

Enciclopedia Visual de la Electrónica

El Mundo de la Electrónica

Audio, TV, Video Computadoras
Microprocesadores

CAPITULO 1

PRINCIPIOS DE GENERACION DE LA ELECTRICIDAD

Formas de generar electricidad
Electricidad por fricción o inducción
Electricidad por reacción química
Componentes y aplicaciones de las pilas
Fabricación de una pila primaria

Electricidad por presión
Electricidad por calor
Electricidad por luz
Aplicaciones del efecto fotoeléctrico

Efecto fotoiónico
Efecto termoelectrico
Efecto fotovoltaico

Electricidad por magnetismo

UN VISTAZO A LA ELECTRONICA DE HOY

El imperio de los bits
Ventajas de la tecnología digital
Comunicaciones

Audio y video

El DVD

La televisión de alta definición

Métodos de grabación de audio digital

Proceso digital de audio

Procesamiento de datos

Microprocesadores

Capacidad de almacenamiento de datos

Internet

CAPITULO 2

¿QUE ES LA ELECTRICIDAD Y QUE LA ELECTRONICA?

Estructura atómica

Átomos: protones, electrones y neutrones

Constitución del átomo: protones, electrones y neutrones

Iones positivos y negativos

Conductores, semiconductores y aislantes

Flujo de electrones

Diferencia de potencial, tensión, fuerza

electromotriz

Corriente eléctrica
Resistencia eléctrica
Conductancia
Clasificación de los resistores
Código de colores para resistores
Pilas y baterías

CONDUCCION DE LA CORRIENTE ELECTRICA

Los conductores y los aislantes
La electricidad como fluido
Tipos de conductores
Campo eléctrico y corriente eléctrica
El campo eléctrico
Corriente electrónica y corriente convencional
Velocidad de la corriente

LA REVOLUCION DE LOS MEDIOS OPTICOS

Medios de soporte de información
El surgimiento de la tecnología óptica
Luz y protuberancias

Tecnología digital

Otros sistemas ópticos

El disco láser de video

El CD-ROM - El CD-I

El Photo-GD

Los medios magneto-ópticos

El DVD

CAPITULO 3

RESISTENCIA ELECTRICA

La resistencia eléctrica

Unidad de resistencia

La ley de Ohm

Resistividad

Circuito eléctrico

Otra vez la ley de Ohm

Cálculo de la corriente

Cálculo de la resistencia

Cálculo de la tensión

Los resistores en la práctica

La ley de Joule

Unidades de potencia, energía y calor

Calor específico de los materiales

DIODOS SEMICONDUCTORES

Introducción

Diodos semiconductores, rectificadores, zéner,

de corriente constante, de recuperación en escalón,

invertidos, túnel, varicap, varistores,

emisores de luz
Otros tipos de LED

CAPITULO 4

ASOCIACION DE RESISTORES, ASOCIACION DE PILAS, POTENCIA ELECTRICA

Asociación de resistores

Asociación de pilas

Potencia eléctrica

Cálculo de potencia

Aplicación de la ley de Joule

Potencia y resistencia

CAPACITORES

La capacidad

Capacitores planos

La energía almacenada en un capacitor

Los capacitores en la práctica

Asociación de capacitores

Capacitores de papel y aceite

El problema de la aislación

Capacitores de poliéster y policarbonato, de

poliestireno, cerámicos, electrolíticos

Capacitores variables y ajustables

Dónde usar los trimmers

Tensión de trabajo

Capacitores variables

Banda de valores

POR QUE APARECIERON LOS TRANSISTORES

Comienza la revolución digital

En el principio fue la válvula de vacío

Surge el transistor

¿Qué es en realidad un semiconductor?

Principio de operación de un transistor

Transistores contenidos en obleas de silicio

Surgen los microprocesadores

Familias MOS y MOSFET

Transistores de altas potencias

Futuro del transistor

CAPITULO 5

MAGNETISMO E INDUCTANCIA MAGNETICA

El efecto magnético

Campo eléctrico y campo magnético

Propiedades magnéticas de la materia

Cálculos con fuerzas magnéticas

Dispositivos electromagnéticos

Electroimanes y solenoides

Relés y Reed-relés

Los galvanómetros

Los inductores

LOS COMPONENTES DE CORRIENTE ALTERNA

Corriente continua y corriente alterna
Representación gráfica de la corriente alterna
Reactancia
Reactancia capacitiva
Fase en el circuito capacitivo
Reactancia inductiva
Fase en el circuito inductivo
¿Qué es una señal?

TIRISTORES Y OTROS DISPOSITIVOS DE DISPARO

Los tiristores
Rectificador controlado de silicio
Interrupción controlada de silicio
FotoSCR
Diodo de cuatro capas
SUS, TRIAC, DIAC, SBS, SIDAC, UJT

CAPITULO 6

LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS

La naturaleza de las ondas electromagnéticas
Polarización
Frecuencia y longitud de onda
El espectro electromagnético y las ondas de radio

Espectro electromagnético

EL TRANSISTOR COMO AMPLIFICADOR

Configuraciones circuitales básicas
El amplificador base común
El amplificador emisor común
El amplificador colector común
Resumen sobre polarización
Recta estática de carga
Recta dinámica de carga
Cálculo de los capacitores de paso
Acoplamientos interetapas
a) Acoplamiento RC
b) Acoplamiento a transformador
c) Acoplamiento directo

FUNDAMENTOS FISICOS DE LA REPRODUCCION DEL SONIDO

Propagación de las vibraciones u ondas
La onda de sonido
Características físicas
Frecuencia o tono
Amplitud
Intensidad
Timbre
Velocidad del sonido
Reproducción del sonido
Tipos de reproductores acústicos (parlantes)

CAPITULO 7

EL SURGIMIENTO DE LA RADIO

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

TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO

Los FETs
El JFET
Efecto de campo
El MOSFET de empobrecimiento
MOSFET de enriquecimiento
Protección de los FETs

CAPITULO 8

INSTRUMENTOS PARA CORRIENTE CONTINUA

Instrumentos analógicos
Funcionamiento de algunos instrumentos analógicos
Empleo como amperímetro
Empleo como voltímetro
Ohms por volt en los voltímetros de continua
Causas de errores en las mediciones
Las puntas de prueba
Puntas pasivas
Puntas activas

MEDICIONES EN CIRCUITOS TRANSISTORIZADOS

a) apertura de los circuitos de polarización
b) apertura de los elementos del transistor
c) entrada en corto de los elementos del transistor
d) entrada en corto de elementos de acopla-

miento de la etapa

EL SURGIMIENTO DE LA TV

Qué es la televisión
El televisor despliega señales eléctricas
Orígenes de la televisión
Se establecen los formatos
Cómo se convierte la imagen en señales eléctricas
La señal de video compuesto

CAPITULO 9

INSTRUMENTOS PARA EL TALLER Y MONTAJES DE EQUIPOS

El instrumental para reparaciones
Instrumentos para el banco de trabajo
Conjunto de instrumentos básicos
Probador de semiconductores
Lista de materiales del conjunto de instrumentos básicos
Lista de materiales del probador de semiconductores
Generador de señales para calibración y pruebas
Lista de materiales del generador de señales
Instrumentos para equipos de audio
Los galvanómetros
Vúmetro para señales débiles
Vúmetro para señales fuertes
Indicador de equilibrio
Modo de uso
DIODO ZENER
Características de operación
Ruptura del zéner
Curvas características
Resistencia del zéner
Efectos de la temperatura
Aplicaciones de los diodos zéner
Características de los diodos zéner comerciales
Comprobación de los diodos zéner

LOS MICROFONOS

¿Qué es un micrófono?
Teléfonos y micrófonos
El transductor
Tipos de micrófonos
Micrófono de carbón
Micrófono de capacitor
Micrófono de bobina móvil
Micrófono de cristal
Características de los micrófonos
Sensibilidad
Direccionalidad
Impedancia
Inmunidad al ruido

CAPITULO 10

PRIMERAS REPARACIONES EN EQUIPOS TRANSISTORIZADOS

Prueba de transistores con el téster
Análisis de montajes electrónicos
Lo que puede estar mal
Defectos y comprobaciones
Mediciones en pequeños amplificadores
Sustitución del componente
Equivalencias

MEDICIONES QUE REQUIEREN PRECISION

Método de compensación de Dubois-Reymond

Método de compensación de Poggendorf

DISPOSITIVOS ELECTRONICOS DE MEMORIA

Dispositivos de memoria
Aplicaciones de los circuitos de memoria
Técnicas de fabricación de las memorias digitales
Cómo trabaja una memoria digital
Memorias de la familia ROM
Memorias ROM
Memorias PROM
Memorias EEPROM
Memorias UV-EPROM
Memorias de la familia RAM
Memorias SRAM
Memorias DRAM
Memorias VRAM
Memorias NOVDRAM
Memorias en equipos de audio y video
Memorias en computadoras PC
RAM, Caché, ROM
Memoria Flash
CMOS-RAM
Memoria de video

CAPITULO 11

IDENTIFICACION DE COMPONENTES

Cómo encarar la reparación de equipos electrónicos

Camino lógico

Conocer la operación de un circuito

EL LASER Y LOS CONCEPTOS DE LA LUZ

La luz en la época de las luces
Los planteamientos de Huygens
Los planteamientos de Newton
Einstein y el efecto fotoeléctrico
Partículas elementales de la materia
Absorción y emisión
Fuentes convencionales de luz
Emisión inducida o estimulada
Estructura básica del láser

CAPITULO 12

TV COLOR

Cómo transmitir imágenes
La transmisión de TV
La antena de TV
Antenas para varios canales
a) Antena Yagi
b) Antena cónica
c) Antena logarítmica periódica
TV por satélite
El cable de bajada
El sintonizador de canales
La etapa amplificadora de FI de video
Neutralización y ajustes
El control automático de ganancia (CAG)
Los circuitos de sincronismo
El sincronismo vertical
El sincronismo horizontal
Los circuitos de sincronismo
El oscilador vertical
El oscilador horizontal
La deflexión horizontal
La deflexión vertical
Algunos defectos usuales

CAPITULO 13

REPARACIONES EN RECEPTORES DE RADIO

Pequeñas reparaciones
1. Problemas de alimentación
2. El defecto "motor de lancha"
3. Pallas y ruidos en el control de volumen
4. Interrupciones en las placas
5. Cambios de componentes
6. Problemas del parlante
7. Problemas de ajuste
8. Los componentes
9. Análisis con el inyector de señales
10. Conclusiones

REPARACION DE EQUIPOS CON CIRCUITOS INTEGRADOS

Cómo proceder
Búsqueda de fallas
Cómo usar el inyector
FIBRAS OPTICAS
Generalidades
Enlace óptico con fibra
Ventajas de las fibras ópticas
Física de la luz
Construcción de las fibras ópticas
Tipos de fibras
Atenuación de la fibra
Componentes activos
Diodos emisores de luz
Diodo de inyección láser

CAPITULO 14

INSTRUMENTOS PARA EL SERVICE

Inyector de señales
Fuente de alimentación
Generador de funciones
Generador de barras
Medidor de inductancia
Medidor de capacidades
Probador de CI
Punta de prueba digital
Instrumentos portátiles varios

CAPITULO 15

REGULADORES INTEGRADOS DE LA SERIE 78XX

Regulador de tensión patrón
Regulador fijo con mayor tensión de salida
Aumentando la tensión de salida con zéner
Tensión de salida ajustable con CI regulador fijo
Fuente de corriente fija
Fuente de corriente ajustable
Cómo aumentar la corriente de salida
Reguladores 78XX en paralelo
Regulador de tensión fijo de 7A
Regulador de 7A con protección contra cortos
Regulador ajustable utilizando CI 7805 y 741
Fuente de tensión simétrica utilizando CI 78XX

REPARACIONES EN ETAPAS DE SALIDA DE RECEPTORES DE RADIO

Primera configuración
Segunda configuración
Tercera configuración
Reparación con multímetro
Cómo medir tensiones en una radio

TEORIA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS VIDEOGRABADORES

Qué es una videograbadora
Nota histórica
La grabación magnética
Grabación lineal contra grabación helicoidal
El formato VHS
Grabación de audio
Grabación azimuthal
El track de control y los servomecanismos
El sistema de control
Algunas características de las videograbadoras modernas
Manejo remoto
Grabación no asistida
Sistema de autodiagnóstico
Múltiples velocidades de reproducción
Efectos digitales

CAPITULO 16

LOCALIZACION DE FALLAS EN ETAPAS CON MICROPROCESADORES

Bloques básicos de control para los MP (μ P)
Fuente de alimentación
Diagnóstico de fallas en la fuente
El reset
Diagnóstico de fallas en el reset
Reloj del μ P (MP)
Diagnóstico de fallas en el reloj

LA TELEVISION DIGITAL (DTV)

¿Qué es la televisión digital?
Conversión analógico/digital
Teorema de muestreo de Nyquist
Muestreo, cuantización y resolución
Codificación A/D
Recomendaciones CCIR-601
Compresión digital
Reducción de datos
Tipos de compresión
Transformación
Transformación de coseno discreta (DCT)
Cuantización
Codificación
Método de codificación Huffman
Compresiones de audio
Normas internacionales de televisión digital
JPEG - MPEG - Perfiles y niveles
MPEG-1 - MPEG-2

Transmisión de TV progresiva y entrelazada
Formatos múltiples
Comentarios finales

USOS DEL GENERADOR DE BARRAS DE TV COLOR

Usos en la salida de RF
Usos en la salida de FI
Usos en la salida de video
Usos en las salidas de sincronismo
Usos en el barrido entrelazado y progresivo
Funciones y prestaciones del generador

CAPITULO 17

MANEJO Y OPERACION DEL FRECUENCIMETRO

¿Qué es un frecuencímetro?
Consejos para la elección de un frecuencímetro
Principio de operación del frecuencímetro
Aplicaciones del contador de frecuencia
Mediciones en audio y video

REPARACION DE EQUIPOS DE AUDIO

Medición de tensión en circuitos transistorizados
¿Qué efecto causa esa alteración en la calidad del sonido?
¿Qué ocurre si estos componentes presentan problemas?

Tensiones en salidas complementarias
Circuitos integrados híbridos

TEOREMAS DE RESOLUCION DE CIRCUITOS

Principio de superposición
1) Cálculo por leyes de Kirchhoff
2) Cálculo por el método de superposición
Teorema de Thevenin
Teorema de Norton

CAPITULO 18

¿QUE ES UNA COMPUTADORA?

