucesivamente (figura 3). Esto, a su vez, se traduciría en la generación de una onda electromagnética que se origina en la carga eléctrica variable y viaja en todas direcciones (estos trabajos se publicaron

en conjunto hasta 1873). Sus cálculos teóricos le permitieron determinar que esta onda electromagnética se propaga a la misma velocidad que la luz, lo que lo llevó a la conclusión de que **la energía luminosa no era sino otra manifestación de este tipo de ondas** (un salto imaginativo sorprendente para la época).

LAS ONDAS DE RADIO Y EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Tan sólo faltaba la comprobación práctica de estas teorías, y ésta fue conseguida por los experimentos de un físico alemán: Heinrich Hertz, quien utilizando una cámara de chispas y un aro metálico receptor (figura 4) corroboró la existencia de las ondas electromagnéticas. El fundamento de este experimento fue el siguiente: si efectivamente en las cargas eléctricas en movimiento representadas por la chispa eléctrica se generaba una serie de ondas electromagnéticas, el aro receptor captaría parte de esta onda y la transformaría nuevamente en señal eléctrica, haciendo saltar una chispa de menor tamaño, pero perfectamente sincronizada con la chispa principal entre las puntas del aro receptor.

Debido a lo rudimentario del experimento, Hertz tuvo que hacer grandes esfuerzos para localizar los puntos en que la induc-



Fig. 1

Otro de los descubrimientos de Faraday, fue la inducción de voltaje en una espira en movimiento, lo que daría origen a las dinamos generadoras que se utilizan para la generación de electricidad.

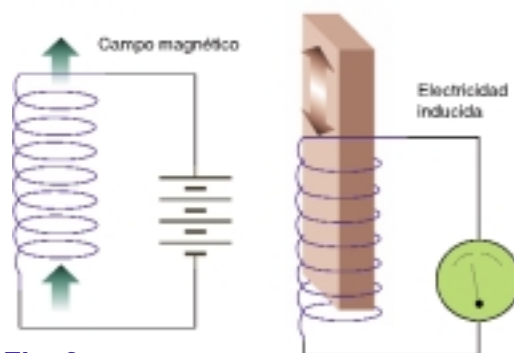


Fig. 2

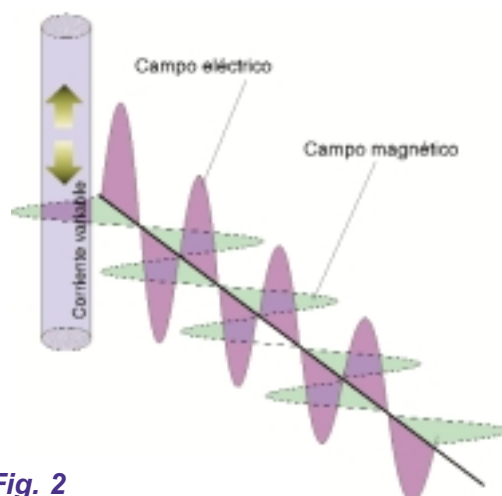


Fig. 2

Fig. 4

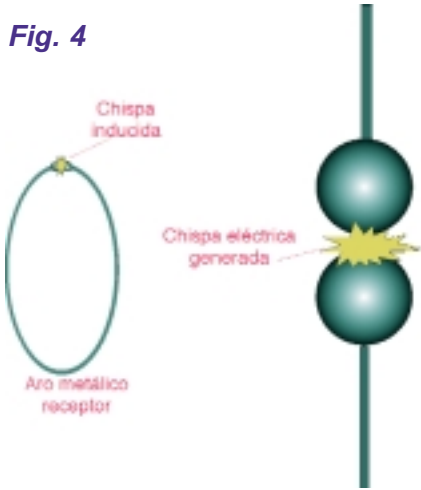
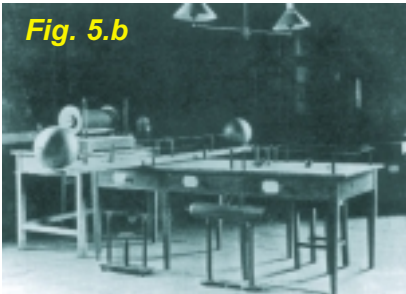


Fig. 5.a



Fig. 5.b



ción electromagnética sobre el aro metálico estuviera en su punto máximo; sin embargo, una vez obtenida la chispa inducida en el aro metálico, eso bastó para demostrar en la práctica la validez de las teorías de Maxwell. Precisamente, en honor a Hertz, se ha denominado con su nombre una de las variables fundamentales en el comportamiento de las ondas electromagnéticas (y en general de todo tipo de oscilaciones): los ciclos por segundo (figura 5).

LA TELEGRAFÍA SIN HILOS

Incluso cuando Hertz descubrió la existencia de las on-

das electromagnéticas, todos estos experimentos no pasaban de ser curiosidades de laboratorio; fue hasta que un investigador italiano, Guglielmo Marconi, quien al estudiar los descubrimientos realizados por Hertz, llegó a la conclusión de que las ondas electromagnéticas podían utilizarse para la transmisión instantánea de información a distancia (figura 6).

Para conseguir la transmisión de datos por medio de ondas de radio, Marconi utilizó una **c - mara de chispas**, la cual producía en su interior un arco eléctrico al aplicarle la señal de un capacitor. Para comprobar si efectivamente se podía aprovechar la onda resultante a distancia, le pidió a su hermano que llevara la cámara a un sitio alejado de su casa y detrás de una colina cercana, de modo que no hubiera contacto visual entre ambos: al momento en que se aplicó a la cámara de chispas una serie de pulsos de activación en código Morse, Marconi fue capaz de recibirlos con gran claridad, quedando demostrada la posibilidad de la comunicación a distancia sin necesidad de hilos telegráficos (figura 7).

Marconi viajó por toda Europa y América promocionando su descubrimiento, hasta que a finales del siglo pasado y principios del presente fue reconocido como el primero en desarrollar un uso práctico para las ondas electromagnéticas; por ejemplo, en 1899 logró establecer la comunicación entre Europa continental e Inglaterra por medio de ondas radiales, e incluso en 1901 con-



Fig. 6

siguió una transmisión transatlántica entre Europa y América, hecho que definitivamente lo consagró como el padre de la radio (de hecho, para 1902 ya se había establecido un servicio de radio-cables regular entre Europa y América). Como reconocimiento a estos descubrimientos, Marconi recibió el Premio Nobel de física en 1909.

A pesar del gran avance que representó para la época el desarrollo de la telegrafía sin hilos, aún quedaban diversos aspectos que resolver para que pudiera desarrollarse un sistema de radiotransmisión moderno, capaz de transmitir no sólo pulsos en código Morse, sino también sonidos, voces, música, etc. Tuvo que desarrollarse una rama de la física para que la radio comercial fuera una realidad: **la electrónica**.

LAS VLVULAS DE VACÍO

El primer antecedente de un dispositivo electrónico lo encontramos en los laboratorios de Thomas Alva Edison, cuyos experimentos lo llevaron a desarrollar la lámpara incandescente; descubrió que si un alam-

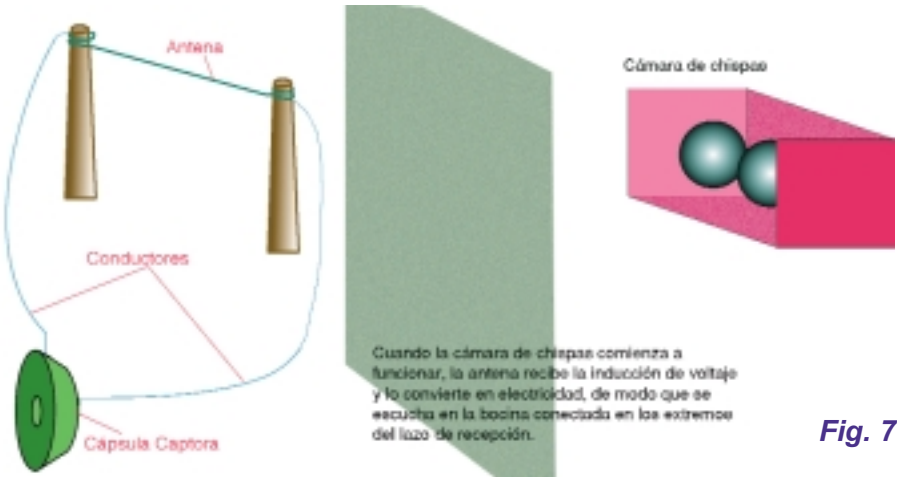


Fig. 7

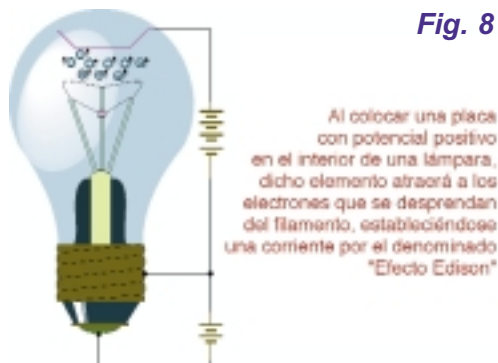


Fig. 8

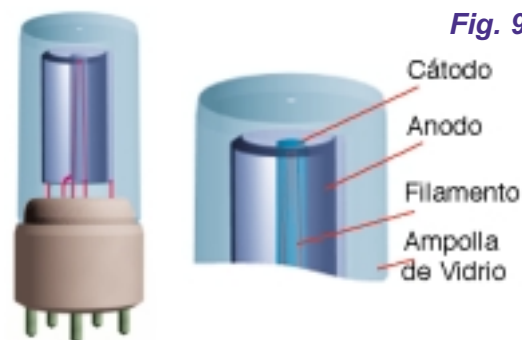


Fig. 9

bre al que se le había aplicado un potencial positivo era colocado dentro de la ampolla de vidrio al vacío, se establecía un flujo de electrones entre el propio filamento incandescente y el alambre; pero esta corriente sólo aparecía con dicha polaridad, ya que al invertir la carga eléctrica del alambre no se producía el flujo (figura 8).