Arquitectura de una PC

Definición de computadora
Antecedentes de las computadoras personales
Las computadoras personales en los '70
El surgimiento de la IBM PC
La plataforma PC
Generaciones de computadoras PC
Elementos de la PC

Autotest de funcionamiento
El primer autotest
El disco de inicialización
El proceso de la inicialización
Conexión de periféricos
Cómo funciona el plug and play
Instalación del sistema plug and play
Los componentes electrónicos de la PC
Funcionamiento de un transistor
Cómo es el transistor
Funcionamiento de una memoria RAM
Cómo se escriben los datos en una RAM
Cómo se leen los datos desde una RAM
Cómo funciona un microprocesador
El microprocesador
Los procesadores RISC y CISC
El CISC
Computación por conjunto reducido de instrucciones (RISC)
Cómo se comunican los periféricos con la PC
La barra de direcciones de la PC
Placas de expansión de 8 bits
Placa de 16 bits o placa ISA
Placa MCA de 32 bits
Placa EISA de 32 bits
Placa de bus local VESA (VL-BUS) de 32 bits
Placa de bus local PCI
Bus local VESA
Bus local PCI

CAPITULO 19

ENSAMBLADO DE COMPUTADORAS

Arquitectura de una PC
Periféricos de entrada de datos
Dispositivos de proceso de información
Dispositivos de almacenamiento de información
Periféricos de salida de datos
Equipo necesario para la reparación
Factores a considerar en la elección de herramientas, componentes y programas
Reparación de máquinas muy básicas empleadas en hogares o en empresas pequeñas
a) Herramientas y componentes
b) Discos sistema
c) Utilerías para el servicio

MANEJO DEL OSCILOSCOPIO

Qué es un osciloscopio
Principio de funcionamiento del osciloscopio
Tipos y marcas de osciloscopios
Controles típicos de un osciloscopio
Conexiones de señal
Mediciones de carácter general
Mediciones en audio y video
La función delay
TEORIA DE CIRCUITOS
Principio de sustitución
Teorema de Millman
Teorema de la máxima transferencia de energía
Teorema de la reciprocidad
Métodos de resolución de circuitos
Planteo de las ecuaciones
Método de mallas
Método de los nodos

CAPITULO 20

CIRCUITOS DE MONTAJE SUPERFICIAL

Antecedentes de los circuitos impresos
Estructura de un circuito impreso
Tipos de circuito impreso
Tecnología de montaje superficial
Encapsulados y matriculas
Encapsulados para transistores múltiples
Transistores de propósito general
Introducción
Diodos de sintonía
Diodos Schottky
Diodos de conmutación
Diodos múltiples de conmutación
Diodos zéner
Herramientas para la soldadura
Cómo soldar un componente SMD
Procedimiento
EL CONTROL REMOTO
Qué es un control remoto

El control remoto digital
Propiedades de las emisiones infrarrojas
Estructura física de un control remoto
Operación del circuito emisor
El circuito de control de la unidad remota
Operación del circuito receptor
El formato de la señal infrarroja

TRATAMIENTO DE LA INFORMACION EN UNA COMPUTADORA

Cómo suma una computadora
Cómo se almacena información en los discos
Almacenamiento de información
Almacenamiento de información en discos
Formateo de un disco
La disquetera unidad de disco flexible
Funcionamiento de las unidades de disco
La importancia del disco rígido
Las unidades magneto-ópticas y ópticas
Las unidades de back-up QIC y DAT
Unidades de back-up QIC
Unidad de cinta de back-up DAT (cinta de audio digital)

CAPITULO 21

CODIFICACION DE SEÑALES DE TV

Diagrama en bloques del modulador de sonido
Recuperación del audio en el decodificador
CIRCUITO DE CONMUTACION
El transistor uninjuntura en la conmutación
Circuitos de aplicación
Comportamiento de las cargas en un semiconductor
Dispositivos efectivos de disparo
Rectificador controlado de silicio
Triac - Diac

LA SUPERCONDUCTIVIDAD Y SUS APLICACIONES

Qué se entiende por superconductividad
Características de los superconductores
Aplicaciones de los superconductores
Generación de energía eléctrica
Mejores dispositivos electrónicos
Transportación terrestre
Aplicaciones

CAPITULO 22

MANTENIMIENTO Y REPARACION DE COMPUTADORAS

¿En qué consiste el servicio a una PC?
Mantenimiento
Reparación
Protección de la información
Actualización
Herramientas y componentes
Discos con sistema
Utilitarios para el servicio a PC
Utilitarios de información del sistema
Utilitarios que se incluyen en Windows 95 y Windows 98
Utilitarios de diagnóstico y Reparación
Programas integrados
Programas para mantenimiento y reparación
Reparaciones típicas
Mantenimiento correctivo y preventivo
Actualización

CAPITULO 23

COMUNICACIONES VIA SATELITE

Los satélites
La TV satelital
Elementos necesarios para ver TV satelital
Las antenas parabólicas
Construcción de un sistema para ver TV satelital

CAPITULO 24

TECNICAS DIGITALES

Lógica digital aplicada
Presentación de las principales compuertas
Lógica positiva y lógica negativa
Compuertas lógicas
Relaciones entre las compuertas
Leyes de De Morgan
Ejemplos con compuertas
Función lógica comparación
Compuertas lógicas comerciales TTL
Compuertas lógicas comerciales CMOS
Diseño de circuitos digitales
Expresiones canónicas
Qué se puede hacer con las compuertas
Diagrama de Veitch y de Karnaugh
Diseño de circuitos lógicos
Ejemplos de aplicación

Capítulo 1

Principios de Generación de la Electricidad

El principio físico según el cual una de las partículas atómicas, el electrón, presenta una carga a la que por convención se le considera negativa, constituye el fundamento de una de las fuentes de energía más importantes de la vida moderna: la electricidad. En este capítulo, de nivel básico, se explican las seis principales formas de generación de electricidad: *por fricción o inducción, por reacción química, por presión, por calor, por luz y por magnetismo*. Y también se aprovechan las explicaciones para sugerir algunos experimentos.

Si bien la electricidad fue conocida por los antiguos griegos aproximadamente en el año 600 AC, cuando Tales de Mileto observó que el ámbar adquiere la propiedad de atraer objetos ligeros al ser frotado, el primer estudio científico de los fenómenos “eléctricos” fue publicado en 1600, por William Gilbert, un médico británico que utilizó el término eléctrico (del griego *elektron*, que significa “ámbar”) para referirse a la fuerza que ejerce esa sustancia al ser frotada, y quien también estableció la dife-

rencia entre las acciones magnética y eléctrica.

En esa época, aún no estaban totalmente sentadas las bases de la revolución científica de la que surgiría la física clásica, y que tomaría forma definitiva en el siglo XVIII, con Isaac Newton, quien estableció una serie de principios que darían base al método científico. No obstante, a partir de entonces se produjeron avances importantes que culminarían en el siglo XIX, cuando diversos investigadores desarrollan toda la base teórico-práctica para la generación, aprovechamiento y distribución de la electricidad, y que tendrían como punto final el establecimiento de las primeras redes de distribución de fluido eléctrico hacia los hogares y la industria (figura 1).

FORMAS DE GENERAR ELECTRICIDAD

Básicamente, existen seis formas diferentes de generar electricidad, aunque sólo algunas pueden considerarse fuentes eficaces de energía. Lo característico en todas es

que hay que liberar los electrones de valencia a partir de otra fuente de energía para producir el flujo eléctrico; sin embargo, no es necesario analizar esta fundamentación para entender el tema central del presente capítulo.

Las formas en que la electricidad puede ser generada son las siguientes: *por fricción o inducción, por reacción química, por presión, por calor, por luz y por magnetismo*.

ELECTRICIDAD POR FRICCIÓN O INDUCCIÓN

Ya mencionamos que la fricción entre materiales como forma de producir electricidad, fue descubierta desde la antigua Grecia. Por mera casualidad, Tales de Mileto observó que al frotar en la piel de los animales una pieza de ámbar, ésta adquiría la propiedad de atraer pequeños trozos de virutas de madera.

Actualmente, sabemos que cuando dos cuerpos se frotan entre sí, uno de ellos “cede” electrones al otro. Es decir, mientras de uno de esos cuerpos se desprenden tales partículas subatómicas, el otro las recibe; como resultado, el primero queda con déficit de electrones y el segundo con exceso.

Cuando un átomo tiene déficit de electrones, la carga total del material es positiva; cuando tiene exceso de electrones, el material adquiere una carga total negativa (figura 2). Para comprobar este fenómeno, frote varias veces en su cabeza un globo inflado; notará que éste puede atraer pequeños trozos de papel o mantenerse adherido a la pared por tiempo indeterminado (figura 3). Otro experi-

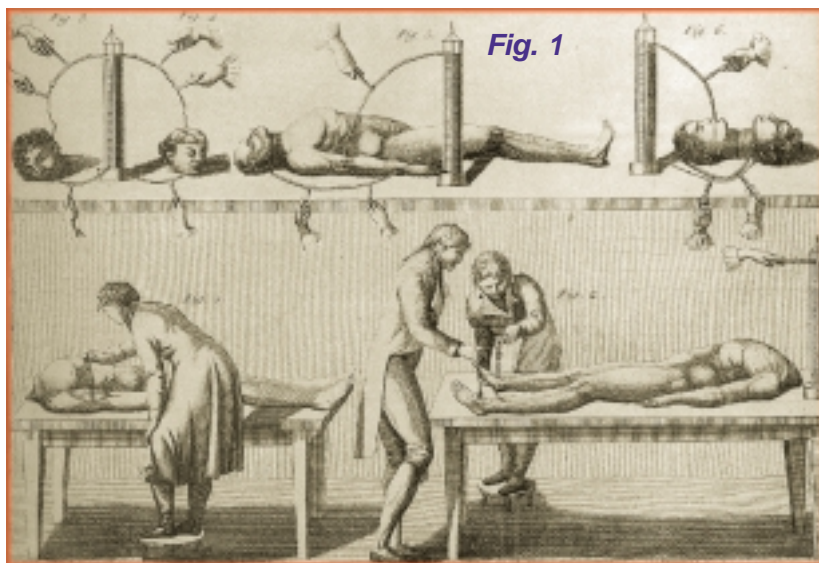


Fig. 1

Principios de Generación de la Electricidad

Cuando se frota dos materiales como el vidrio y la tela, se produce un desprendimiento de cargas de uno al otro.

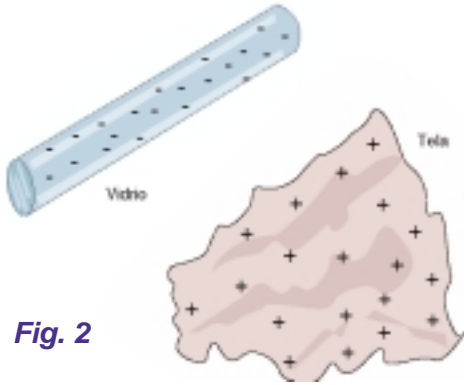


Fig. 2

Al frotar el globo en el cabello se produce un desprendimiento de electrones del globo, confiriéndole una carga positiva y haciendo que pueda atraer pequeños trozos de materiales como el papel.



Fig. 3

mento consiste en peinarse el cabello seco, estando frente a un espejo y dentro de un cuarto oscuro; luego de pasar varias veces el peine, podremos observar que se producen chispas luminosas; esto se debe al efecto de desplazamiento de cargas.

Conforme a lo que acabamos de explicar, la electricidad se produce por el paso de los electrones de un material a otro; es decir, por efecto de la fricción. Por lo tanto,

superficie de los discos es grande, se llegan a producir arcos eléctricos entre las terminales externas del dispositivo.

ELECTRICIDAD POR REACCIÓN QUÍMICA

Una de las formas más eficientes y ampliamente utilizadas para generar electricidad, es la de las reacciones químicas. Como ejem-

plo, tenemos las pilas y baterías utilizadas en equipos portátiles, radios, automóviles, etc.;

se le conoce como "electricidad estática". Uno de los medios más conocidos para generar grandes cantidades de electricidad estática, es la *Máquina de Wimshurst* (figura 4). Este aparato consiste en dos discos plásticos colocados frente a frente, que giran en sentidos opuestos; sobre uno de ellos se encuentran varias laminillas conductoras.

La mutua influencia ejercida, origina un desplazamiento de cargas. La carga eléctrica de los discos es recuperada mediante un par de electrodos, los cuales se colocan de modo que estén en contacto con la superficie del disco que tiene las laminillas; cuando la cantidad de carga acumulada en la

superficie de los discos es grande, se llegan a producir arcos eléctricos entre las terminales externas del dispositivo. Básicamente, podemos hablar de dos tipos de pilas: primarias y secundarias. En el caso de las primarias, la sustancia química utilizada se transforma lentamente en sustancias diferentes; y es que, a causa de la reacción química que libera los electrones, el electrolito no puede transformarse en la sustancia original que era antes de suceder aquella (es cuando se dice que "las pilas se han descarga-

do, tenemos las pilas y baterías utilizadas en equipos portátiles, radios, automóviles, etc.; se puede decir que una pila es un medio que transforma la energía química en eléctrica, ya que está formada por un electrolito (que puede ser líquido, sólido o de pasta), un electrodo positivo y un electrodo negativo.

El electrolito, una sustancia química, reacciona con los electrodos, de tal forma que a uno de ellos llegan los electrones liberados por la reacción -haciéndose negativo-, mientras que el otro, habiéndolos perdido, adquiere carga positiva (figura 5). Esta diferencia de cargas entre los dos electrodos se conoce como "diferencia de potencial". Si se conecta un cable conductor externo que los comunique, la diferencia de potencial origina un camino por el que los electrones del electrodo negativo pasan al electrodo positivo. Precisamente, al desplazamiento de los electrones a través de un conductor se le conoce con el nombre de "corriente eléctrica" (figura 6).

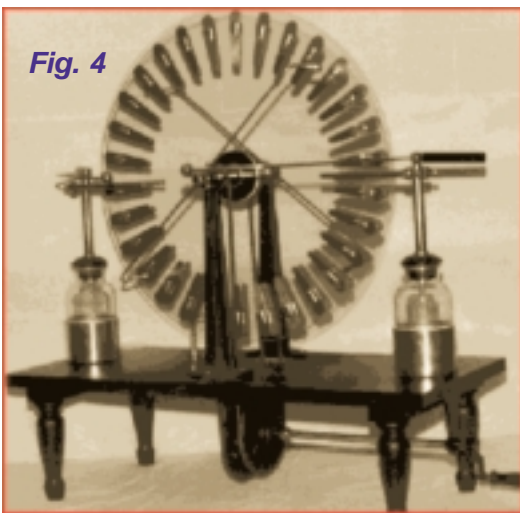


Fig. 4

En la pila el electrolito reacciona con los electrodos, produciendo una diferencia de carga eléctrica entre ellos.

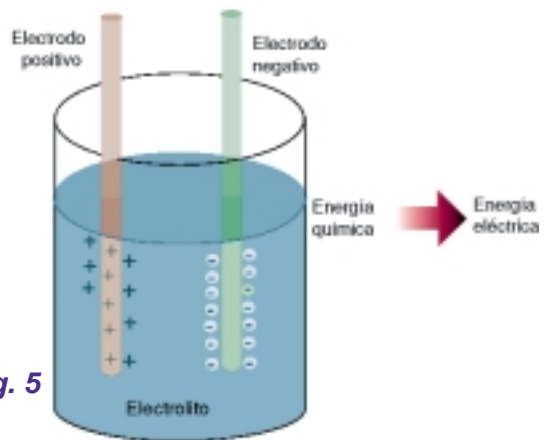


Fig. 5

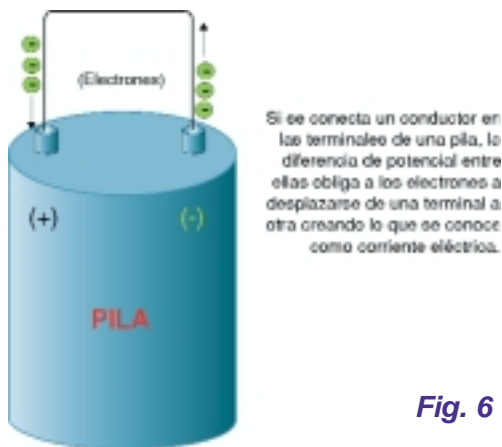


Fig. 6

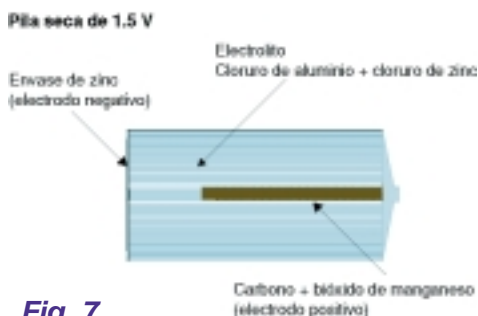


Fig. 7

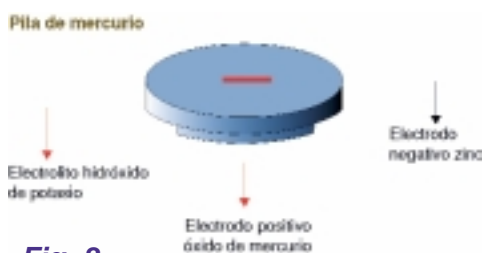


Fig. 8

do"). Las pilas de este tipo también reciben el nombre "voltai-cas".

Por su parte, las pilas secundarias, baterías o acumuladores, tienen la característica de que en ellas el electrolito sí puede ser reconvertido después de utilizarse en las sustancias originales; para lograrlo, basta con pasar a través de él una corriente eléctrica, pero en sentido contrario al de su operación normal (esto es a lo que se llama "recarga de la pila").

COMPONENTES Y APLICACIONES DE LAS PILAS

Una de las pilas primarias más comunes es la *Leclanché* o "pila seca", inventada en los años 60 por el químico francés Georges Leclanché. El electrolito consiste en una pasta de cloruro de amonio y cloruro de zinc. Una lámina que se emplea como el electrodo negativo, sirve también como envase, y está construida con base en zinc; el electrodo positivo es la combinación de una barra de carbono con dióxido de manganeso, y al momento de combinar los tres elementos, se obtienen aproximadamente 1,5 volts entre la terminal central y el envase (figura 7).

Otro ejemplo de pila primaria, es aquella que se utiliza en equipos pequeños (tales como los relojes de pulso digitales). En esta pila **-con forma de disco cilíndrico-**, el electrolito es una solución de hidróxido de potasio, el electrodo positivo se hace con óxido de mercurio y el electrodo negativo con zinc. La pila de este tipo, conocida como "batería de mercurio", ge-

nera aproximadamente 1,34 volts (figura 8).

Por lo que se refiere a la pila secundaria o acumulador (que como ya se dijo puede ser recargada al invertir la reacción química), cabe mencionar que fue inventada en 1859 por el físico francés Gaston Planté. Está formada por un electrolito de ácido sulfúrico y agua, con electrodos de plomo y óxido de plomo; internamente, está constituida por un conjunto de pilas individuales conectadas en serie (figura 9). Las pilas secundarias las encontramos en automóviles, aviones y en sistemas de almacenamiento de energía eléctrica de fuentes de energía alternativa; ejemplo de estas últimas, son los paneles solares o los generadores movidos por viento.

FABRICACIÓN DE UNA PILA PRIMARIA

Para fabricar una pila primaria, se requiere solamente de un limón grande, una laminilla de cobre y una zinc, ambas de 5 x 1 cm. Lo único que hay que hacer es insertar las laminillas, una en cada cara del limón, procurando que entren lo más profundamente posible pero sin llegar a tocarse.

Con ayuda de un voltímetro, se puede comprobar fácilmente la diferencia de potencial que existe entre las laminillas. La terminal negativa se forma en el electrodo de zinc, mientras que la terminal positiva en el de cobre; el electrolito de nuestra pila es precisamente el

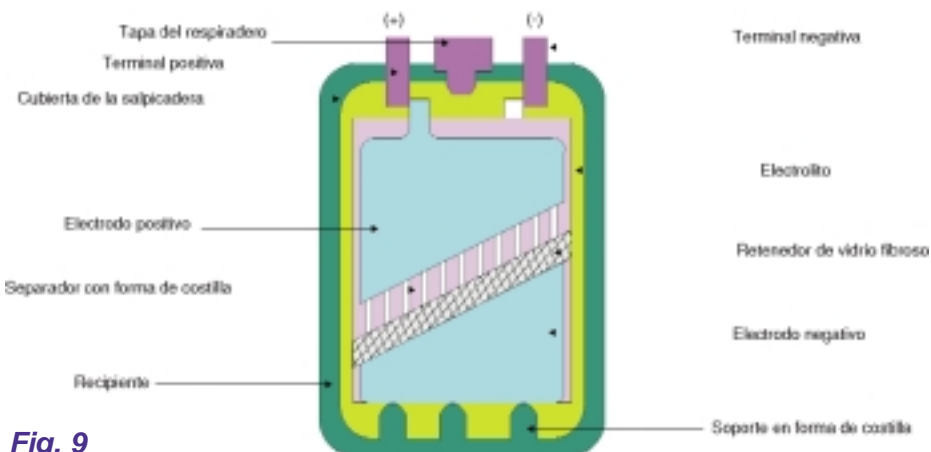


Fig. 9

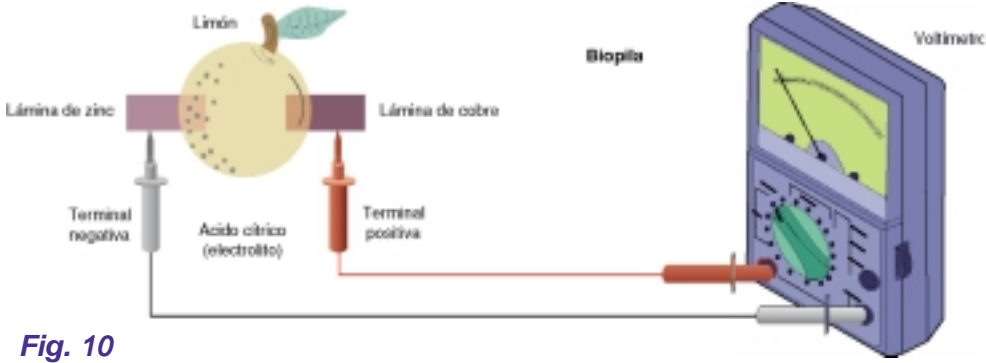


Fig. 10

bada en forma de surcos en los discos de acetato negro (figura 12).

Además, los materiales piezoeléctricos tienden a deformarse cuando se les aplica un voltaje. Este fenómeno es explotado para generar señales electrónicas de una frecuencia fija y altamente estable.

Efecto piezo eléctrico



Fig. 11

ácido cítrico que contiene el zumo de limón. Vea la figura 10.

ELECTRICIDAD POR PRESIÓN

Los materiales piezoeléctricos son aquellos que liberan electrones cuando se les aplica una fuerza. Su nombre se deriva del término griego *Piezo*, que significa "presión".

Cuando se aplica la fuerza sobre el material, los electrones son obligados a salir de sus órbitas y se desplazan hacia el punto opuesto a aquel en que se está ejerciendo la presión; cuando ésta cesa, los electrones regresan a los átomos

de donde proceden. Sustancias como las sales de Rochelle y las cerámicas de titanato de bario, son especialmente efectivas para generar éste efecto.

El punto momentáneamente abandonado por los electrones a causa de la aplicación de la fuerza, se torna entonces positivo; por contra, el extremo más alejado de él se hace negativo: surge así entre ambos una diferencia de carga (figura 11).

Los materiales piezoeléctricos se cortan en formas especiales, de modo que sea posible controlar los puntos en donde existe la diferencia de potencial. Este efecto se aprovecha para generar señales electrónicas de audio en los micrófonos "*de cristal*", los cuales están formados por un cristal piezoeléctrico sobre el que se coloca una tapa que lo deforma conforme a las variaciones de los sonidos que logran desplazarla. Años atrás, los cristales piezoeléctricos se utilizaban para recuperar la música gra-

ELECTRICIDAD POR CALOR

Cuando se aplica energía calorífica a determinados metales, éstos aumentan el movimiento cinético de sus átomos; así, se origina el desprendimiento de los electrones de las órbitas de valencia. Otros metales, se comportan de manera inversa.

Supongamos que un metal del primer tipo es unido superficialmente a un metal de comportamiento contrario, y que se les aplica calor. Mientras que uno será cada vez más positivo conforme se vayan liberando sus electrones, el otro *-que los absorbe-* se hará muy negativo al almacenar cargas negativas.

Tras retirar la fuente de calor, los metales se irán enfriando y entonces los electrones "*extras*" que fueron de momento alojados por uno de los metales, regresarán al de su procedencia. Cuanto más calor se aplique a la unión de esos metales, mayor será la cantidad de carga eléctrica que pueda producirse. A

En un micrófono piezoeléctrico la presión ejercida sobre el cristal por las ondas sonoras genera una señal eléctrica equivalente.

En una aguja de fonógrafo las variaciones de los surcos sobre el disco ejerce una fuerza en el cristal, el cual genera una señal eléctrica equivalente al audio grabado originalmente.

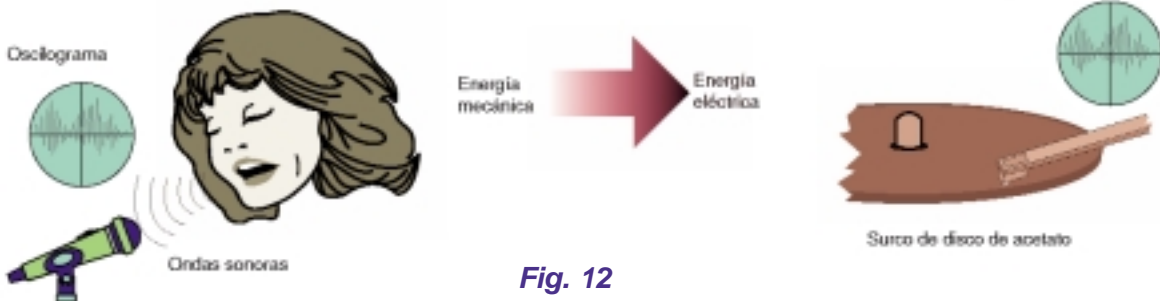


Fig. 12

Efecto de termoelectricidad

En un termopar la energía calorífica amplificada, obliga a los electrones del cobre a desplazarse al zinc, generando una diferencia de carga entre ambos.

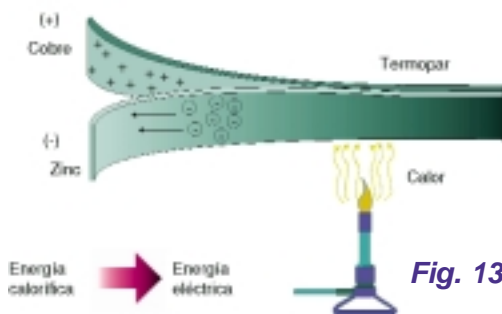


Fig. 13

éste fenómeno se le conoce como **“termoelectricidad”**.

A aquellos dispositivos formados por la unión de dos metales y que presentan el efecto de termoelectricidad, se les denomina **“termopar”** (figura 13).

El fenómeno de la termoelectricidad puede ser fácilmente comprobado mediante un sencillo experimento. Haciendo uso de un alambre de cobre y uno de zinc, hay que formar una trenza de aproximadamente 30 cm de largo; se deben dejar libres unos 5 cm de cada alambre. Enseguida, con una vela, se calienta el principio de la trenza; finalmente, con un voltímetro se mide la diferencia de potencial en los extremos que se dejaron libres. En aplicaciones reales se unen varios dispositivos termopar, en circuitos serie/paralelo,

para aumentar la cantidad total de corriente y de voltaje. Este dispositivo, en su conjunto, es conocido como **“termopila”**. En general, podemos decir que las termopilas transforman la energía calorífica en energía eléctrica.

ELECTRICIDAD POR LUZ

El “efecto fotoeléctrico” consiste en la liberación de electrones de un material, cuando la luz incide sobre éste. El potasio, el sodio, el cesio, el selenio, el sulfuro de plomo, el germanio, el silicio y el cadmio, son algunos de los materiales que presentan tal característica.

Aplicaciones del efecto fotoeléctrico

Al efecto fotoeléctrico se le pueden dar tres distintas aplicaciones en electrónica:

- a) **Fotoionización.** La luz aumenta la conducción que se realiza del cátodo a la placa de una válvula de gas (bulbo), debido a la ionización (liberación de los electrones de valencia del gas contenido).
- b) **Efecto fotovoltaico.** Al produ-

cirse cargas en los extremos de los materiales semiconductores, se origina una diferencia de potencial (como en el caso de las pilas).

c) **Efecto de fotoconducción.** Puesto que son liberados los electrones de materiales cristalinos (que normalmente presentan alta resistencia eléctrica), aumenta su conductividad y disminuye su resistencia eléctrica al paso de la luz (figura 14).

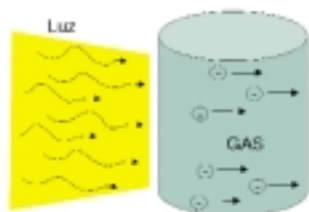
Fue en 1905, cuando el físico alemán Albert Einstein propuso por primera vez una teoría que explicaba de manera satisfactoria el efecto fotoeléctrico. Su teoría señala que la luz está formada por fotones (es decir pequeños paquetes de energía), los cuales chocan contra la superficie de las sustancias; si tienen suficiente energía, serán capaces de liberar a los electrones de valencia del material y, por consecuencia, provocarán excesos y déficit de cargas.

El efecto fotovoltaico se explota para generar electricidad, mediante el uso de celdas solares fotovoltaicas. Para ello, se necesita montar una gran cantidad de paneles solares, donde las celdas vienen de fábrica en grupos dispuestos en serie/paralelo para generar grandes cantidades de voltaje y corriente.

Actualmente ya existen subestaciones piloto, en las que se genera

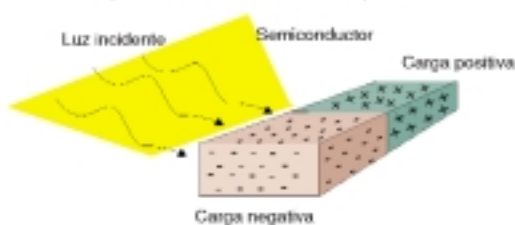
Efecto fotoionico

Cuando la luz incide sobre gases no conductores con ciertas características, éstos liberan electrones de valencia produciendo iones.



Efecto fotovoltaico

Cuando la luz incide sobre materiales semiconductores en diversos dopados, se genera una liberación de cargas que se acumula en los extremos del material, creando una diferencia de potencial como en el caso de la pila.



Efecto fotoconductorivo

Algunos materiales resistivos presentan la característica de que en presencia de la luz disminuyen su resistividad, debido a la liberación de electrones de valencia de los átomos del material.

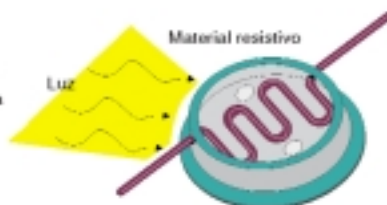


Fig. 14

Principios de Generación de la Electricidad

El desplazamiento de un conductor dentro de un campo magnético, obliga a los electrones del mismo a desplazarse (generando un acumulado de carga eléctrica y por tanto un potencial eléctrico útil.)

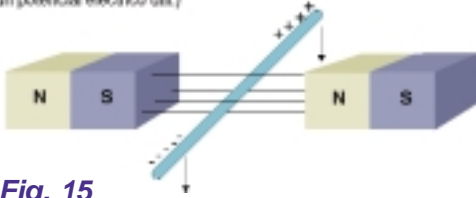


Fig. 15

electricidad a partir de la energía solar que llega a la Tierra durante el día. Para su consumo durante la noche, parte de esta energía es almacenada en acumuladores.

Si se toma en cuenta que es muy fácil conseguir celdas solares, no habrá problema alguno para, con una de al menos 10 x 10 cm, generar potenciales de hasta 1,5 volts - **verificables mediante voltímetro**- que bien pueden alimentar a motores pequeños.