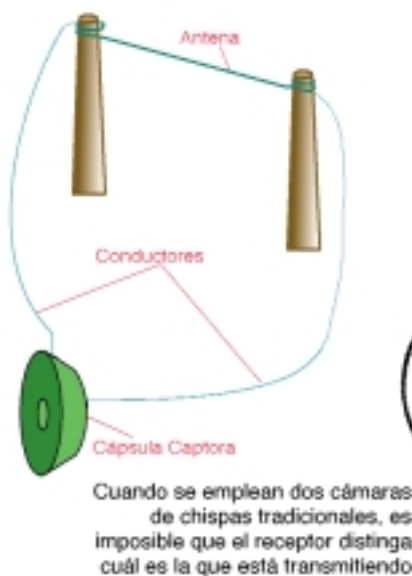
Este fenómeno, conocido y patentado como efecto Edison, inspiró al ingeniero el físico inglés John Ambrose Fleming a desarrollar la primera válvula electrónica del mundo:

el diodo (figura 9). La función principal de este dispositivo consistía en rectificar corrientes alternas, y de inmediato encontró una aplicación práctica en la radio; se le empezó a utilizar como detector, rectificador y limitador de señal, lo que a su vez permitió construir receptores de radio más precisos y sensibles.

Sin embargo, la comunicación radial en forma no fue posible sino hasta la aparición en 1906 de otro dispositivo

fundamental para el desarrollo de la radio comercial (pues permitió la división y aprovechamiento del espectro electromagnético).

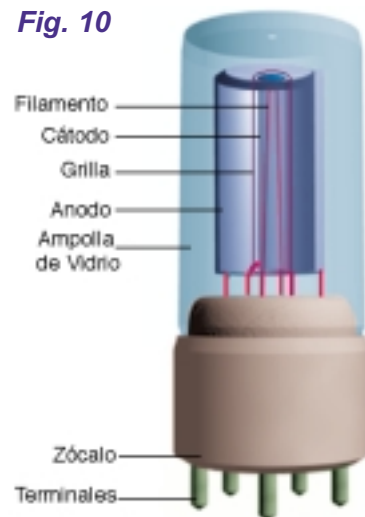
Con todo lo anterior, para la década de los 20's ya se contaba en diversas partes del mundo con una gran cantidad de estaciones de radio; tanto aumentó el número de receptores, que pronto la radio se convirtió en uno de los principales medios de comunicación a distancia, sitio del que fue desplazada, a mediados de los 50's, por la televisión.



electrónico, fruto de las investigaciones del inventor norteamericano Lee DeForest: la válvula triodo (figura 10), que añadía una tercera rejilla de control a la válvula diodo. Con esta sencilla adición, el dispositivo funcionaba como amplificador o como oscilador (dependiendo de su conexión externa).

La inclusión de la válvula triodo en los receptores de radio permitió captar incluso señales muy débiles, aumentando de forma significativa el alcance de las emisiones radiales; además, su utilización como oscilador permitió el surgimiento de la heterodinación, técnica

Fig. 10

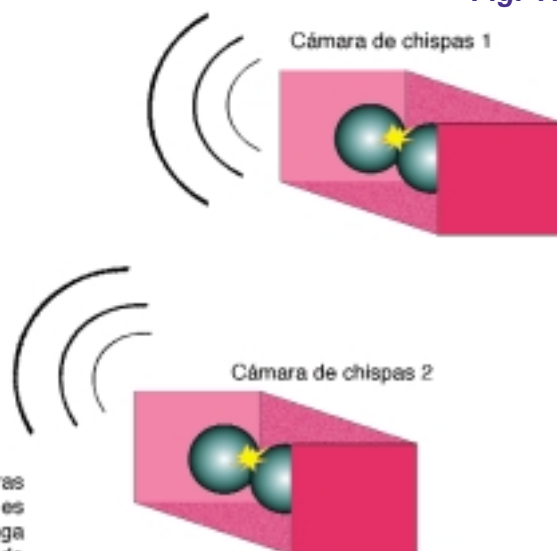


PRINCIPIO BÁSICO DE OPERACIÓN DE UN RECEPTOR DE RADIO

Antes de explicar cómo funciona un receptor de radio, tenemos que hablar de la primera forma de modulación: **la modulación en amplitud o AM**.

Como se mencionó anteriormente, el primer transmisor utilizado por Marconi utilizaba una cámara de chispas como medio de generación de ondas electromagnéticas. Pero este procedimiento tenía un gran defecto: supongamos que dos personas accionan una cámara de chispas al mismo tiempo en distintas localidades, y que un receptor remoto trata de recibir las señales generadas por uno de ellas (figura 11). Debido a que prácticamente se tiene tan sólo un impulso de energía sin ninguna regla ni limitación, las se-

Fig. 11



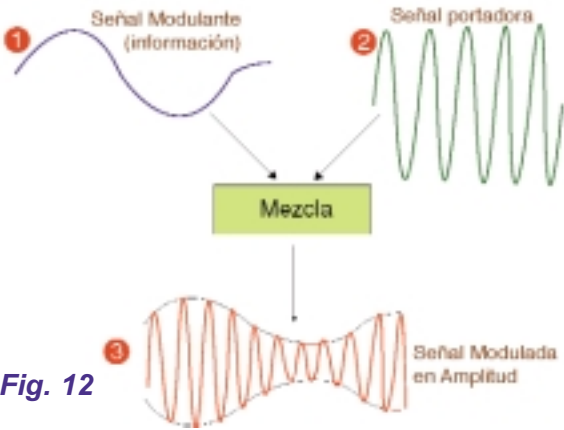


Fig. 12

ñales de ambas emisoras llegarán al mismo tiempo hasta el receptor; mas éste no tiene forma de determinar cuáles pulsos corresponden a la estación que desea escuchar y cuáles provienen de la otra. Obviamente, para la efectiva utilización de la radio, es necesario asignar canales exclusivos para el uso de las estaciones emisoras; así el receptor podría elegir entre ellas, solamente sintonizando el canal adecuado. Este problema fue solucionado por el ingeniero norteamericano Edwin H. Armstrong, quien **desarrolló la modulación en amplitud**; también a él debemos el descubrimiento de la modulación en frecuencia. En términos generales, la modulación en

terfieran una con otra. La señal modulada en amplitud, se envía al aire a través de una antena y llega al receptor. Para recibir únicamente esta señal, se sintoniza por medio de un oscilador interno, se le hace pasar por un filtro pasa-banda, se rectifica (se elimina la porción superior o inferior de la señal) y se pasa por un filtro detector; éste recupera la señal de audio original, la envía hacia el amplificador y finalmente hasta el parlante (figura 13).