ELECTRICIDAD POR MAGNETISMO

¿Ha notado la capacidad que tienen algunas personas de orientarse aun en lugares donde no hay puntos de referencia claros? Esta capacidad algo que puede explicarse: existe en la nariz un depósito de un compuesto basado en el hierro, el cual tiene la misma función de una brújula; dicho depósito tiene conexiones nerviosas al cerebro, de tal manera que la interacción de su campo con el campo magnético de la Tierra, produce una cierta respuesta o estímulo que el cerebro procesa, permitiendo la orientación del individuo. Esa capacidad está casi perdida en los humanos, pero no en otros organismos como el atún, el delfín y otros más, que la utilizan como medio de orientación durante sus migraciones masivas.

El magnetismo es una forma de energía capaz de atraer metales, gracias al campo de fuerza que genera. A su vez, el campo magnético de un imán está formado por fotones, pero de una frecuencia distinta a la de la luz. Cuando un alambre conductor cruza perpendicularmente las líneas de fuer-

za magnética de un imán, los fotones del campo obligan a los electrones de dicho conductor a desplazarse; de esta forma, dado que en uno de sus extremos se produce un acumulado de electrones y en el otro un déficit,

se obtiene un conductor con un extremo positivo y otro negativo. Esto es a lo que se llama **"magnetolectricidad"** (figura 15).

Con este principio, se construyen generadores eléctricos con cientos de espiras de alambre que rodean un núcleo ferromagnético. Todo se monta sobre un eje giratorio, dentro de un campo magnético intenso. Al girar, las espiras de alambre cortan cientos de veces las líneas de fuerza magnética; con esto se obliga a los electrones de cada una de las espiras a establecer una acumulación de cargas, la cual se globaliza para finalmente obtener magnitudes considerables de voltaje y de corriente aprovechables.

Los generadores eléctricos los encontramos, por ejemplo, en las bicicletas, con el nombre de "dinamos". Cuando la rueda de la bicicleta gira, la dinamo también lo hace y entonces genera suficiente electricidad para alimentar a una pequeña lámpara. En los autos, el generador eléctrico se llama **"alternador"**, debido a que produce electricidad alterna en vez de directa; su estructura es prácticamente igual a la de cualquier generador convencional, ya que gira gracias al impulso que le suministra el propio motor del auto. La energía producida por el alternador se

utiliza para recargar al acumulador (pila secundaria) del propio vehículo.

Los generadores de este tipo son ampliamente utilizados en el campo de la electricidad comercial. Para ello se recurre a diferentes fuerzas que hacen girar a los generadores, entre las que se cuenta al vapor de agua, las presas, las centrales nucleoelectricas, etc. Para comprobar esta forma de generar electricidad, habrá que conseguir un motor pequeño (como los utilizados en los juguetes); una vez obtenido, se coloca en sus terminales de alimentación un voltímetro en el rango más bajo; al hacer girar manualmente el eje del motor, se observará que el valor leído por el voltímetro aumenta -**lo cual indica la presencia de una diferencia de potencial-** (figura 16).

CONCLUSIÓN

Queda claro, por las explicaciones anteriores, que la electricidad es un fenómeno físico asociado a cargas eléctricas estáticas o en movimiento; por lo tanto, es una manifestación de la estructura atómica de la materia.

El hombre conoció la electricidad por diversos acontecimientos naturales como los rayos y las propiedades del ámbar, pero no fue sino hasta el siglo XIX -**cuando ya estaban bien sentadas las bases de la física clásica-** que surgió la ciencia de la electricidad y del magnetismo, que a la postre permitiría la generación, aprovechamiento y distribución de esta fuente de energía para beneficio de la humanidad.

Para comprobar la generación de electricidad, coloque un voltímetro en los terminales de alimentación del motor y gire el eje. Observe el resultado.

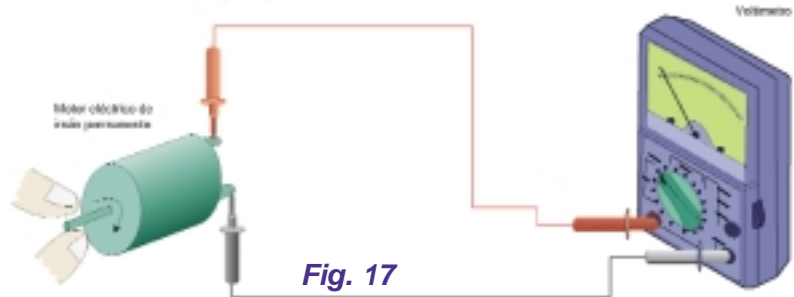


Fig. 17

Un Vistazo a la Electrónica de Hoy

Es muy probable que ésta sea la primera vez que lee una publicación de electrónica, es por ello que haremos un pequeño resumen de lo que está ocurriendo en la actualidad en materia de "electrónica".

Ya sea que usted encienda el televisor, escuche un CD, hable por teléfono, utilice el cajero automático, navegue por Internet o consulte una base de datos computarizada, lo más probable es que esté haciendo uso de alguna tecnología digital. Es por ello que haremos un breve recuento del panorama tecnológico que se avizora en el presente y en el que, de una u otra forma, intervienen sistemas y circuitos digitales.

EL IMPERIO DE LOS BITS

La tecnología digital no sólo ha permitido la fabricación de nuevos aparatos de consumo que ofrecen prestaciones inéditas, tal es el caso de los televisores con efectos digitales, los reproductores de CD, las agendas y traductores de bolsillo e incluso las nuevas "mascotas virtuales"; también ha modificado nuestra percepción del mundo y de nosotros mismos por el surgimiento de nuevos sistemas de comunicación, de los que la red Internet y la televisión por satélite son algunos ejemplos. E igualmente ha propiciado una revolución en nuestros sistemas de aprendizaje, laborales, fabriles, de diagnóstico clínico y en numerosos campos más, gracias a los microprocesadores. En resumidas cuentas, la humanidad no es la misma ni piensa igual que hace una generación.

Las sociedades antiguas evolucionaban de manera muy lenta, en parte porque no había medios de comunicación ágiles y, por consecuencia, no había mucho contacto entre culturas distintas. No en vano la imaginación popu-

lar concibió tantos mitos y leyendas, pues los pueblos sin comunicaciones son campo fértil para la superstición.

No es el caso de este fin de siglo, que se caracteriza por su dimensión a escala del planeta y por sus cambios tan profundos y tan rápidos. La tecnología, y especialmente la electrónica, es quizás la muestra más perceptible de ese mudar incesante que llega a producir vértigo y desconfianza.

¿Quién, siendo adulto, no ha sentido alguna vez recelo por los nuevos sistemas de entretenimiento como los videojuegos y el Tamagotchi?

¿Quién no se ha impresionado por la capacidad de procesamiento de las computadoras? ¿Quién, especialmente si su área de trabajo es la electrónica, está completamente seguro que no necesita adaptarse y asimilar nuevos conocimientos?

Algo es muy cierto de esta época: el mundo se nos mueve, y mucho. Ese es justamente uno de los rasgos de lo que algunos especialistas llaman "era digital".

VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA DIGITAL

Si bien la tecnología digital no ha desplazado a la tecnología analógica, y no sabemos si llegue a hacerlo, sí ha mostrado una mayor eficiencia en cuanto al tratamiento de señales y el almacenamiento y procesamiento de información, lo que a su vez ha dado origen a nuevos sistemas electrónicos y nuevas prestaciones de los equipos. Y es que un aparato que antes requería de una enorme y compleja circuitería analógica para llevar a cabo cierto proceso, ahora, con los recursos digitales, no sólo puede incorporar novedosas funciones, sino también ser simplificado en su construcción. Además, gracias a los circuitos de con-

versión analógico/digital y digital/analógico, la electrónica de los bits ha invadido de forma exitosa áreas que se consideraban verdaderos bastiones de las señales análogas.

La tecnología digital puede expresar sonidos, imágenes y datos con sólo dos estados lógicos: ausencia y presencia de voltaje, o unos y ceros.

Esto permite manejar información con un gran margen de seguridad, pues un 1 y un 0 siempre serán 1 y 0, mientras que los niveles de voltaje de una señal análoga pueden sufrir degradaciones durante los procesos electrónicos, ser influenciadas por ruidos externos, sufrir pequeños errores en el proceso de almacenaje y/o recuperación, etc. Y aunque las señales digitales también son susceptibles de las mismas alteraciones, es posible aplicar poderosos métodos de detección y corrección de errores que garantizan la fiabilidad de la información grabada, transmitida, procesada o recuperada.

Otras ventajas de la tecnología digital sobre la analógica son las siguientes: la posibilidad de comprimir los datos de manera muy eficiente; la capacidad de mezclar múltiples señales en un solo canal sin que se interfieran entre sí; el uso de razones variables de datos; etc.

Por supuesto, al igual que todos los avances que son profundamente innovadores, la tecnología digital es resultado de los desarrollos en otros campos: la construcción de circuitos integrados de bajo costo y muy alta complejidad; las nuevas técnicas de manejo de datos numéricos, que permiten operaciones más eficientes y simplifican procesos muy complicados; la fabricación de poderosos microprocesadores capaces de efectuar millones de operaciones por segundo; y, en general, de una

continua evolución en el manejo de señales digitales.

COMUNICACIONES

Ya sabemos que las comunicaciones electrónicas van mucho más allá de una simple conexión telefónica. Revisemos algunos sistemas que ya se están empleando en nuestros días y que posiblemente se vuelvan elementos cotidianos en un futuro cercano.

Videoconferencia

No obstante que ya tiene más de 100 años de haber sido inventado, el teléfono ha mostrado pocos cambios significativos en sus principios básicos de operación (de hecho, es posible utilizar un aparato antiguo en las modernas líneas digitales). Sin embargo, desde hace varios años se ha trabajado en sistemas que permiten además observar en una pequeña pantalla al interlocutor.

Se han hecho múltiples experimentos en esa dirección, aunque un obstáculo muy importante es la inversión necesaria para sustituir los tradicionales cables de cobre de la red telefónica, por un tendido de fibra óptica que permite un ancho de banda muy amplio. Cuando sólo se maneja una señal de audio (y ni siquiera de muy alta calidad), es suficiente el cableado tradicional, pero cuando se requiere enviar el enorme flujo de datos que implica la transmisión de una imagen en movimiento, la pérdida de fidelidad en el trayecto es tal que la comunicación se vuelve prácticamente imposible.

A pesar de esta limitante, a la fecha se han realizado algunos experimentos que permiten la transmisión de imágenes de baja resolución, utilizando las mismas líneas telefónicas y el mismo estándar de comunicaciones que emplean millones de teléfonos alrededor del mundo. Compañías tan importantes como Casio, AT&T, Laboratorios Bell, Matsushita y otras más, han presentado prototipos funcionales de sistemas que son capaces de

transmitir igualmente voz e imagen. Por supuesto, la imagen transmitida es de muy baja resolución y con una frecuencia de refresco de apenas unos cuantos cuadros por segundo, pero se espera que, conforme se desarrollen las tecnologías de codificación y de compresión de datos, su calidad mejore.

Hasta el momento ningún sistema ha sido aceptado por las grandes compañías telefónicas como un estándar, aunque ya está en uso una alternativa muy prometedora: por medio de la red Internet es posible enlazar dos o más computadoras utilizando las líneas telefónicas tradicionales, y entre sus mensajes intercambiados se puede hacer una combinación de audio y video comprimido, en pequeños "paquetes" que se decodifican en el sistema receptor y se presentan al usuario como voz proveniente de la tarjeta de sonido e imagen expedida en el monitor. La ventaja de esta innovación, es que las computadoras pueden estar ubicadas en puntos muy distantes del planeta, pero el costo de la llamada no es de larga distancia, sino local, de la misma manera que los demás servicios de Internet.

No está de más recordar otro servicio moderno que constituye una alternativa de comunicación barata, eficiente e instantánea: el correo electrónico. Si usted está conectado a Internet sabe a qué nos referimos.

Televisión vía satélite

Seguramente usted ha sido testigo de la propagación de antenas parabólicas que reciben directamente la señal de un satélite.

En los años 60's, en plena carrera entre norteamericanos y soviéticos por la conquista del espacio, comenzaron las primeras transmisiones de televisión por satélite. Al principio, con el lanzamiento del *Early Bird* apenas se consiguió un flujo de 240 llamadas telefónicas simultáneas entre Europa y Estados Unidos; sin embargo, de entonces a la fecha los circuitos de manejo

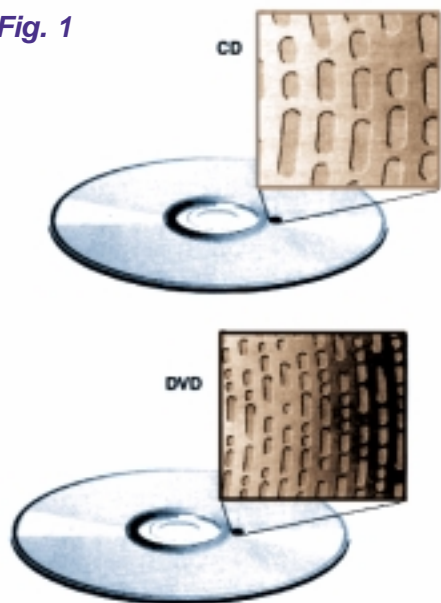
de señal incluidos en los satélites, han avanzado a tal grado que un satélite moderno puede manejar cientos de canales de TV y audio a la vez, al tiempo que transfiere enormes cantidades de datos derivados de los flujos de llamadas telefónicas.

Conforme se desarrolló todo un sistema de satélites comerciales, las grandes compañías televisoras pudieron vender directamente sus señales a los usuarios. Fue entonces cuando se comenzó a instalar en muchos hogares del mundo las tradicionales antenas parabólicas que toman la señal que "baja" del satélite y la entregan a un receptor especial que finalmente recupera las emisiones televisivas. La desventaja de dicho sistema, es que se requiere una antena de grandes dimensiones y un enorme mecanismo que permita cambiar su orientación hacia tal o cual satélite.

Ese sistema de recepción de TV vía satélite ha quedado obsoleto gracias a las técnicas digitales, que mediante una poderosa compresión de datos hacen posible la transmisión y codificación de varios canales en el mismo ancho de banda dedicado normalmente a un solo canal. De esta manera, es posible utilizar una pequeña antena orientada de manera permanente hacia una misma dirección, desde donde transmite su señal uno o más satélites geoestacionarios. A este nuevo sistema se le conoce como DTH-TV (siglas de *Direct-to-Home TV* o televisión directa al hogar).

Internet también ha sido planteado como un recurso para la transmisión de programas televisivos, aunque igualmente se ha topado con la barrera del ajustado ancho de banda de las líneas telefónicas tradicionales; sin embargo, es posible que con la aparición de los llamados *Cable Modems* (dispositivos que utilizan las líneas de TV por cable para establecer enlaces vía Internet) y el consiguiente aumento en la velocidad de transferencia de datos, la TV por esta red se convierta en algo cotidiano.

Fig. 1



Una comparación entre el tamaño de los pits de información de un CD y los de un DVD.

Comunicación y localización personal

La telefonía celular es un medio de comunicación que apareció hace pocos años y que ha tenido buena aceptación, y si bien las emisiones son analógicas, su tecnología depende en los centros de control de sistemas digitales muy complejos. Además, se le han incorporado recursos digitales de encriptación de conversaciones para evitar que personas ajenas puedan interceptar llamadas, así como **“llaves de seguridad”** que permiten precisar si una llamada efectivamente proviene de un cierto teléfono o si algún **“pirata”** está tratando de utilizar la línea sin derecho. Una adición más, es el cálculo automático de facturación, por medio del cual el usuario puede ir controlando sus consumos telefónicos.

También han surgido sistemas masivos de radiolocalización, los llamados **beeper**, los cuales pueden transmitir mensajes sin importar el punto de la ciudad donde se encuentre el usuario. Para ello, las compañías proveedoras del servicio poseen estaciones radiales, que emiten en todas direcciones el mensaje, pero con una clave digital única para que sólo pueda ser decodificada por el receptor destinatario. Incluso, el mismo mensaje

se envía en formato digital y se despliega en una pantalla de cristal líquido mediante caracteres alfanuméricos.

Pero hay todavía un sistema de localización personal no muy conocido.

¿Ha observado en algunos camiones repartidores la leyenda “Protegido con sistema de localización vía satélite”?

Esta forma de ubicación se basa en un pequeño aparato denominado **GPS (Global Positioning System o Sistema de Posición Global)**, el cual recibe las señales enviadas por tres o más satélites colocados en órbita estacionaria; midiendo de forma muy precisa el tiempo que tarda cada señal en llegar, es posible determinar la ubicación del camión (lo cual se logra con un margen de error de pocos metros); para llevar a cabo este cálculo, los GPS necesitan forzosamente de una computadora que mide los retardos de las señales de los satélites, realiza la triangulación de señales y localiza con exactitud el punto del globo terrestre en que se encuentra.

Este método también ha revolucionado los sistemas de orientación en la navegación marítima y aérea, pues permiten a los capitanes de barco y a los pilotos consultar en tiempo real la posición del barco o la nave a través de una computadora a bordo que recibe las señales del GPS.

AUDIO Y VIDEO

Esta es una área donde los cambios son percibidos muy rápidamente por el público consumidor y por el especialista electrónico, y probablemente es la que más influye en nuestros hábitos de entretenimiento. Enseñamos a hacer referencia a algunos de sus principales avances.

El DVD

Recientemente entró al mercado de consumo y de computación un nuevo sistema de almacenamiento de información que seguramente va a reemplazar a las cintas de video y al CD convencional: nos referimos al formato de audio y video digital conocido como DVD o disco versátil digital.

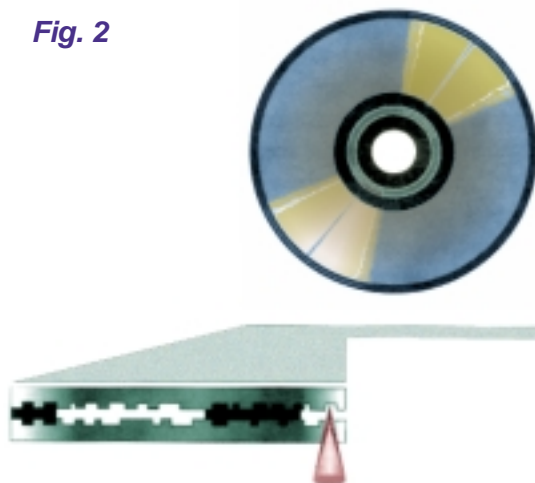
Estos discos tienen un aspecto muy similar al de un CD común; de hecho, su tecnología de fabricación es similar, con la salvedad de que pueden almacenar una cantidad de datos seis veces mayor a la de un disco de audio digital debido a que es menor el tamaño de los *pits* de información (figura 1); y aun esa capacidad podría llegar a ser hasta más de 20 veces superior a la que alcanza un CD, gracias a un sistema de grabación por capas (figura 2).

Esto hace que el DVD se convierta en un medio de almacenamiento ideal para video digitalizado, con la ventaja de que proporciona mejor calidad de imagen que las tradicionales cintas magnéticas, y que además ofrece las ventajas del medio óptico: su nulo desgaste y la posibilidad de añadir datos de control y de detección y corrección de errores en la lectura.

La televisión de alta definición

Aunque ya tiene más de 50 años, el formato de televisión NTSC sigue rigiendo la transmisión y recepción de señales televisivas en

Fig. 2



En el DVD, es posible grabar hasta cuatro capas independientes, lo que multiplica aún más la capacidad de almacenamiento.

la mayor parte del mundo.

Este formato fue diseñado a finales de los años 40's, y aunque gradualmente se le han añadido ciertas innovaciones (como la inclusión del color o del audio en estéreo), en un aspecto tan importante como la resolución de imagen no ha habido mejoras. Dicho formato puede manejar un máximo de alrededor de 350 líneas horizontales, lo cual queda muy por debajo del manejo de video en computadoras personales, donde las imágenes son de 600, 700 o más de 1000 líneas de resolución horizontal.

Ya hace más de diez años que en Europa, Japón y Estados Unidos se han planteado nuevos formatos de televisión de alta definición incluso, en Argentina, hace unos meses hemos asistido a la primera transmisión en HDTV realizada por el canal 13 de Bs. As. Sin embargo, el problema de su estandarización es que requieren un tipo de televisor especial para dichos formatos, y los millones de aparatos que ya existen son incompatibles con los nuevos sistemas. No obstante, después de años de investigación y discusiones, finalmente en 1997 se aprobó en Estados Unidos un nuevo estándar que ofrece una resolución horizontal superior a las mil líneas, lo cual permite el despliegue de imágenes con calidad equivalente a la de una película de 35 mm.

Para conseguir este impresionante incremento en la resolución sin que se dispare el ancho de banda requerido, se necesita forzosamente del proceso digital de imágenes, las cuales, una vez convertidas en 1's y 0's, pasan por complejos métodos de compresión de datos que permiten reducir el ancho de banda de la señal a aproximadamente una sexta parte de su tamaño original.

Esta señal reducida puede

transmitirse utilizando el mismo ancho de banda que necesita un canal de TV común, lo cual es muy conveniente porque amplía la flexibilidad en el manejo del espectro electromagnético (de por sí ya cercano al punto de saturación).

Una desventaja de dicho sistema de televisión, es que es incompatible con los actuales receptores PAL o NTSC; es decir, los televisores actuales no podrán captar la nueva señal, como si ocurrió con el surgimiento de la TV color, y los receptores en blanco y negro pudieron seguir funcionando normalmente.

Métodos de grabación de audio digital

A pesar de que el manejo digital del audio no es novedoso (se popularizó en 1981, con el surgimiento del disco compacto), hasta hace algunos años no existía un medio que fuera no solamente de lectura, sino también de escritura. En la actualidad existen varias opciones a nivel de consumidor para la grabación de audio digital: el DAT, el DCC y el Mini-Disc. Cada uno de estos sistemas funciona con principios particulares y son incompatibles entre sí.

El DAT o cinta de audio digital, es un sistema patentado por Sony que trabaja con base en un tambor giratorio similar al de una videograbadora; puede almacenar una señal estereofónica de audio muestreada con una precisión de 16 bits y una frecuencia de 48kHz, garantizando una buena captura de toda la gama dinámica audible por el ser humano. Este sistema

fue el primero que ofreció al público consumidor la posibilidad de grabar audio en formato digital; no obstante sus ventajas, no tuvo mucha aceptación, excepto en los estudios de grabación y en las radiotransmisoras.

El DCC es también un sistema de cinta, aunque trabaja con base en cabezas múltiples que graban los *tracks* de manera paralela (figura 3). Este sistema es una patente de Philips y tiene la ventaja de que el aparato, a pesar de grabar y reproducir cintas en formato digital, es compatible con los cassettes de audio analógicos, que también es una patente de Philips de 1963. Con esto se buscó que los consumidores tuvieran un incentivo adicional para adquirir este nuevo formato, aunque hasta la fecha sus resultados no son muy exitosos (su principal punto de venta es Europa).

Finalmente, el Mini-Disc, otra patente de Sony, trabaja por medios magnetoópticos, lo que le permite combinar las ventajas del disco compacto y la flexibilidad de las cintas en cuanto a su capacidad de grabación (figura 4). Este desarrollo parece ser el más prometededor de los tres métodos de grabación de audio digital a nivel consumidor, aunque con la próxima generación de DVD's grabables, es posible que no alcance su consolidación.

Proceso digital de audio

Los fabricantes equipos de audio, están incluyendo en sus diseños sistemas que ofrecen novedosas experiencias auditivas, tales como la emulación del sonido en-

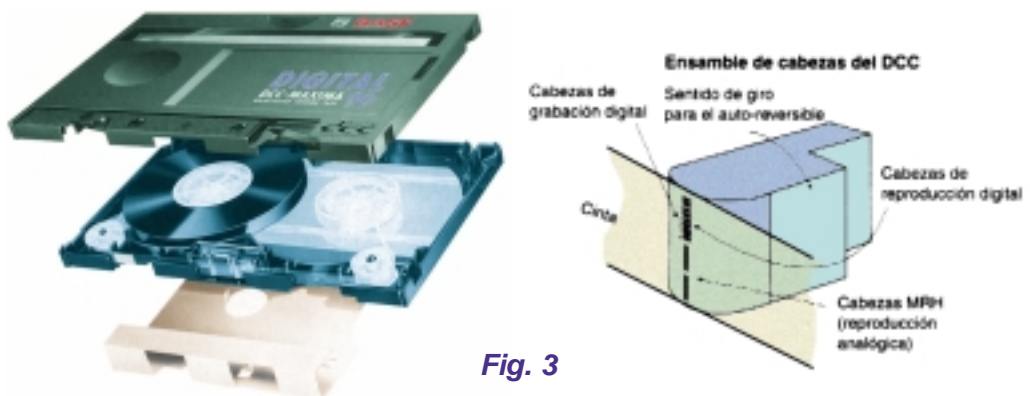


Fig. 3

volvente de una sala de conciertos, de un espacio abierto, de un concierto al aire libre, etc.

Esta reproducción de ambientes sonoros es posible gracias al proceso digital de señales, que identifican las características fundamentales de las distintas locaciones comunes y, por métodos lógicos, los emulan para dar al espectador la impresión de estar en un recinto completamente distinto a la sala de su casa.

Estos aparatos incluyen complejos procesadores que, a partir de una señal original, pueden recrear los ecos y rebotes de sonido que producen ciertas salas o sitios específicos, "rodeando" al auditorio con sonidos que le dan la sensación de encontrarse en dicha localidad.

PROCESAMIENTO DE DATOS

No hay rama de la tecnología que avance a un ritmo tan acelerado como la informática, tanto en sus aspectos de *hardware* como de *software*. A tal grado han evolucionado las computadoras en los últimos años, que se estima que la potencia de cálculo conjunta de todos los ordenadores que controlaron la misión Apolo 11 que llevó por primera vez al hombre a la Luna en 1969, es menos poderosa y versátil que una computadora moderna. Analicemos algunos puntos relevantes de esta tecnología.

Microprocesadores

Desde que se desarrollaron los primeros circuitos integrados en la década de los 60's, se vislumbró la posibilidad de condensar en una sola pastilla de silicio todos los elementos necesarios para efectuar los complejos cálculos que se llevan a cabo en una computadora; sin embargo, es posible que los investigadores no imaginaran que se podrían incorporar cientos de miles e incluso millones de elementos semiconductores en un *chip* de apenas algunos milímetros cuadrados.

Los modernos microprocesado-

res de quinta y sexta generación de la plataforma PC, están constituidos por más de cinco millones de transistores que trabajan a altísimas velocidades, alcanzando 900MHz de frecuencia de reloj. Tan sólo el Pentium III de Intel incluye unos 10 millones de transistores y trabaja con velocidades que van de 300 a 800MHz, y ya se anunciaron frecuencias todavía mayores.

Otros desarrollos en el campo de los microprocesadores, es la incorporación de grandes magnitudes de memoria caché de rápido acceso para la ejecución predictiva de operaciones, la inclusión de múltiples líneas de ejecución que permiten realizar más de una operación por ciclo de reloj, la ampliación de los buses de comunicación que permite la adquisición o expedición de varios bytes a la vez, la inclusión de las unidades de punto flotante en la misma estructura del *chip*, etc. De hecho, aproximadamente cada seis meses los fabricantes de microprocesadores presentan alguna innovación que hace a sus dispositivos más poderosos y flexibles.

Esto ha puesto al alcance de cualquier usuario promedio de computadoras, una capacidad de procesamiento de datos que hasta hace pocos años estaba destinada a grandes empresas o universidades. Como un dato interesante, le diremos que TRON, una película de Disney filmada en la segunda mitad de los 70's, fue una de las primeras cintas que incorporó animaciones en computadora con gráficos renderizados en tres dimensiones. Pues bien, en aquella época se requirió toda la potencia de una computadora Cray de 64 bits para realizarlas; en la actualidad, los vi-

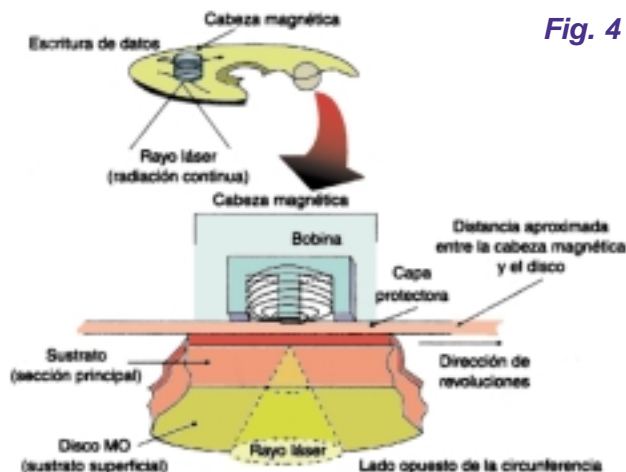


Fig. 4

deojuegos de la consola Nintendo 64 incluyen un microprocesador de 64 bits de *Silicon Graphics* y pueden generar animaciones de mejor calidad que las de obtenidas en TRON y ni que hablar de las modernas máquinas de 128 bits.

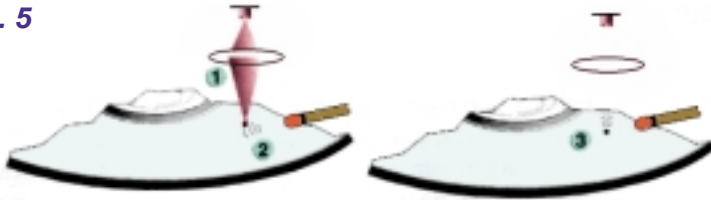
Capacidad de almacenamiento de datos

Actualmente, una computadora con microprocesador Pentium, equipo multimedia, disco duro de más de un gigabyte, tarjeta de fax-módem, etc. llega a costar menos de mil dólares. En cambio, hace unos quince años tan sólo un disco duro de 10 ó 20 megabytes (el 1% de la capacidad típica actual), podía costar unos \$1.500.

Al igual que la mayoría de componentes de una computadora, los discos duros han experimentado una caída sensible en sus precios asociada a crecientes mejoras tecnológicas; en este caso, hablamos de un extraordinario incremento en la capacidad de almacenamiento, disminución de los tiempos de acceso a los datos y fiabilidad de la información. Ello se ha conseguido gracias a avances en la tecnologías de fabricación de los platos magnéticos, de las cabezas de lectura/escritura y de los circuitos que codifican y manejan la información.

Incluso, desde hace algunos años se viene utilizando la tecnología magnetoóptica como alternativa para el almacenamiento de datos (figura 5). Y no hay que olvidar que el CD-ROM (la misma tec-

Fig. 5



Para grabar un disco por medios magneto-ópticos, un rayo láser de alta potencia eleva la temperatura de un punto en el disco (1), al tiempo que se le aplica un campo magnético intenso (2). Gracias al "efecto Curie", una vez que se ha apagado el láser el punto queda magnetizado, con lo que queda grabado un bit de información (3).

nología del disco compacto de audio digital, pero aplicada a sistemas de cómputo) por muchos años se mantuvo como el medio por excelencia para la venta de programas multimedia, debido a su alta capacidad de almacenamiento (hasta 640 MB de información) y muy bajo costo.