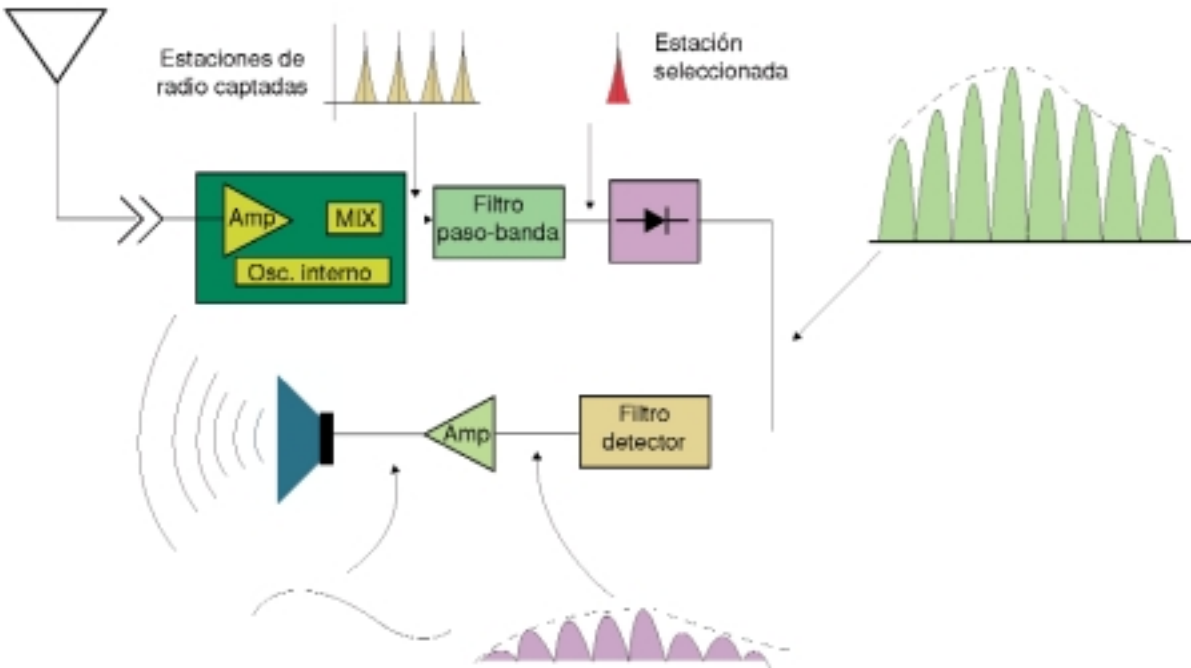
LAS PRIMERAS TRANSMISIONES

Oficialmente, la primera estación en forma que inició transmisio-

nes en el mundo fue la **KDKA de Pittsburgh**; comenzó sus operaciones en 1920, cubriendo en ese año la elección presidencial de Estados Unidos. A partir de ese momento, la radio se extendió rápidamente por toda América y Europa, convirtiéndose en uno de los entretenimientos principales de un buen porcentaje de la población mundial, y en la forma más rápida y confiable de enterarse de los últimos acontecimientos. (Una anécdota muy famosa ocurrió con la transmisión de la versión radiofónica de "La guerra de los mundos", de H. G. Wells; fue llevada a cabo en el "Teatro Mercurio del Aire" por Orson Wells el 30 de octubre de 1938, provocando escenas de pánico masivo entre los radioescuchas -que tomaron como verídica la invasión marciana.) De hecho, incluso en nuestra época aparentemente dominada por la televisión, la radio sigue siendo uno de los espacios de discusión y análisis más empleados en el mundo; y todo esto es el resultado de las investigaciones realizadas a finales del siglo pasado y principios del presente, por científicos de muy diversas nacionalidades que trabajaban con un fin común: transmitir información a distancia, utilizando las ondas electromagnéticas.

Etapas típicas de un receptor de radio AM

Fig. 13



LA EVOLUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES POR ONDAS RADIALES

Ya en el número anterior hablamos de los pasos que se dieron en la evolución de la radio; desde el planteamiento teórico de las ondas electromagnéticas por parte de Maxwell, su descubrimiento físico por parte de Hertz y su aprovechamiento práctico por parte de Marconi, hasta la aparición de las primeras estaciones de radio comerciales. En esta ocasión veremos muy brevemente la forma en que ha avanzado la comunicación por medio de ondas electromagnéticas, desde principios de siglo hasta nuestros días.

EL DESARROLLO DE LA RADIO COMERCIAL

Como ya mencionamos en el apartado anterior, la primera estación de radio comercial que se instaló en el mundo fue la KDKA de Pittsburgh, en Estados Unidos. Pero esto no hubiera tenido caso, de no haberse desarrollado un método sencillo y económico para captar las ondas radiales; a la postre, esto permitiría a la radio ganar un sitio preponderante en todos los hogares del mundo. Este método fue descubierto por Greenleaf Whittier Pickard, quien en 1912 investigó las propiedades de ciertos cristales para detectar las ondas hertzianas (lo cual dio origen a las famosas radios de cristal, tan populares en los años 20's). Todo ello, aunado a la reciente aparición de los receptores super-heterodinos y el aprovechamiento de las válvulas de vacío como rectificadores, detectores, amplificadores y osciladores, permitió que los años 20's y 30's se convirtieran en la época de oro de la radio en todo el mundo.

Aun así, las primeras estaciones emisoras enfrentaron un grave problema: prácticamente nadie tenía una idea clara de cómo se podía explotar de forma eficiente este nuevo medio de comunicación; se dieron casos en que los propietarios y directores de las recién nacidas estaciones, salían hasta las puertas

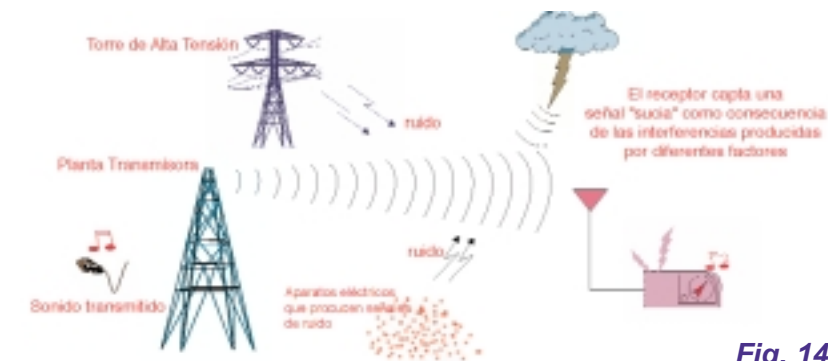


Fig. 14

de éstas para invitar al público en general a recitar, cantar, contar chistes o realizar cualquier otra cosa que les permitiera llenar los minutos al aire de que disponían.

A decir verdad, casi todas las estaciones de radio estaban patrocinadas por una sola compañía; en consecuencia, los "comerciales" transmitidos al aire tan sólo promocionaban a la empresa dueña de la estación (compañías como Westinghouse y General Electric pusieron estaciones a todo lo largo y ancho de Estados Unidos, con la idea de promocionar sus receptores de radio entre la población). Fue hasta mediados de la década del 20, cuando el concepto de una programación radiofónica se extendió entre los dueños de estaciones transmisoras; se comenzaron entonces a explotar géneros tan clásicos como la **radionovela**, los noticieros, los programas de opinión, la música variada, etc. (géneros que básicamente permanecen sin cambios hasta nuestros días).

MODULACIÓN EN FM Y TRANSMISIÓN EN ESTEREO

Ahora bien, las transmisiones en amplitud modulada (AM) fueron durante mucho tiempo el pilar sobre el que descansó la radio comercial; y es que tanto los transmisores como los receptores, eran muy económicos. Pero la calidad del audio obtenido a través de una transmisión AM convencional, generalmente resultaba demasiado pobre y fácilmente era interferida por fenómenos atmosféricos (tales como tormentas eléctricas) o por la aparición de las recién instaladas líneas de alta tensión que llevaban el su-

ministro eléctrico a distintas partes del país; esto sin mencionar los motores eléctricos y otros dispositivos generadores de gran cantidad de ruido electromagnético, que también afectaban en forma considerable la recepción de las ondas de radio (figura 14).

El problema no podía resolverse simplemente mejorando la calidad de los receptores, ya que el concepto mismo de modulación en AM resulta excesivamente susceptible a la interferencia externa. Si recordamos la forma en que es transmitida una señal en AM, veremos que el audio que se desea enviar se **monta** sobre una frecuencia portadora, de modo que ambas viajen juntas por el aire hasta ser captadas por el receptor; pero como la información útil está contenida en la amplitud de la portadora, cualquier fenómeno que afecte a dicha magnitud también afecta a la información transportada. Por ejemplo, si en las cercanías de un receptor de AM se ponía a funcionar un motor eléctrico, las corrientes internas podían generar suficiente ruido electromagnético, el cual, al mezclarse con la señal de AM original, daría por resultado un audio lleno de ruido y en ocasiones completamente opacado por la interferencia. Como ya se dijo, tal fenómeno no tiene nada que ver con la calidad de los receptores; incluso en nuestros días, seguimos escuchando las transmisiones de AM con constantes interferencias externas.

Para eliminar en la medida de lo posible el ruido inducido por fuentes externas en la recepción de radio, se tenía que desarrollar un método alternativo para la transmisión de información y que no dependiera tanto de la amplitud de la portado-

ra (la cual fácilmente se veía afectada por fenómenos que le son ajenos). Este se hizo realidad en 1936, cuando el investigador norteamericano Edwin H. Armstrong (el mismo que había descubierto la modulación en amplitud) planteó todo el proceso de generación, transmisión, recepción y detección de ondas sonoras utilizando un nuevo y revolucionario método: montar la señal que se deseaba transmitir, no en la amplitud sino en la frecuencia de la portadora; esto es, la cantidad de ciclos por segundo de la señal portadora variaría de forma proporcional a la amplitud de la señal que se deseara transmitir (figura 15).

Pronto se descubrió que esta forma de transmisión era prácticamente inmune a los fenómenos meteorológicos y ruido externo -que en cambio fácilmente afectaban a las señales de AM; así se conseguía una mayor calidad de audio y una relación señal-ruido mucho más adecuada que con la modulación en amplitud. Hasta nuestros días las estaciones de FM tienen un sonido más agradable que las típicas señales de AM.

Este fenómeno se acentuó con la aparición de las transmisiones en FM estéreo, las cuales aprovechan la alta frecuencia de la banda asignada a FM y el ancho de banda considerablemente mayor que se le permite utilizar a una estación de FM, comparado con una de AM (simplemente revise el cuadrante de la radio, y se percatará que cada pocos kilohertz encontramos una estación de AM; en cambio, las estaciones de FM están separadas por 0.8MHz -es decir, una separación de 800kHz entre señales, lo que da un amplio margen de maniobra).

El concepto detrás de la transmisión de señales de audio en estéreo a través de ondas radiales, es sumamente ingenioso. Como sabemos, cuando se modula una señal montándola sobre una cierta frecuencia portadora, alrededor de esta última aparecen unos lóbulos donde está contenida precisamente la información que se va a transmitir; sin embargo, si se tiene un amplio rango de maniobra, es posible introducir

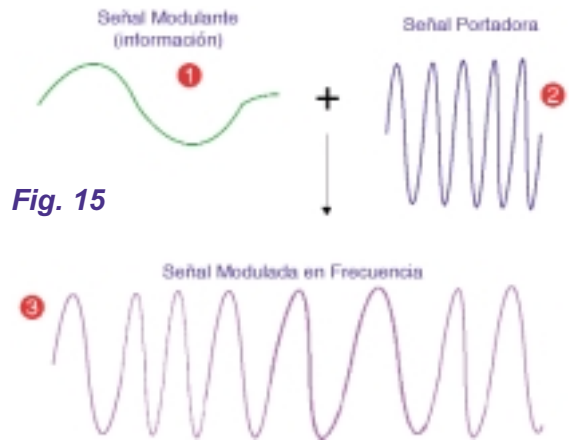
señales adicionales al audio principal, de modo que sirvan para distintos propósitos. En el caso concreto de la modulación FM estéreo, los investigadores dividieron la banda asignada a los lóbulos laterales de la siguiente manera (figura 16A):

- En primer lugar, para colocar la señal original que se quiere transmitir, mezclaron las señales correspondientes a los canales derecho e izquierdo (señal $L + R$).

- Inmediatamente después, y sólo en caso de que la estación esté transmitiendo en estéreo, se envía una señal "piloto" que sirve para indicar al receptor que es necesario procesar la señal para que se puedan recuperar ambos componentes de la señal estereofónica.

- A continuación se envía otra banda de audio, resultante ahora de restar las señales de canal derecho e izquierdo (señal $L - R$). En un receptor FM monoaural, esta banda no es aprovechada, pero en uno estereofónico, dicha banda se combina con la primera para obtener finalmente las señales de canal L y de canal R ; de esta forma se obtiene una señal estéreo de una transmisión radial. Aun cuando este procedimiento también puede realizarse con la modulación en amplitud, la baja calidad del audio obtenido de la señal AM ha desalentado cualquier esfuerzo por popularizar la transmisión AM estéreo.

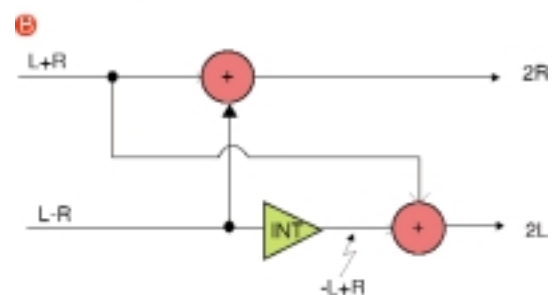
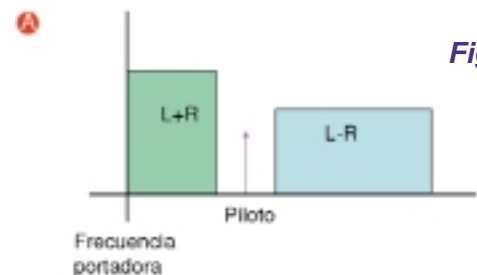
- Para conseguir la separación de canales en el receptor, las señales $L + R$ y $L - R$ pasan por un proceso de suma y resta (figura 16B), en donde de la suma de ambas se obtiene exclusivamente la señal L , y de



la resta se obtiene la señal R . Cada una de éstas puede entonces canalizarse hacia una bocina independiente, para disfrutar así de una señal de audio estereofónica prácticamente libre de interferencias.

Sin duda alguna, estas son las dos bandas de radio más utilizadas comercialmente en el mundo; mas no son las únicas. Existen también bandas de onda corta, de radio-aficionados, de servicios de emergencia, etc.

Es más, puesto que en la actualidad estamos llegando al límite de saturación del espectro electromagnético, a los investigadores no les ha quedado otro recurso que comenzar a explotar frecuencias muy altas que hace pocos años se consideraban inalcanzables. Y todo esto, gracias al avance de la tecnología electrónica y de comunica-



Transistores de Efecto de Campo

ciones.

Los FET s

Los transistores de efecto de campo son dispositivos electrónicos con tres terminales que controlan, mediante la aplicación de tensión en uno ellos, el paso de la corriente eléctrica que los atraviesa; por eso se dice que “la corriente” es controlada por un efecto electrostático llamado **efecto de campo**.

Es común encontrar a los FET's como elementos activos en circuitos osciladores, amplificadores y de control. Debido a que el control de estos dispositivos se hace con tensiones y no con corrientes eléctricas, el consumo de éstas se minimiza. Esta característica es la que los hace especialmente atractivos para utilizarse como componentes básicos de construcción de sistemas cuyos consumos de energía son críticos; por ejemplo, en computadoras portátiles, en *walkmans* o teléfonos celulares, por mencionar sólo algunos.

EL JFET

Un FET de unión cuenta con una sección de semiconductor tipo N, un extremo inferior denominado **fuente** y uno superior llamado **drenaje o drenador**; ambos son análogos al emisor y colector de un transistor bipolar.

Para producir un JFET, se difunden dos áreas de semiconductor tipo P en el semiconductor tipo N del FET. Cada una de estas zonas P se denomina **compuerta o puerta** y es equivalente a la base de un transistor bipolar (figura 1).

Cuando se conecta una terminal y así se separa cada puerta, el transistor se llama **“JFET de doble compuerta”**. Estos dispositivos de doble puerta se utilizan principal-

mente en mezcladores (tipo MPF4856), que son circuitos especiales empleados en equipos de comunicación.

La mayoría de los JFET tienen sus dos puertas conectadas internamente para formar una sola terminal de conexión externa; puesto que las dos puertas poseen el mismo potencial, el dispositivo actúa como si tuviera sólo una.

Debido a que existe una gran analogía entre un dispositivo JFET y un transistor bipolar, muchas fórmulas que describen el comportamiento de aquél son adaptaciones de las denominaciones utilizadas en este último (tabla 1).

Efecto de campo

El efecto de campo es un fenómeno que se puede observar cuando a cada zona del semiconductor tipo P la rodea una capa de depleción (figura 2); la combinación entre los huecos y los electrones crea las capas de depleción.

Cuando los electrones fluyen de la fuente al drenador, deben pasar por el estrecho canal situado entre la zona semiconductora; la tensión de la puerta controla el ancho del canal y la corriente que fluye de la fuente al drenador. Cuanto más negativa sea la tensión, más estrecho será el canal y menor será la corriente del drenador. Casi todos los electrones libres que pasan a través del canal fluyen hacia el drenador; en consecuencia, $I_D = I_S$.

Si se considera que se encuentra polarizada en forma inversa la puerta de un JFET, éste actuará como un dispositivo controlado por tensión y no como un dispositivo controlado por corriente. En un JFET, la magnitud de entrada que se controla es la tensión puerta-fuente V_{GS} (figura 3). Los cambios en V_{GS} determinan

Fig. 1

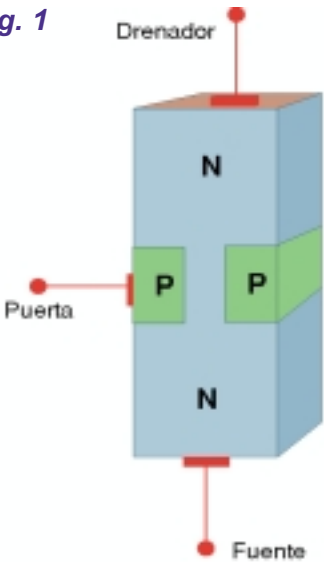
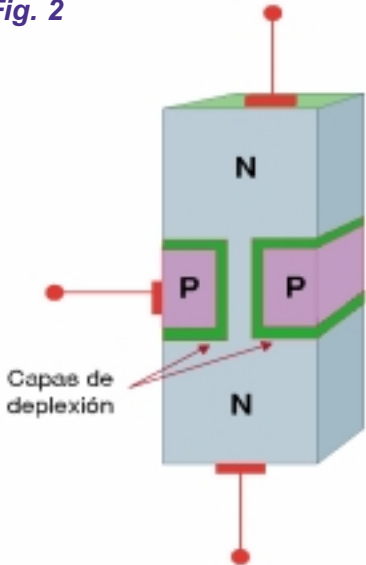


Fig. 2



cuánta corriente puede circular de la fuente al drenador; esta es la principal diferencia con el transistor bipolar, el cual controla la magnitud de la corriente de base (I_B).

EL MOSFET DE EMPOBRECIMIENTO

El FET de semiconductor óxido-metal o MOSFET, está integrado por una fuente, una puerta y un drenador. La característica principal que lo distingue de un JFET, es que su puerta se encuentra aislada eléctricamente del canal; por esta causa, la corriente de puerta es extremadamente pequeña en ambas polaridades.