Es más, pruebas de laboratorio en las que también se combinan las tecnologías óptica y magnética, prometen multiplicar por un factor de 10 la capacidad de almacenamiento, utilizando básicamente los mismos discos magnéticos; al mismo tiempo, se están experimentando métodos para grabar información en cristales fotosensibles e incluso para utilizar memorias tipo RAM como principal medio de almacenamiento de datos, con el consiguiente aumento de la velocidad de acceso.

Gracias a estos avances, se calcula que hacia principios del próximo siglo una computadora estándar podría contener decenas o cientos de gigabytes de información en dispositivos de tamaño muy reducido.

Internet

Pocos temas han generado tanta expectativa como Internet, aun entre el público que raramente trabaja con una computadora; y es que la red mundial de computadoras

ofrece una serie de servicios que definitivamente han modificado el concepto de la comunicación. Internet es una red mundial de computadoras conectadas entre sí por medio de líneas de rápido acceso, a través de comunicaciones vía satélite o por simples líneas telefónicas. Estos son los servicios de Internet más utilizados, y todos al costo de una llamada telefónica local:

1) Correo electrónico. Permite el intercambio de información escrita (pueden enviarse también imágenes, gráficos o cualquier otro tipo de archivo computacional) de forma prácticamente instantánea y a cualquier parte del mundo.

2) IRC. Permite entrar a grupos virtuales de conversación escrita, en los que navegadores de distintas partes del planeta "se reúnen" para intercambiar experiencias sobre un tema específico; lo que un usuario escribe en su computadora los otros lo reciben. A estos servicios también se les conoce como chats. El concepto también ha evolucionado hacia la conversación directa como si fuera una llamada telefónica (los llamados Internet-phone) e incluso hacia la transmisión de la imagen de los interlocutores.

3) La World Wide Web (telaraña mundial). Es un sistema basado en "páginas", que no son otra cosa

que interfaces similares a las que se utilizan en los programas multimedia, es decir, pantallas con texto, gráficos, sonidos, animación y otros elementos de control que se utilizan en los programas con interface gráfica. Y al igual que en un programa multimedia, la pantalla tiene textos e imágenes sensibles que, al colocar el puntero del ratón y hacer clic, permiten "saltar" de un punto a otro de la misma página o hacia otra página.

La Web es la parte más exitosa de Internet y la que de hecho ha popularizado a esta red mundial de computadoras, debido a su manejo extraordinariamente sencillo. Cualquier persona, aunque no tenga conocimientos de computación, puede "navegar" en la Web. Además, otra de sus ventajas es que hay millones de páginas en todo el mundo, puestas por las empresas, por las universidades y por particulares, que brindan acceso gratuito a todo tipo de información. De hecho, es muy importante que usted, ya sea estudiante, hobbista, técnico en electrónica o profesional, vaya pensando en adquirir una computadora (si no la tiene) y conectarse a Internet, si es que aún no lo ha hecho. A través de sus páginas en la Web, los fabricantes de equipos electrónicos brindan mucha información gratuita y sumamente valiosa; además, se pueden intercambiar experiencias con otros usuarios de diferentes partes del mundo, etc.

Existen otros servicios disponibles en Internet, como grupos de discusión, listas de correo, transferencia de archivos de un servidor hacia cualquier computadora que lo solicite (FTP), etc., pero sin duda estos son los más empleados por el usuario típico. *****

2

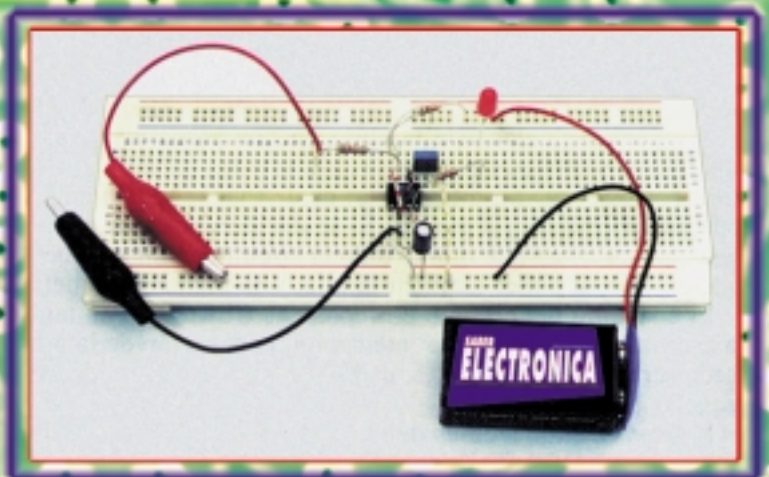
El Mundo de la

Electrónica

TV
AUDIO
VIDEO



**¿Qué es la
Electricidad
y qué es la
Electrónica?**



COMPUTADORAS - MICROPROCESADORES

Enciclopedia Visual de la Electrónica

INDICE DEL CAPITULO 2

¿QUE ES LA ELECTRICIDAD Y QUE LA ELECTRONICA?

Estructura atómica.....	19
Atomos: protones, electrones y neutrones.....	19
Constitución del átomo: protones, electrones y neutrones.....	19
Iones positivos y negativos.....	19
Conductores, semiconductores y aislantes.....	19
Flujo de electrones.....	19
Diferencia de potencial, tensión, fuerza electromotriz.....	20
Corriente eléctrica.....	20
Resistencia eléctrica.....	20
Conductancia.....	21
Clasificación de los resistores.....	21
Código de colores para resistores.....	22
Pilas y baterías.....	23

CONDUCCION DE LA CORRIENTE ELECTRICA

Los conductores y los aislantes.....	24
La electricidad como fluido.....	24
Tipos de conductores.....	25
Campo eléctrico y corriente eléctrica.....	27
El campo eléctrico.....	27
Corriente electrónica y corriente convencional.....	28
Velocidad de la corriente.....	29

LA REVOLUCION DE LOS MEDIOS OPTICOS

Medios de soporte de información.....	29
El surgimiento de la tecnología óptica.....	30
Luz y protuberancias.....	30
Tecnología digital.....	31
Otros sistemas ópticos.....	31
El disco láser de video.....	31
El CD-ROM - El CD-I.....	32
El Photo-CD.....	32
Los medios magneto-ópticos.....	32
El DVD.....	32

Capítulo 2

¿Qué es la Electricidad y qué es la Electrónica?

ESTRUCTURA ATOMICA

Átomos: protones, electrones y neutrones

La corriente eléctrica es el paso de electrones por un conductor. Dichos electrones están en todas las cosas pero arraigados a la estructura de un átomo constituyente de un elemento químico.

Para aclarar el tema, digamos que todos los cuerpos están formados por elementos químicos (el agua, por ejemplo, está formada por los elementos químicos hidrógeno y oxígeno), y que un átomo es la parte más pequeña a la que puede ser reducido un elemento químico.

Constitución del átomo: protones, electrones y neutrones

Si se pudiera dividir el átomo de un elemento, tendríamos pequeñas partículas que son las que dan a los átomos sus particulares características. Debemos saber que un átomo de un elemento se diferencia de un átomo de otro elemento en el número de ciertas partículas subatómicas que tiene cada uno de ellos, y éstos son los electrones.

En el centro del átomo está el núcleo, que tiene dos clases de partículas: los protones y los neutrones; alrededor del núcleo giran los electrones en órbitas electrónicas, así como ocurre con los planetas que giran en torno al sol.

Una característica importantísima de los protones y neutrones es que tienen carga eléctrica, vale decir: tienen una energía intrínseca y natural, puesta de manifiesto por las fuerzas que pueden ejercer sobre otras partículas del mismo tipo y que originan fenómenos de atracción y repulsión entre partículas cargadas eléctricamente. Se ha constatado que dos electrones o dos protones se repelen entre sí; es indudable que las dos partículas tienen cargas eléctricas de distinto signo: se las denominó carga eléctrica positiva (+) al protón y, al electrón, carga eléctrica negativa (-). Sin embargo, los neutrones del núcleo son partículas que tienen igual cantidad de carga positiva que de negativa; por lo tanto, tiene un efecto neutro por la anulación mutua entre los dos, el neutrón no ejerce fuerza eléctrica sobre un electrón o protón y tiene la función de separar los protones que están en el núcleo. Un átomo

es eléctricamente neutro y eso quiere decir que la cantidad de electrones es igual al número de protones; ese número de electrones se denomina "NUMERO ATOMICO". Los neutrones tienen intervención en la masa atómica, que está prácticamente en el núcleo; el resto es espacio vacío donde los electrones giran a grandes velocidades (figura 1).

Iones positivos y negativos

Cuando por cualquier circunstancia un átomo gana o pierde electrones, se dice que dicho átomo se ha ionizado.

Se denomina **ION POSITIVO** cuando el átomo tiene más protones que electrones e **ION NEGATIVO** cuando tiene más electrones que protones. Como cargas de distinto signo se atraen, cuando están cerca iones negativos y positivos, éstos se unen, pero también puede ocurrir que solamente se desprendan los electrones que tiene de más el ión negativo y se dirijan hacia el ión positivo para neutralizar su carga.

Cuando esto ocurre, se dice que el paso de los electrones "neutralizadores de carga" constituyen una **CORRIENTE ELECTRICA**.

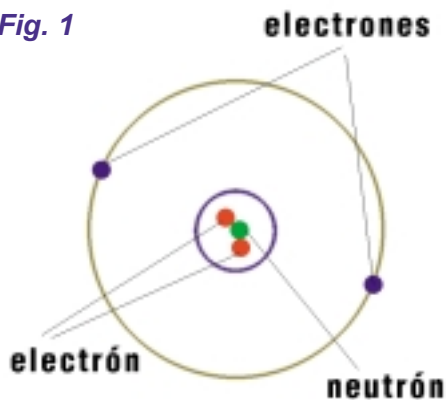
Conductores, semiconductores y aislantes

Existen materiales que permiten el paso de los electrones con mayor facilidad que otros. Se denomina conductor de la corriente eléctrica a todo aquel material que ofrece muy poca resistencia al paso de los electrones (cobre, plata, oro, platino, etc.) Un aislante de la corriente eléctrica es todo aquel material que ofrece una elevada resistencia al paso de los electrones. Existen otros materiales que, según como se los trate, se comportan como conductores o como aislantes. Dicho de otra manera, son materiales sobre los cuales se puede "regular" el paso de la corriente eléctrica; a dichos materiales se los denomina **SEMICONDUCTORES**.

Flujo de electrones

Se denomina corriente eléctrica al paso de los electrones por un

Fig. 1



¿Qué es la Electricidad y qué es la Electrónica?



Fig. 2

conductor de la corriente eléctrica (o semiconductor). Su unidad es el ampere (A) y "mide" la cantidad de electrones que atraviesan a un elemento en una unidad de tiempo.

Para que pueda establecerse una corriente eléctrica tiene que existir algo que impulse a los electrones a circular de un lado a otro.

Diferencia de potencial, tensión, fuerza electromotriz

Como hemos dicho, para que se establezca una corriente eléctrica debe existir algo que impulse a los electrones para que se muevan. Por ejemplo, colocando iones negativos de un lado de un conductor e iones negativos del otro, se establecerá una corriente eléctrica que será más grande cuanto mayor sea la "diferencia de cargas entre los iones".

Se dice que para que exista un flujo de electrones debemos aplicar "energía al conductor". Cuando la energía proviene de una fuerza del tipo eléctrico, se la denomina "fuerza electromotriz" porque permite el desplazamiento de electrones al desprenderse de los átomos.

Esa fuerza electromotriz puede originarla una batería. Ejemplo: el acumulador de un auto, una pila o un generador para alimentar una ciudad, como los que usan las compañías de electricidad. Estas fuentes de energía tienen 2 terminales, o polos negativo y positivo, y se dice que existe una tensión eléctrica o diferencia de potencial, que produce la fuerza eléctrica ya mencionada.

Consideremos a una tensión o diferencia de potencial como un "desnivel" que debe existir entre 2 puntos de un conductor para que

se produzca un movimiento de electrones y, entonces, una corriente eléctrica (figura 2).

Algo parecido es lo que sucede en un río, para que ocurra un desplazamiento de agua: el terreno tiene que estar en desnivel; de una misma forma, si hay una diferencia de potencial en electricidad, ésta es comparable a una diferencia de presión entre 2 extremos de una cañería que lleva agua o cualquier fluido, y es producida por una bomba. En la atmósfera, el viento es similar a una corriente eléctrica, que se produce por una diferencia de presión que existe entre una zona ciclónica y otra anticiclónica. La unidad denominada **VOLT**, se utiliza para medir la tensión eléctrica; se abrevia "V". Una pila de carbón genera entre bornes una tensión de 1,5V, un acumulador de auto genera una tensión de 12V y la que genera la compañía de electricidad es de 220V, en Argentina. Muchas veces, en **electrónica** usaremos tensiones más pequeñas que el VOLT, pero en **electricidad industrial** es común hablar de **KILOVOLT (kV)**, que equivale a 1.000V.

$$1 \text{ volt} = 1.000 \text{ milivolt} \\ 1V = 1.000mV$$

$$1 \text{ volt} = 1.000.000 \text{ microvolt} \\ 1V = 1.000.000\mu V$$

$$1 \text{ volt} = 0,001 \text{ kilovolt} \\ 1V = 0,001kV$$

CORRIENTE ELECTRICA

Un flujo de electrones en movimiento —*como causa de la aplicación de una fuerza electromotriz o fuente de tensión a un conductor eléctrico*— es lo que llamamos corriente eléctrica. El flujo está formado por electrones libres que, antes de aplicarles la tensión, eran electrones que estaban sujetos por la atracción de los núcleos de los átomos que constituyen el conductor.

En sus trayectos, los electrones libres chocan contra los iones posi-

vos del material y retroceden y vuelven a ser acelerados por la fuerza electromotriz. Los choques son el motivo por el cual el conductor se calienta cuando lleva corriente eléctrica, ya que cualquier choque entre 2 cuerpos ocasiona un desprendimiento de energía en forma de calor.

La corriente eléctrica por un conductor se define como:

"el número de electrones libres que pasa una sección cualquiera del conductor en un momento específico".

Los electrones llevan una carga eléctrica medida en **COULOMB** y podemos decir que la corriente eléctrica es la carga eléctrica transportada por esos electrones durante el intervalo de tiempo considerado. Si la carga eléctrica es de 1Cb y el tiempo es de 1s, se obtendrá una corriente eléctrica de 1A (inicial de AMPERE, por el físico francés AMPERE), siendo la unidad de corriente eléctrica. En electrónica, esta unidad de medición resulta grande, por tal motivo se utilizan los submúltiplos del ampere.

$$1mA = 0,001A$$

$$1A = 1.000mA \text{ (miliampere)}$$

$$1\mu A = 0,000001A$$

$$1A = 1.000.000\mu A \text{ (microampere)}$$

$$1\mu A = 0,001mA$$

$$1mA = 1.000\mu A$$

RESISTENCIA ELECTRICA

Definamos la resistencia eléctrica de un conductor como una propiedad del material que representa la oposición del mismo frente al paso de la corriente eléctrica. La oposición se origina como consecuencia de los choques entre los electrones libres de la corriente y los iones positivos del metal. La causa de estos choques es el calentamiento del conductor, el que, a su vez, lo transmite al medio ambiente.