Transistor bipolar	Denominación	Dispositivo JFET	Denominación
Emisor	E	Fuente	S
Base	B	Puerta	G
Colector	C	Drenador	D

Fig. 3

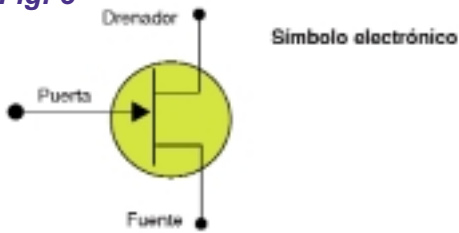


Fig. 4

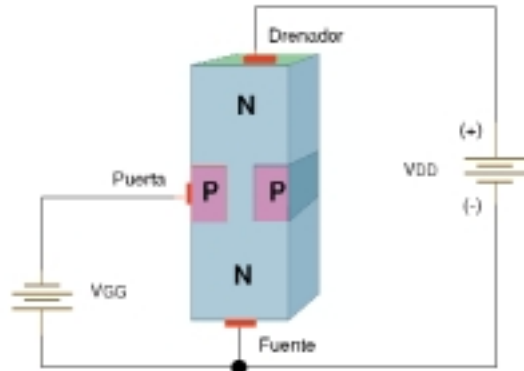
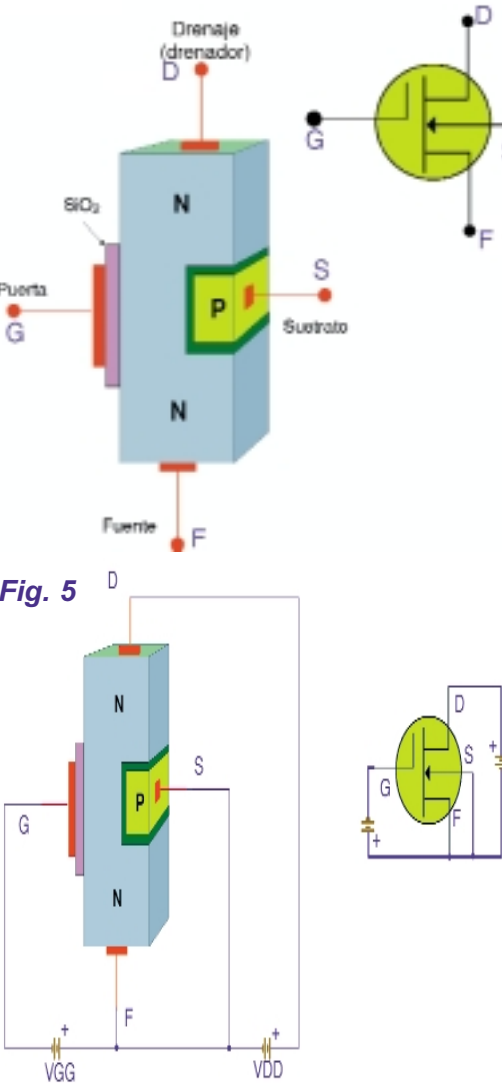


Fig. 5



Un MOSFET de empobrecimiento de canal N, también denominado MOSFET de depleción, se compone

de un material N con una zona P a la derecha y una puerta aislada a la izquierda (figura 4). A través del material N, los electrones libres pueden circular desde la fuente hasta el drenador; es decir, atraviesan el estrecho canal entra la puerta y la zona P (esta última, denominada "sustrato" o "cuerpo").

Una delgada capa de dióxido de silicio (SiO_2) se deposita en el lado izquierdo del canal. El dióxido de silicio aísla la puerta del canal, permitiendo así la circulación de una corriente de puerta mínima aun y cuando la tensión de puerta sea positiva.

En el MOSFET de empobrecimiento con tensión de puerta negativa, la tensión de alimentación V_{DD} obliga a los electrones libres a circular de la fuente al drenador; fluyen por el canal estrecho a la izquierda del sustrato P (figura 5). Como sucede en el JFET, la tensión de puerta controla el ancho del canal.

La capacidad para usar una tensión de compuerta positiva, es lo que establece una diferencia entre un MOSFET de empobrecimiento y un JFET. Al estar la puerta de un MOSFET aislada eléctricamente del canal, podemos aplicarle una tensión positiva para incrementar el número de electrones libres que viajan por dicho conducto; mientras más positiva sea la puerta, mayor será la corriente que vaya de la fuente al drenador.

MOSFET DE ENRIQUECIMIENTO

Aunque el MOSFET de empobrecimiento es muy útil en situaciones

especiales (circuitos de carga de batería o control de encendido de camas fluorescentes), no tiene un uso muy extenso; pero sí desempeña un papel muy importante en la evolución hacia el MOSFET de enriquecimiento (*tambi n llamado MOSFET de acumulaci n*), que es un dispositivo que ha revolucionado la industria de la electrónica digital y de las comjputadoras. Sin él no existirían computadoras personales, que en la actualidad tienen un uso muy amplio.

En el MOSFET de enriquecimiento de canal N, el sustrato o cuerpo se extiende a lo ancho hasta el dióxido de silicio; como puede observar en la figura 6A, ya no existe una zona N entre la fuente y el drenador.

En la figura 6B se muestra la tensión de polarización normal. Cuando la tensión de la puerta es nula, la alimentación V_{DD} intenta que los electrones libres fluyan de la fuente al drenador; pero el sustrato P sólo tiene unos cuantos electrones libres producidos térmicamente. Aparte de estos portadores minoritarios y de alguna fuga superficial, la corriente entre la fuente y el drenador es nula.

Por tal motivo, el MOSFET de enriquecimiento está normalmente en corte cuando la tensión de la puerta es cero. Este dato es completamente diferente en los dispositivos de empobrecimiento, como es el caso del JFET y del MOSFET de empobrecimiento.

Cuando la puerta es lo suficientemente positiva, atrae a la región P electrones libres que se recombinan con los huecos cercanos al dióxido de silicio. Al ocurrir esto, todos los huecos próximos al dióxido de silicio desaparecen y los electrones libres empiezan a circular de la fuente al drenador.

El efecto es idéntico cuando se crea una capa delgada de material tipo N próxima al dióxido de silicio.

Esta capa conductora se denomina «capa de inversión tipo N». Cuando el dispositivo se encuentra en estado de corte y de repente entra en conducción, los electrones libres pueden circular fácilmente de la fuente al drenador.

A MOSFET de enriquecimiento. Observe que la zona P se extiende a lo ancho del dispositivo.

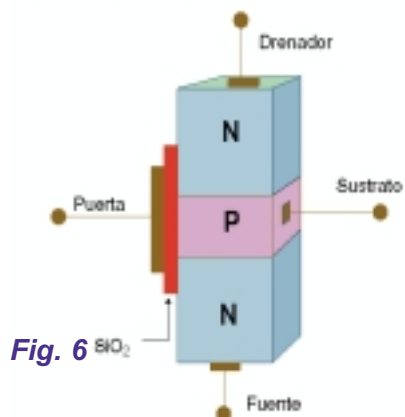
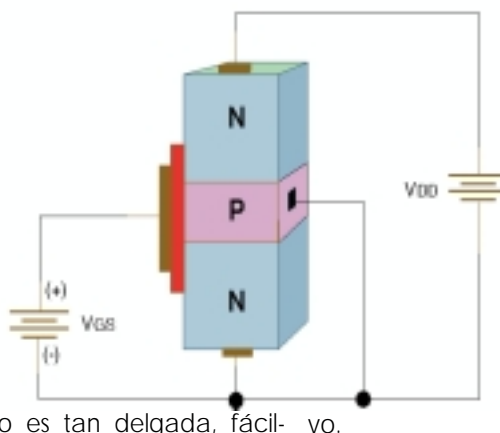


Fig. 6

B Polarización normal de un MOSFET



La V_{GS} mínima que crea la capa de inversión tipo N se llama **tensión umbral** (V_{GS-Th}). Cuando V_{GS} es menor que V_{GS-Th} , la corriente del drenador es nula; pero cuando V_{GS} es mayor que V_{GS-Th} , una capa de inversión tipo N conecta la fuente al drenador y la corriente del drenador es grande. Dependiendo del dispositivo en particular que se use, V_{GS-Th} puede variar desde menos de 1 hasta más de 5 volt.

Los JFET y los MOSFET de empobrecimiento están clasificados como tales porque su conductividad depende de la acción de las capas de depleción. El MOSFET de enriquecimiento está clasificado como un dispositivo de enriquecimiento porque su conductividad depende de la acción de la capa de inversión de tipo N. Los dispositivos de empobrecimiento conducen normalmente cuando la tensión de puerta es cero, mientras que los dispositivos de enriquecimiento están normalmente en corte cuando la tensión de la misma es también cero.

PROTECCIÓN DE LOS FETs

Como mencionamos anteriormente, los MOSFET contienen una delgada capa de dióxido de silicio que es un aislante que impide la corriente de puerta para tensiones de puerta tanto positivas como negativas. Esta capa de aislamiento se debe mantener lo más delgada posible, para proporcionar a la puerta mayor control sobre la corriente de drenador. Debido a que la capa de

aislamiento es tan delgada, fácilmente se puede destruir con una tensión **compuerta-fuente** excesiva; por ejemplo, un 2N3796 tiene una $V_{GS\ MAX}$ de ± 30 volts. Si la tensión puerta-fuente es más positiva de +30 volts o más negativa de -30 volts, la delgada capa de aislamiento será destruida.

Otra manera en que se destruye la delgada capa de aislamiento, es cuando se retira o se inserta un MOSFET en un circuito mientras la alimentación está conectada; las tensiones transitorias causadas por efectos inductivos y otras causas, pueden exceder la limitación de $V_{GS\ MAX}$. De esta manera se destruirá el MOSFET incluso al tocarlo con las manos, ya que se puede depositar suficiente carga estática que exceda a la $V_{GS\ MAX}$. Esta es la razón por la que los MOSFET frecuentemente se empaquetan con un anillo metálico alrededor de los terminales de alimentación.

Muchos MOSFET están protegidos con diodos zener internos en paralelo con la puerta y la fuente. La tensión zener es menor que la $V_{GS\ MAX}$; en consecuencia, el diodo zener entra en la zona de ruptura antes de que se produzca cualquier daño a la capa de aislamiento. La desventaja de los diodos zener internos es que reducen la alta resistencia de entrada de los MOSFET.

Advertimos que los dispositivos MOSFET son delicados y se destruyen fácilmente; hay que manejarlos cuidadosamente. Asimismo, nunca se les debe conectar o desconectar mientras la alimentación esté

vo.

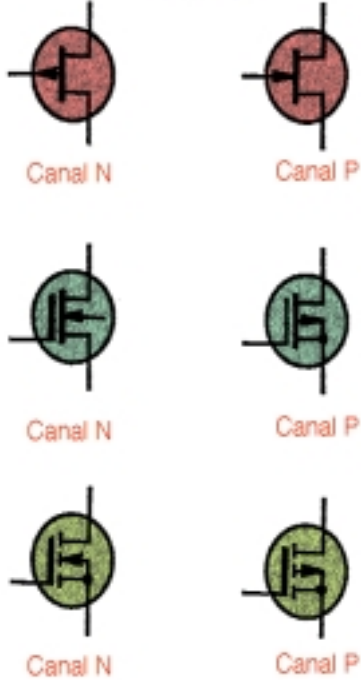
FUNCIONAMIENTO DEL TRANSISTOR DE EFECTO DE CAMPO

Los transistores de efecto de campo (T.E.C o F.E.T), representan una importante categoría de semiconductores, que combinan las ventajas de las válvulas de vacío (precursoras en el campo de la electrónica) con el pequeño tamaño de los transistores. Poseen una serie de ventajas con respecto a los transistores bipolares, las cuales se pueden resumir de la siguiente manera:

- Rigidez mecánica.
- Bajo consumo.
- Amplificación con muy bajo nivel de distorsión, aun para señales de RF.
- Bajo ruido.
- Fácil de fabricar, ocupa menor espacio en forma integrada.
- Muy alta resistencia de entrada (del orden de los 10^{12} a 10^{15} ohm).

En cuanto a las desventajas, los transistores de efecto de campo poseen un pequeño producto ganancia-ancho de banda y su costo comparativo con los bipolares equivalentes es alto. Son muchas las clases de transistores de efecto de campo existentes y se los puede clasificar según su construcción, en transistores FET de juntura (TEC-J o J-FET) y transistores FET de compuerta aislada (IG-FET). A su vez, los FET de compuerta aislada pueden ser: a) de vaciamiento o estrechamiento de canal (lo que genera un canal

Fet de Juntura (J-FET) Fig. 7



permanente) y b) de refuerzo o ensanchamiento de canal (lo que produce un canal inducido).

Los símbolos más utilizados para representar los transistores recién presentados aparecen en la figura 7.

En los transistores de efecto de campo, el flujo de corriente se controla mediante la variación de un campo eléctrico que queda establecido al aplicar una tensión entre un electrodo de control llamado compuerta y otro terminal llamado fuente, tal como se muestra en la figura 8.

Analizando la figura, se deduce que es un elemento "unipolar", ya que en él existe un sólo tipo de portadores: huecos para canal P y electrones para canal N, siendo el canal, la zona comprendida entre los terminales de compuerta y que da origen al terminal denominado "drenaje". La aplicación de un potencial inverso da origen a un campo eléctrico asociado que, a su vez, determina la conductividad de la región y en consecuencia el ancho efectivo del canal, que irá decreciendo progresivamente a medida que aumenta dicha polarización aplicada, tal como puede deducirse del diagrama de cargas dibujado en la misma figura 8.

De esta manera, la corriente que circulará desde la fuente hacia el drenaje, dependerá de la polarización inversa aplicada entre la compuerta y la fuente.

Se pueden levantar curvas características que expresen la corriente circulante en función de la tensión entre drenaje y fuente, para una determinada tensión de polarización inversa entre la compuerta y la fuente. Para un transistor J-FET de canal N las características de transferencia y salida son las que se observan en la figura 9.

Del análisis de dichas curvas surge que:

$$I_D = \frac{I_{DSS}}{V_p^2} \cdot (V_{GS} - V_p)^2$$

donde:
 I_{DSS} = Máxima Corriente Estática de Drenaje

V_p = Tensión de Bloqueo
La expresión dada es válida para:

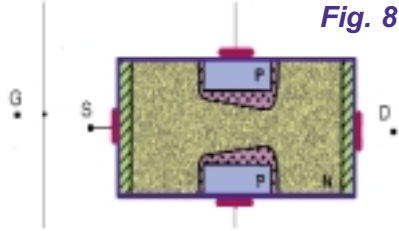
$$V_{DS} \geq V_p - V_{GS}$$

Condición conocida como "de canal saturado".

DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE TRABAJO ESTÁTICO DEL FET

Para saber cómo se determina

Fig. 8



el punto de trabajo estático del transistor (punto Q), nos valemos del circuito graficado en la figura 10.

Para dicho circuito, suponemos que los diferentes elementos que lo integran, tienen los siguientes valores:

- $V_{DD} = 12 \text{ V}$
- $R_D = 1 \text{ k}\Omega$
- $V_{GG} = 2 \text{ V}$
- $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$
- $V_p = -4 \text{ V}$

Del circuito propuesto, recorriendo la malla de entrada, se deduce que:

$$V_{GS} + V_{GG} = 0$$

luego:

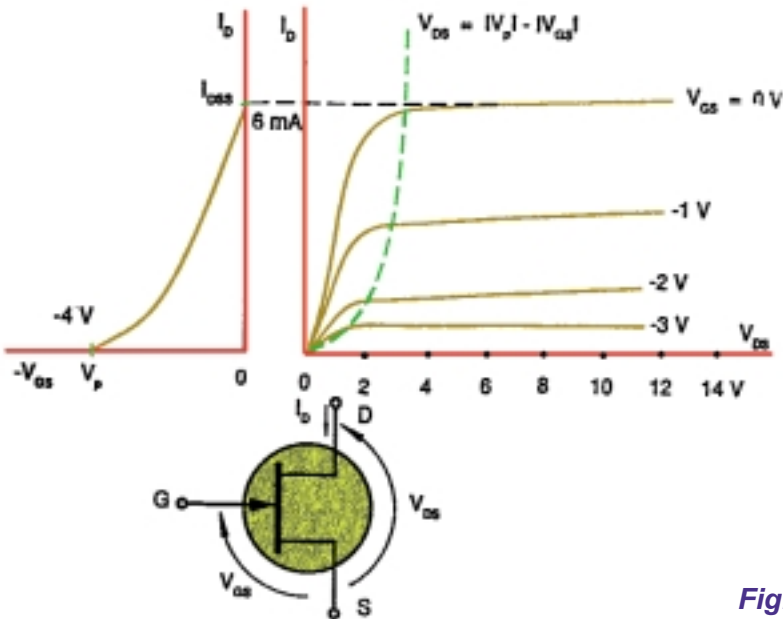
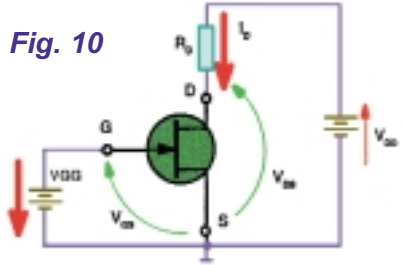
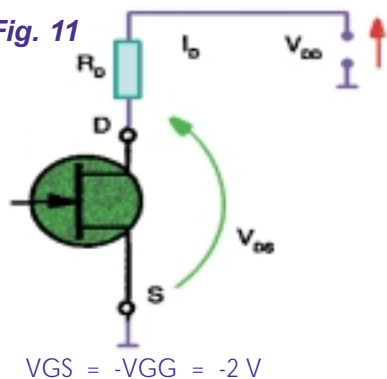


Fig. 9

Fig. 11



$$V_{GS} = -V_{GG} = -2V$$

En condiciones de reposo, la corriente de drenaje se calcula:

$$I_{DQ} = \frac{I_{DSS}}{V_p^2} \cdot (V_{GS} - V_p)^2$$

reemplazando valores:

$$I_{DQ} = \frac{10mA}{4V^2} \cdot [(-2V) - (-4V)]^2$$

$$I_{DQ} = 2,5mA$$

Para continuar con el cálculo recorremos la malla de salida, la cual para simplificar se representa en la figura 11. De ella resulta:

$$V_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} \cdot R_D$$

$$\begin{aligned} \text{Reemplazando valores:} \\ V_{DSQ} &= 12V - 2,5mA \cdot 1k\Omega \\ V_{DSQ} &= 9,5V \end{aligned}$$

Para saber si el cálculo es correcto, verificamos la condición de "canal saturado", es decir, veremos si el transistor opera dentro de la característica plana de las curvas de salida. Para ello, debe cumplirse que:

$$V_{DS} \geq V_p - V_{GS}$$

reemplazando valores:

$$9,5V \geq 4V - 2V$$

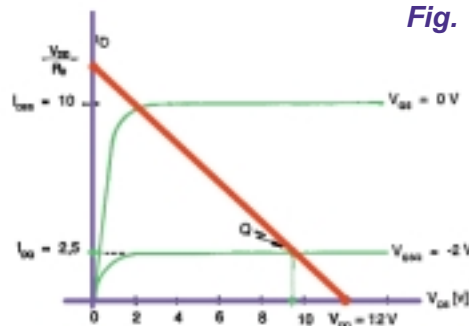
por lo tanto:

$$9,5V \geq 2V$$

Lo cual es correcto.