La resistencia se mide en OHM, llamado así por el físico alemán

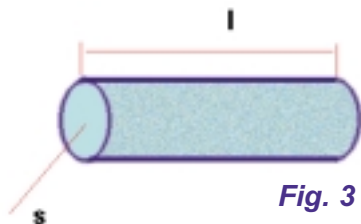


Fig. 3

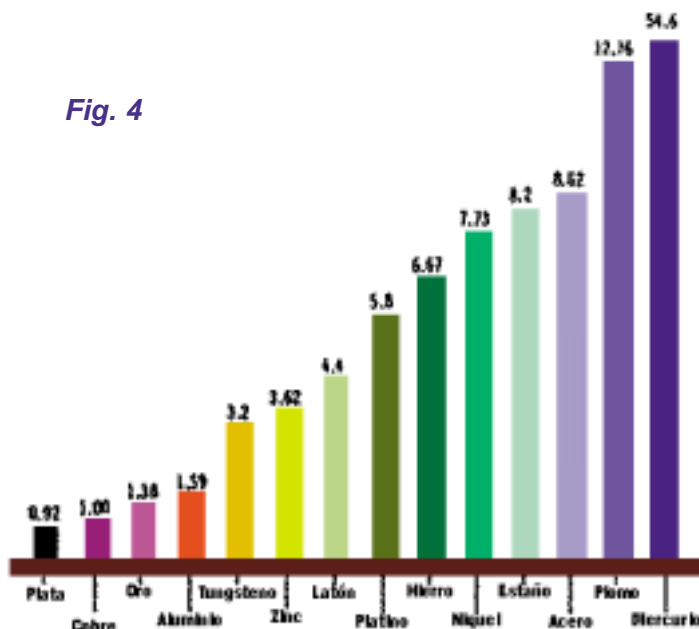
que lo descubrió. La resistencia eléctrica del material dependerá de tres factores: la longitud, la sección transversal y la resistividad del material. Veamos cómo es la fórmula matemática:

$$R = \frac{\rho \times l}{S} \quad (\text{ver fig. 3})$$

La resistividad del material (ρ) es un número y su valor nos muestra si es bueno, o no, pequeño o grande; o sea, cómo es el material como conductor de electricidad, y se mide en $\Omega \times m$ (fig. 4). Cabe aclarar que, normalmente, la resistividad de un metal aumenta con la temperatura.

CONDUCTANCIA: se denomina así a la inversa de la resistencia, se

Fig. 4



simboliza con la letra G y se mide en mho (al revés de ohm) o en SIEMENS.

$$G = \frac{1}{R} =$$

La unidad es:

mho = SIEMENS

CLASIFICACION DE LOS RESISTORES:

Veamos una definición de los resistores. Son componentes electrónicos fabricados especialmente para que tengan ciertos valores de resistencia. En varios casos, los valores en ohm de los resistores son muy altos, utilizando múltiplos del ohm, como, por ej., el kilo-ohm, igual a 1.000 ohm, que tiene una abreviatura k, y el mega-ohm, igual a 1.000.000 ohm, que tiene una abreviatura M. Entonces:

$$1k\Omega = 1000\Omega$$

$$1M\Omega = 1000000\Omega = 1000k\Omega$$

Podemos agrupar a los resistores (figura 5) en:

- 1) Resistores de composición de carbono
- 2) Resistores de película metálica
- 3) Resistores de alambre

3) Resistores de alambre

1) Resistores de composición de carbono

Estos se fabrican mezclando polvo de carbón y un aglomerante hasta darle forma de barrita, para fijar los terminales. El conjunto se encapsula con una resina fenólica o baquelita para protegerlo de la humedad y la temperatura, tiene un rango de valores de resistencia entre 1 y 22M Ω . En electrónica son los resistores más usados por su bajo costo (figura 6).

2) Resistores de película metálica

Estos se fabrican depositando una película metálica, que está a alta temperatura, sobre un tubo de vidrio, al que se fijan los terminales y se los encapsula como dijimos anteriormente.

Tienen un alto costo y se usan solamente cuando se necesita una gran exactitud en el valor de resistencia; ejemplo: instrumentos electrónicos (figura 7).

3) Resistores de alambre

Se fabrican arrollando un alambre hecho de aleaciones de cromo, níquel, etc., sobre un cilindro de cerámica. El conjunto se recubrirá de barniz, así se protege el alambre de la influencia de la humedad y temperatura. Estos son

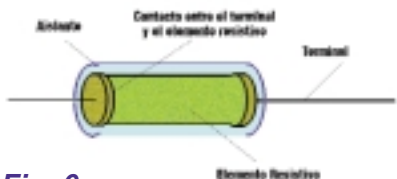


Fig. 6

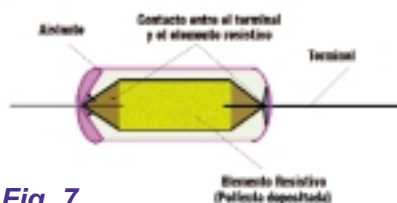


Fig. 7

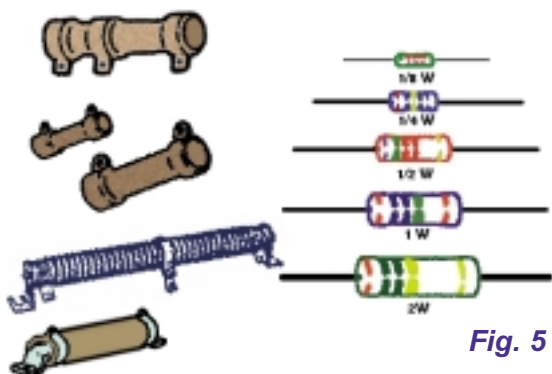


Fig. 5

¿Qué es la Electricidad y qué es la Electrónica?

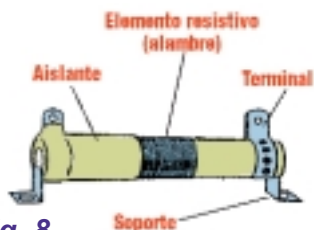


Fig. 8

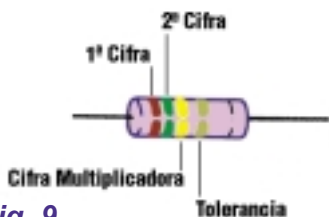


Fig. 9

grandes y se utilizan para la conducción de altas corrientes. El rango de valores de resistencia está entre 1 y 100k Ω (figura 8).

CODIGO DE COLORES PARA RESISTORES

Por el código de colores se lee el valor de resistencia, que está impreso sobre el cuerpo del resistor. Cada color representa un dígito decimal: las 2 primeras bandas de colores, que están ubicadas más cercanas de un extremo, representan el valor en Ω ; la 3ª banda representa el número por el que hay que multiplicar el valor anterior para obtener el valor final de resistencia; la 4ª banda representa la tolerancia, cuyo valor se explicará más adelante (figura 9).

La correspondencia entre un color y su valor se muestra en la tabla 1.

La tolerancia de un resistor es un número expresado en porcentaje, que representa el margen superior o inferior que puede tomar un valor nominal (por el código de colores) del resistor. Ejemplificando, diremos que para resistores de carbón se tienen tolerancias del $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ y $\pm 20\%$. Si el valor nominal es de 100 y la tolerancia de $\pm 10\%$, el valor real estará comprendido entre 100 y 90; finalmente, para una tolerancia de $\pm 20\%$, el valor real será entre 120 y 80.

cu nto puede estar el valor por encima o por debajo del componente.

Es un método práctico del fabricante para asegurar al usuario los límites máximos y mínimos del valor de un resistor. Como el proceso de fabricación no permite establecer valores precisos con anterioridad, en los resistores de composición de carbón la convención es ésta:

COLOR DE LA 4ª BANDA	TOLERANCIA
DORADO	$\pm 5\%$
PLATEADO	$\pm 10\%$
SIN COLOR	$\pm 20\%$

La potencia de un resistor no viene impresa en el resistor, pero se reconoce por su tamaño. Esa potencia tiene un significado de la máxima cantidad de calor que puede dar el resistor por el paso de corriente y, si ésta excede, se quemará por la alta temperatura obtenida. Se mide en watt (W). Los resistores de carbón se fabrican de 1/8W; 1/4W; 1/2W; 1W y 2W, y el tamaño aumenta gradualmente

Tabla 1

COLOR	DIGITO	MULTIPLICADOR
NEGRO	0	1
MARRON	1	10
ROJO	2	100
NARANJA	3	1000
AMARILLO	4	10000
VERDE	5	100000
AZUL	6	1000000
VIOLETA	7	10000000
GRIS	8	
BLANCO	9	
DORADO		0,1
PLATEADO		0,01

con la potencia. Para mayores potencias se utilizan resistores de alambre; los de película metálica pueden disipar hasta 1W. Los resistores de composición de carbón se fabrican con valores nominales de resistencia ya normalizados y el número dependerá del valor de la tolerancia. Para una tolerancia del 20%, las cifras significativas de los valores nominales son: 10, 15, 22, 33, 47, 68.

Las cifras significativas para una tolerancia del 10% son: 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82. Para una tolerancia del 5% las cifras significativas de los valores nominales son: 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75, 82, 91. En la figura 10 se dan ejemplos de valores de resistores de composición de carbón mediante el código de colores. Vea ejemplos de valores de resisto-

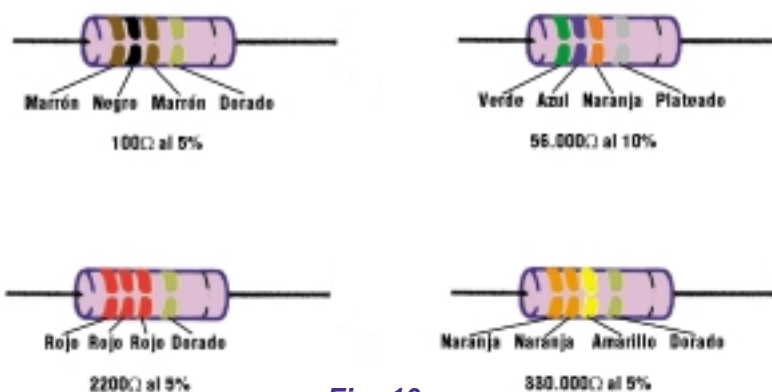


Fig. 10

La tolerancia nos indica hasta

res en la figura 10.

Digamos que a los resistores se los puede clasificar también en variables; éstos están representados por los potenciómetros y los presets o preajustes (figura 11).

La constitución de los potenciómetros se debe a una pista circular de carbón desplazándose por un contacto móvil (cursor) solidario a un eje vertical.

Los extremos de la pista de carbón y el cursor tienen una conexión a terminales, es decir, que la resistencia entre uno de los terminales y el cursor depende de la posición de éste (figura 12).

En el primer caso, los potenciómetros pueden ser lineales o logarítmicos; la variación de resistencia es proporcional al ángulo girado por el cursor, y en el 2º caso la variación es logarítmica, esto hace que, al comienzo, la resistencia varíe con rapidez con el ángulo de giro; después la variación será más lenta y tendrá un uso común en el control de volumen de radios y TV. Llamamos presets a los resistores variables que se ajustan una sola vez, hasta lograr una perfecta posición, y que no tienen posibilidad de ser variados por los usuarios.

El tamaño es reducido y tiene un ajuste con un pequeño destornillador, que es aplicado a una ranura que tiene el contacto móvil.

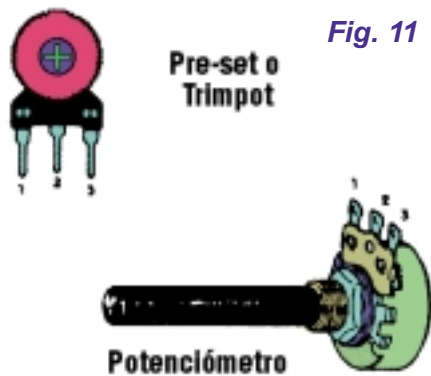
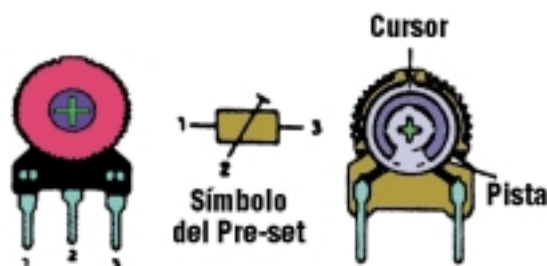


Fig. 11



Fig. 12



PILAS Y BATERIAS

Los componentes básicos capaces de suministrar una tensión continua estable a un circuito electrónico son las pilas, con la capacidad de generar una tensión eléctrica por medios químicos.

La más común está formada por un electrolito (sal, ácido o base disuelto en agua) y 2 electrodos. Veamos cómo se comporta un electrolito cualquiera, diluido en agua; ej. el cloruro de sodio (fig. 13).

La sal es eléctricamente neutra, pero cuando se disuelve en el agua se disocia en los iones que la componen, es decir, en iones positivos de sodio y en iones negativos de cloro.

Si sumergimos 2 electrodos consistentes en 2 metales diferentes A y B, una determinada cantidad de iones negativos será atraída por el electrodo A y otra porción de iones positivos será atraída por el electrodo B; entonces, A se carga negativamente y B, positivamente (figura 14).

A la diferencia de carga eléctrica que existe entre A y B, se la denomina diferencia de potencial o tensión de la pila. La tensión V depen-

derá de los materiales de los electrodos y del electrolito.

Por ejemplo, una pila de cinc-carbón tiene una tensión: $V = 1,5V$.

Si conectamos una lamparita entre los electrodos, ésta iluminará ya que se producirá el pasaje de los electrones desde A hasta B a través de ella, y se cerrará el circuito por medio de la solución electrolítica. Mientras este fenómeno sucede, uno de los electrodos (B) se va consumiendo, mientras que el otro se va engrosando por la deposición de material sobre su superficie. La reacción química continuará hasta que B se consuma en su totalidad; en ese momento, la lamparita se apagará porque la corriente se detuvo (figura 15).

En una pila seca, el electrolito es una pasta húmeda (pilas comunes) mientras que se denominan húmedas cuando el electrolito es un líquido (acumulador de plomo utilizado en los autos).

La pila seca más común es la de cinc-carbón y la desarrolló Le Clanché (1869), tiene un bajo costo y es de uso general.

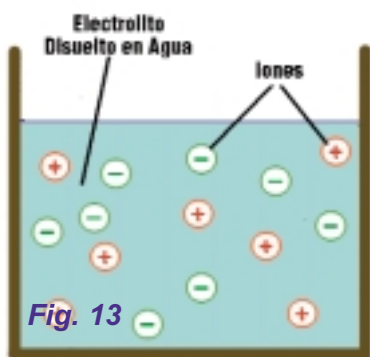


Fig. 13

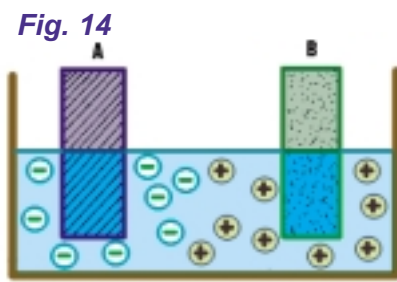


Fig. 14

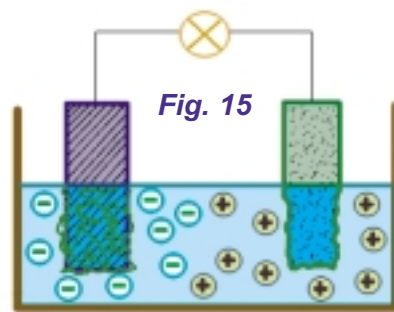


Fig. 15

Conducción de la Corriente Eléctrica

CONDUCTORES Y AISLANTES

El hecho de que algunos cuerpos pueden retener la electricidad y que otros permiten que se escape, nos revela que en la naturaleza existen dos comportamientos de este "fluido" representado por las cargas. De hecho, los dos grupos de cuerpos serán estudiados en esta lección. Veremos que en un caso se trata de los denominados aislantes y, en el otro, de los conductores. Los dos tipos de material tienen igual importancia en la electricidad electrónica modernas y son utilizados en una infinidad de aplicaciones. Conocer las propiedades de estos materiales es muy importante en el estudio de la electrónica.