Gráficamente, trazamos la recta de carga estática (R.C.E.) sobre las características de salida y verificamos el punto de reposo "Q", lo cual se verifica en la figura 12.

Fig. 12



Un punto de la curva será:

$$V_{DS} = 0 ; I_D = V_{DD}/R_D$$

Reemplazando valores:

$$V_{DS} = 0V ; I_D =$$

$$V_{DS} = 12V/1000\Omega = 12mA$$

El otro punto de la recta se calcula:

$$V_{DS} = V_{DD} ; I_D = 0$$

Reemplazando valores:

$$V_{DS} = 12V ; I_D = 0mA$$

Trazada la recta estática de carga, se comprueba que al cortar la

Intercomunicador por la Red Eléctrica

misma a la curva de salida para $V_{GS} = -2V$, se obtiene $I_{DQ} = 2,5mA$ y $V_{DSQ} = 9,5V$.

En principio, podemos decir que este circuito es un "timbre portátil", porque al ser colocado en una habitación, puede ser trasladado a otro ámbito según los requerimientos que se deseen cumplir, sin tener que instalar cables para su conexión. La ventaja del circuito es que es posible hacer varios receptores que funcionen con un "único" transmisor, o varios transistores que funcionen con un único receptor. Además, se pueden construir dos transmisores y dos receptores para que el sistema funcione como intercomunicador. El dispositivo básico entonces, puede

ser considerado como un timbre que no precisa cables para su instalación y está constituido por un pequeño transmisor y un simple receptor que funcionan en una frecuencia de 100kHz.

La señal que genera el transmisor se conduce hacia el receptor a través de los cables de la instalación eléctrica de su casa y funciona con la base de la transmisión de señales por medio de una portadora que puede ser recepcionada por diferentes equipos instalados en varios puntos de la red. Es por ello, que el circuito tiene sus limitaciones, en especial se debe conectar el sistema de manera tal que las masas tanto del transmisor como del receptor queden so-

bre un mismo conductor de la red, de tal manera que conectando la ficha sobre el toma, simple y llanamente no va a funcionar, por lo cual se deberá invertir la ficha. Dicho de otra manera: si al enchufar el aparato nada capta, la solución es invertirlo.

EL CIRCUITO TRANSMISOR

El sistema está formado por un transmisor y un receptor.

El esquema eléctrico del transmisor se muestra en la figura 1. Está constituido por tres transistores y un circuito de alimentación, que no precisa transformador reductor.

En serie con la ficha de conexión a la red se conecta el

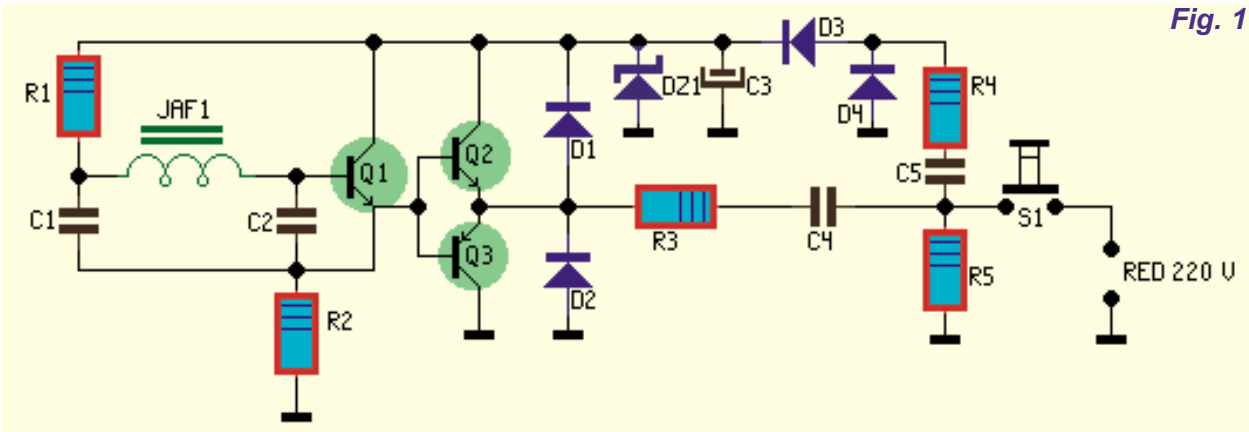


Fig. 1

pulsador P1, de tal manera que en el momento de accionarlo, sonará la chicharra del receptor. El funcionamiento es sencillo, al accionar este botón se aplicará la tensión de red al capacitor C5, cuya carga limita la tensión que será aplicada al transmisor. La tensión alterna de alimentación es rectificada por los dos diodos DS-3 y DS-4 y se filtra por el capacitor C3.

El diodo zéner DZ1, en paralelo con C3, estabiliza la tensión de alimentación a un valor de 30V. El transmisor consiste en un oscilador formado por Q1 y sus componentes asociados, como la bobina JAF1, una impedancia de audiofrecuen-

cia de 1mH y dos capacitores de 4,7nF (C1-C2).

Este circuito genera una frecuencia de alrededor de

la masa del sistema.

La señal de 100kHz generada por Q1, llegará a las bases de los transistores Q2 y Q3 que están conectados en push-pull, y que constituyen la etapa amplificadora final de potencia.

Los emisores de Q2 y Q3 tienen una señal de 100kHz con una amplitud del orden de los 25V pico a pico y por medio de la resistencia R3 y el capacitor C4, se inserta al cable de la red eléctrica de 220V, es decir, que cualquier receptor conectado en la misma instalación la puede captar. El circuito consume corrien-

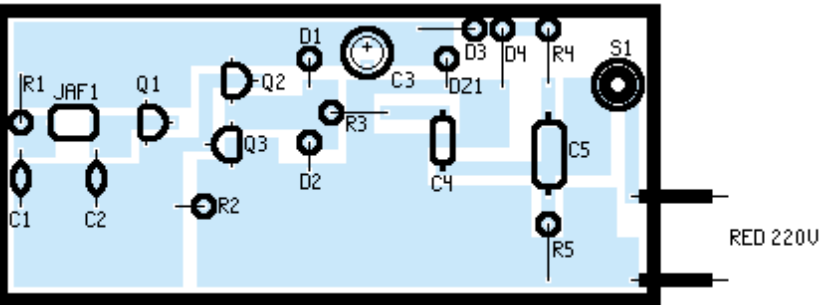
te sólo al pulsar el botón P1 y su valor no llega a los 10mA. Cabe destacar que, si se desea transmitir una señal de audio, como por ejemplo la voz humana, en lugar del oscilador habrá que conectar un pequeño transmisor de AM de los muchos publicados en Saber Electrónica (Saber N° 5, Saber N° 28, etc.), esto reduce su tensión de alimentación por medio de un regulador zéner y conectará la salida a las bases de Q2 y Q3. Si desea utilizar el aparato sólo como timbre sin cable, puede armar el transmisor de la figura 1 en una placa de circuito impreso como la mostrada en la figura 2.



CIRCUITO
ARMADO DEL
TRANSMISOR



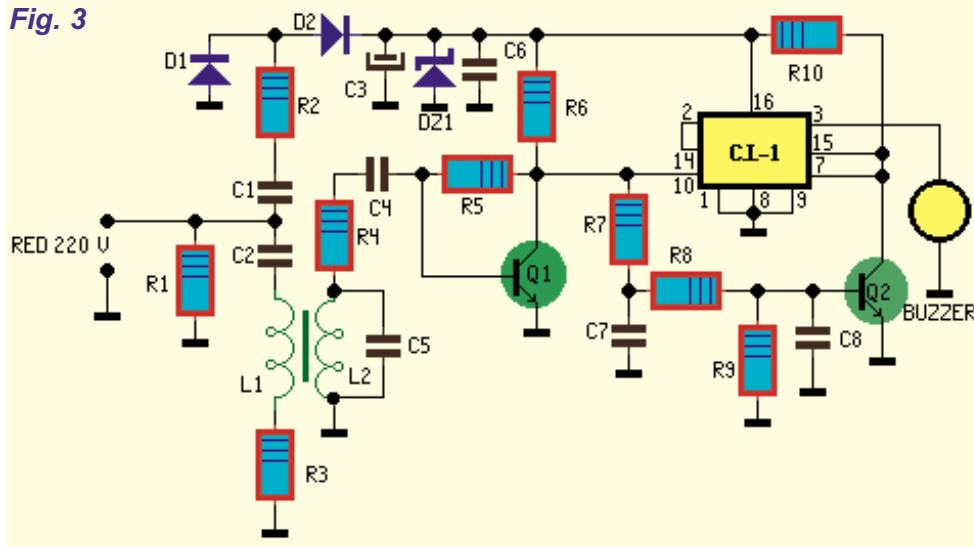
Fig. 2



te sólo al pulsar el botón P1 y su valor no llega a los 10mA. Cabe destacar que, si se desea transmitir una señal de audio, como por ejemplo la voz humana, en lugar del oscilador habrá que conectar un pequeño transmisor de AM de los muchos publicados en Saber Electrónica (Saber N° 5, Saber N° 28, etc.), esto reduce su tensión de alimentación por medio de un regulador zéner y conectará la salida a las bases de Q2 y Q3. Si desea utilizar el aparato sólo como timbre sin cable, puede armar el transmisor de la figura 1 en una placa de circuito impreso como la mostrada en la figura 2.

EL CIRCUITO RECEPTOR

Fig. 3



En la figura 3 vemos el esquema eléctrico del receptor, en el mismo se usan dos transistores y un integrado CMOS tipo CD4528.

El circuito se conecta a un toma cualquiera de la corriente eléctrica y posee una etapa de alimentación formada por el capacitor C1, la resistencia R2 y los dos diodos rectificadores DS1-DS2. El capacitor electrolítico de filtro C3 y el diodo zéner DZ1 estabilizan la tensión de alimentación en 15V.

C2 cumple la función de "captar" la señal de 100kHz generada por el transmisor y conducirla hacia la bobina L1. El arrollamiento de L1 está hecho sobre un núcleo toroidal común que tiene un segundo arrollamiento (L2), de forma tal que la señal que está en L1 pasará inductivamente a L2. El arrollamiento secundario hará sintonía con la frecuencia de 100kHz por medio del capacitor C5 de 2,2nF.

La función de Q1 es la de amplificar la señal débil que está en la bobina L2, para aplicarla a la entrada del circuito integrado por medio de su pata 10. Este integrado CMOS se utiliza para dividir por 20 la señal de 100kHz, por lo tanto en su salida (pata 3), se verá una frecuencia audible, que se puede emplear en la chicha-

rra piezoeléctrica marcada en el esquema eléctrico como CP1. El transistor Q2 cumple la función "squelch", que quiere decir, que desecha todas las interferencias espúreas que están en la línea de red y bloquea el funcionamiento del integrado divisor que no están

componentes asociados.

Si va a utilizar el sistema como timbre sin cables, puede armar el receptor de la figura 3 en un circuito impreso como el mostrado en la figura 4.

Al montar el circuito transmisor de la figura 1 debe tomar en cuenta que Q1 y Q2

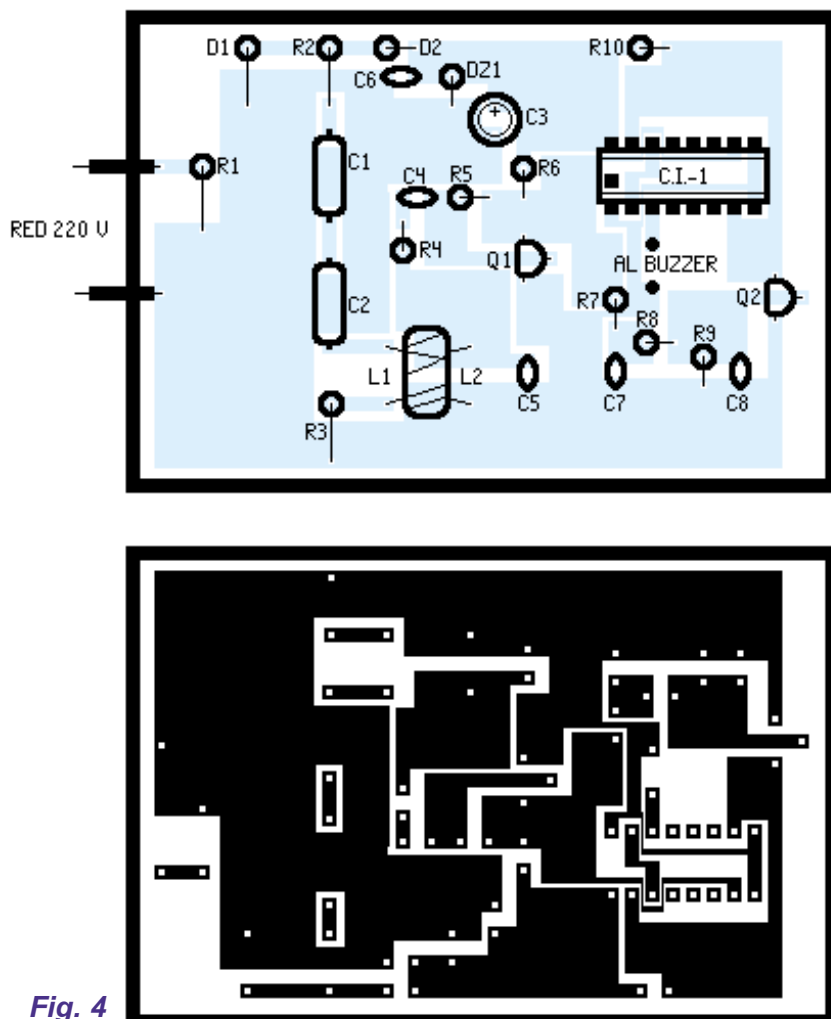


Fig. 4

El Surgimiento de la Radio

son dos NPN clase BC237, y que Q3 es un tipo BC328.

Con un osciloscopio, se puede verificar si entre los dos emisores de Q2 y Q3 y la masa, está la señal presente de onda cuadrada de unos 25V pico a pico, de 100kHz.

ATENCIÓN:

Los componentes están conectados a la tensión de red de 220V en forma directa, de modo que no hay que tocarlos para que no sufra una fuerte descarga eléctrica.

Para armar el receptor, lo primero que hay que efectuar es el arrollamiento alrededor del núcleo toroidal de las bobinas L1 y L2.

Para efectuar el arrollamiento se usará cable recubierto de plástico, o alambre esmaltado de 1 mm de diámetro. Para la bobina L1 se darán 6 vueltas alrededor del núcleo, para la L2, 16 vueltas alrededor del núcleo. Se aconseja montar IC1 en un zócalo.

Para verificar el funcionamiento del timbre, se debe colocar el transmisor en un tomacorriente y el receptor en otro, dentro de una misma habitación, luego se aprieta el botón de llamada, y se verifica la reproducción en el piezoeléctrico del receptor.

Si no se escucha la chicharra, invierta la ficha sobre el toma y vuelva a repetir la experiencia. Si la masa del transmisor y la masa del receptor no están en el mismo cable de la red eléctrica, el circuito no

funcionará, luego si se invierte la ficha (sólo la del receptor) pero el sistema igualmente no funciona, quiere decir que hay algún error.

Si se tiene un Generador de BF, para verificar el funciona-

C3 = 100 μ F x 25V – cap.electrolítico
C4 = 47nF x 400V – capacitor de poliéster
C5=330nF x 400V – capacitor de poliéster
D1 a D4 = diodo 1N4007 diodos rectificadores

DZ1 = diodo zener de 30V x 1 watt

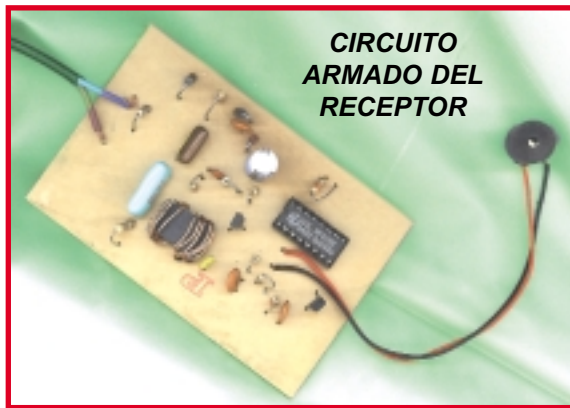
JAF1 = impedancia de 1mH

Q1 =NPN tipo BC237 o BC548

Q2 =NPN tipo BC237 o BC548

Q3 =PNP tipo BC328 o BC558

S1 = pulsador normal abierto



LISTA DE MATERIALES DEL RECEPTOR

R1 = 10M Ω

R2 = 1k Ω

R3 = 47 Ω

R4 = 3k3

R5 = 330k Ω

R6 = 10k Ω

R7 = 120k Ω

R8 = 100k Ω

R9 = 27k Ω

R10 = 22k Ω

C1, C6, C7, C8 = 0,1 μ F - capacitores cerámicos

C2 = 47nF – capacitor de poliéster

C3 = 47 μ F x 25V – cap. electrolítico

C4 = 4,7nF – capacitor cerámico

C5 = 2,2nF – capacitor cerámico

D1, D2 = 1N4007 – diodos rectificadores

DZ1 = diodo zéner de 15V por 1W

L1, L2 = ver texto

Q1, Q2 = BC548 – transistores NPN de uso general

IC1 = CD4520 – Circuito integrado CMOS divisor por 10.

Tr = Transductor piezoeléctrico

Varios

Placas de circuito impreso, gabinetes para el montaje, cables de conexión, fichas para 220V, estaño, etc. *****

miento del receptor, se puede aplicar una señal de externa de 100kHz de onda cuadrada en paralelo con la bobina L2. Hay que tomar en cuenta que en todo el circuito impreso circula la corriente de red de 220V, por lo tanto no se deben tocar las pistas con los dedos, luego, girando la sintonía del generador llegará un momento en que se produzca el zumbido del traductor piezoeléctrico. Si el receptor funciona de esta forma, quiere decir que el error está en el transmisor, por lo cual se deberá verificar su funcionamiento.

LISTA DE MATERIALES DEL TRANSMISOR

R1 = 100k Ω

R2 = 3k3

R3 = 47 Ω

R4 = 1k Ω

R5 = 10M Ω

C1, C2 =4,7nF – capacitores de poliéster