La electricidad como fluido

Vimos que podemos sacar con cierta facilidad electrones de un cuerpo (de sus átomos) y llevarlos a otro que quedará con exceso de estas partículas.

El pasaje de electrones de un cuerpo a otro, cuando puede ser establecido, tiene mucha importancia en nuestro estudio, pues es lo que puede llevar energía de un punto a otro, así permiten la aplicación práctica de la electricidad.

Lo importante para nosotros es saber que las cargas eléctricas, constituidas por los electrones, pueden no sólo saltar de un cuerpo a otro en forma de chispas, como vimos en el caso del rayo, sino también moverse a través de ciertos materiales, como en el caso del cable utilizado en el pararrayos o de la cadena fijada al camión de combustibles (figura 1).

Mientras tanto, existen también cuerpos en que la electricidad queda "atrapada", como en el caso del peine frotado, en que los electrones ganados se mantienen en la posición en que son colocados, o la falta de electrones permanece en el lugar de donde fueron retirados (figura 2). El movimiento de electro-

nes en un cuerpo es posible si tienen una cierta libertad en el interior del material que lo constituye. Luego veremos de qué modo ocurre esto.

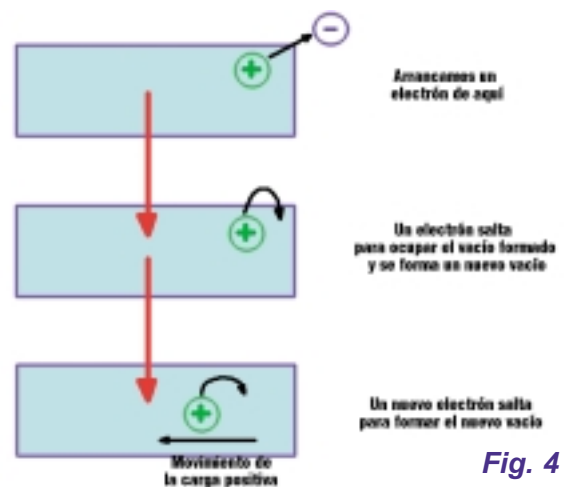
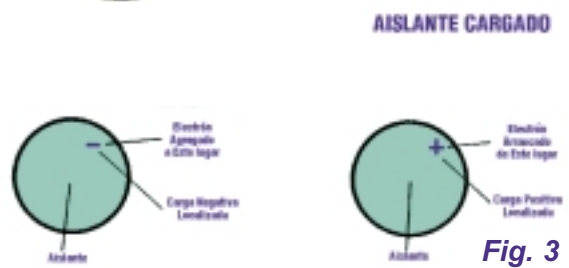
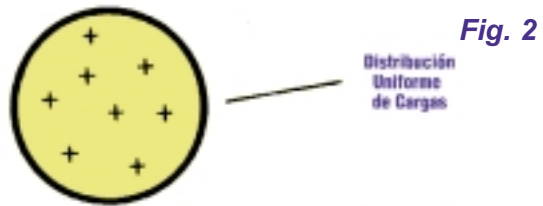
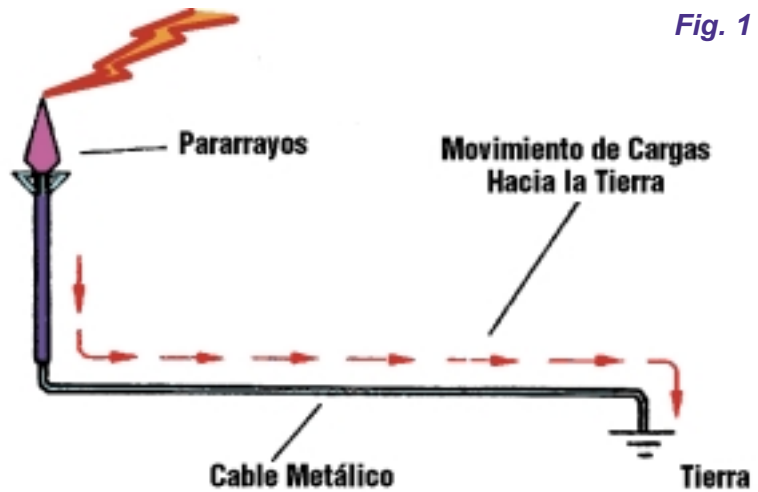
Para nosotros, entonces, es importante saber que existen tipos de materiales, en los que las cargas no se puede mover, que son denominados aislantes, y materiales en los que las cargas se mueven con facilidad, que son denominados conductores.

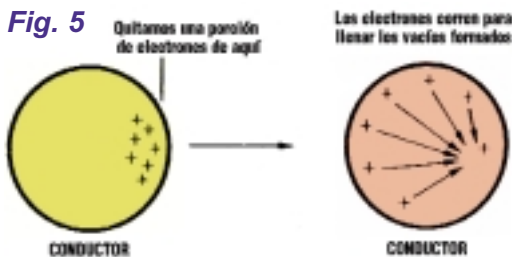
Sabemos que existen materiales que pueden ser electrizados de diferentes formas (serie triboeléctrica), lo que revela que existen átomos que tienen más dificultades en perder sus electrones que otros.

Así, para los materiales en que los elementos están firmemente unidos a los átomos, existe mucha dificultad para que ocurra un movimiento de cargas.

Si sacamos un electrón de un lu-

gar, este lugar quedará libre, pues aunque el cuerpo posee otros electrones disponibles, éstos no pueden ocupar el lugar vacío. Del mismo modo, si agregamos un electrón al





material, se quedará en ese lugar, pues no tiene facilidad para moverse (figura 3).

Por otro lado, existen materiales en los que los electrones son libres y pueden moverse con mucha facilidad en su interior. Esto ocurre, por ejemplo, en los metales. Si cargamos un cuerpo metálico con una cierta cantidad de cargas, agregando electrones libres, por ejemplo, estos electrones se pueden mover "saltando" de átomo en átomo hasta distribuirse de manera más o menos uniforme (figura 4). Si por otro lado, sacamos una cierta cantidad de electrones apenas de un punto de este cuerpo, los electrones de las cercanías "corren" a llenar el vacío formado y forman "nuevos vacíos" en otros puntos con una distribución también uniforme de las cargas positivas (vacíos). Figura 5.

En este punto el lector debe prestar atención a este hecho. Cuando hablamos de un cuerpo cargado negativamente, las cargas que se mueven o que participan del proceso, los que se pueden mover, son

electrones. Pero, cuando hablamos de un cuerpo cargado positivamente, o sea, en que existe una falta de electrones, en verdad ¡nada existe que se pueda mover! Podemos, sin embargo, para ayudarnos en nuestro razonamiento, hablar de "falta de electrones" o lagunas (vacantes o vacíos) que se mueven.

Así, mientras en un cuerpo cargado negativamente los electrones se distribuyen en su superficie, en un cuerpo cargado positivamente son las lagunas las que se distribuyen en su superficie (figura 6).

Volviendo al problema de los materiales conductores, vemos que la facilidad de movimiento, tanto de los electrones como de las lagunas, es total.

Los electrones pueden saltar de átomo en átomo, mientras que las lagunas son llenadas por átomos adyacentes que saltan libremente y provocan su desplazamiento (figura 7). Entre los materiales considerados aislantes, en que los electrones tienen grandes dificultades para moverse, tenemos: el vidrio, el papel seco, el plástico, la mica, la porcelana, la cerámica, etc.

Entre los materiales considerados conductores tenemos: los metales, el grafito, etc.

TIPOS DE CONDUCTORES

Podemos clasificar los materiales conductores en tres grupos:

a) Sólidos

Los materiales sólidos que conducen la electricidad, o sea, en los que las cargas se pueden mover, son los metales (que son los mejores conductores) y el grafito.

b) Líquidos

Determinados líquidos también permiten que las cargas eléctricas se muevan. Estas cargas, en verdad, se mueven junto al propio átomo que puede "nadar", por así decirlo, y desplazarse en el medio líquido. Estos átomos, que pueden tener falta o exceso de electrones y que se desplazan en un medio líquido, son denominados "iones" (expresión griega que traducida es "caminante"). Los iones positivos se llaman "cationes" y los negativos "aniones" (figura 8).

Las cargas eléctricas no se mueven a través del agua, por ser aislante. Sin embargo, si disolvemos en esta agua una sustancia como la sal de cocina, que está formada por átomos de cloro y sodio (NaCl), las partículas de sodio y cloro se disocian en aniones de cloro (Cl-) y cationes de sodio (Na+), figura 9.

Con esto, los aniones y cationes existentes en solución pueden servir de "medio de transporte" para las cargas eléctricas y el agua en estas condiciones se vuelve conductora.

Muchas sustancias del tipo sal (cloruro de sodio, bicarbonato de

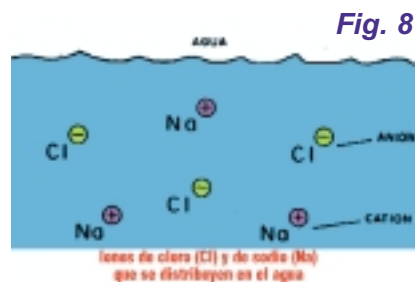
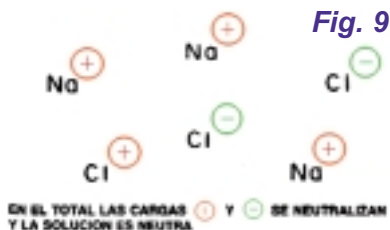


Fig. 7

Un electrón que salta de "C" para "D", es seguido inmediatamente por otro que salta de "B" para "C", llenando el vacío. Así se mueven las cargas



sodio, sulfato de cobre), del tipo ácido (ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, etc.) o bien de tipo base (hidróxido de sodio, o sea soda cáustica) cuando se disuelven en agua también se disocian y forman así una solución conductora.

Vea que, en el total, cuando disolvemos sal en agua, separamos partículas positivas y negativas, pero en cantidades iguales, lo que quiere decir que el agua que tenemos mantiene su neutralidad.

c) Gaseosos

Los gases, en condiciones normales, o sea neutros, son excelentes aislantes y no permiten que las cargas eléctricas se muevan con facilidad. Pero, si por medio de una buena cantidad de energía conseguimos arrancar electrones de los gases, de modo que pasen a quedar en un estado de electrización denominado "ionización", entonces se convierten en excelentes conductores.

En los gases ionizados ocurren fenómenos interesantes, como por ejemplo, la emisión de luz, lo que es aprovechado para la fabricación de las lámparas fluorescentes (figura 10). El aire, que es aislante en condiciones normales, se vuelve conductor por acción de una descarga fuerte como la producida por el rayo, que entonces puede atravesarlo con facilidad.

Un poco de cálculos

Hasta ahora dimos interesantes explicaciones sobre cómo funcionan las cosas en lo que se refiere a cargas eléctricas y su movilidad. El único valor numérico que vimos fue la llamada carga elemental, que era:

$$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

A partir de este valor y de otros que daremos a continuación, vamos a "jugar" un poco con los cálculos para aprender cosas interesantes sobre la electricidad.

Como vimos, cada tipo de sustancia simple (elemento) posee un átomo con cantidades diferentes de partículas internas (protones y neutrones). Así, en función de esta cantidad podemos saber exactamente cuántos átomos de una cierta sustancia existen en una cantidad cualquiera que tomamos de ella.

Verificamos entonces que, si dividimos esta cantidad de una sustancia por el "peso" relativo de las partículas que forman el átomo, obtenemos un número constante.

De este modo 1 gramo de hidrógeno tiene la misma cantidad de átomos que 16 gramos de oxígeno, que a su vez, tiene la misma cantidad de átomos que 108 gramos de plata y 197 gramos de oro (figura 11).

El número de partículas (átomos) es enorme:

$$n = 6,02 \times 10^{23}$$

¡Esto significa 6 seguido de 23 ceros! ¡Todos esos átomos en apenas algunos gramos de material!

Suponiendo que en un metal, como el oro, cada átomo pueda contribuir con un electrón libre, en un trocito de, digamos, 1 gramo, tendríamos nada más y nada menos que 10^{22} electrones disponibles (10 seguido de 22 ceros, para los que no están familiarizados con la an-

Fig. 10



tación exponencial). Estos electrones forman, en el interior del metal, una especie de "nube" que se está "agitando" constantemente. Verificamos que los electrones pueden incluso ver aumentada su cantidad con la elevación de la temperatura, fenómeno de gran importancia en electrónica.

¿Qué ocurre si multiplicamos la cantidad de electrones libres que tenemos en un trocito de metal por la carga de cada electrón?

Evidentemente, obtenemos la carga total, en Coulombs, del pedacito de metal en cuestión.

Suponiendo que nuestro trocito de metal tenga 10 electrones y que la carga de cada uno sea de $= 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$, tenemos:

$$Q = 10^{22} \times 1,6 \times 10^{-19}$$

$$Q = 1,60 \times 10^3 \text{ C}$$

$$Q = 1.600 \text{ Coulomb}$$

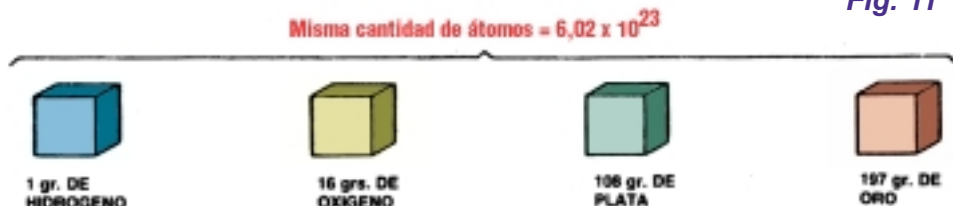
¿Será mucho o poco, esto?, se preguntará el estudiante.

A título de curiosidad, si la lámpara de su cuarto está encendida en este momento consume energía a razón de apenas una carga de 1/Coulomb por segundo.

Una carga de 1.600 Coulomb, ciertamente, quemaría esta lámpara y si los electrones no estuvieran "equilibrados" en el interior del metal y pudieran revelar toda su "fuerza", bastaría que usted tocara un trocico de oro ¡para morir instantáneamente fulminado!

En verdad, en la práctica, no podemos manejar sino una parte muy

Fig. 11



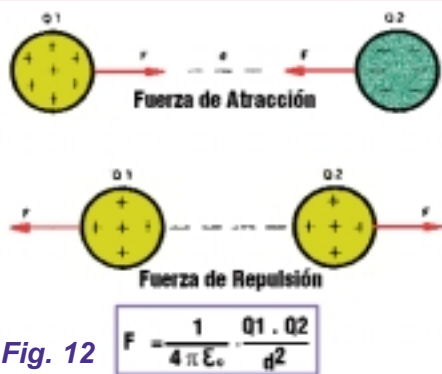


Fig. 12

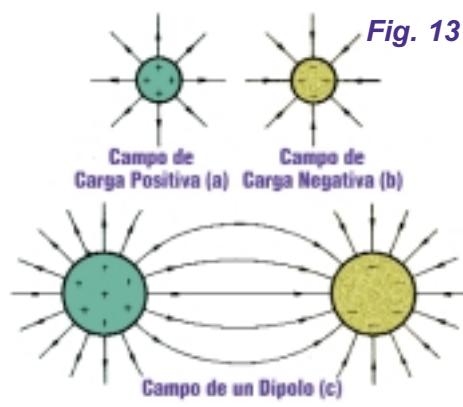


Fig. 13

pequeña de los electrones que están libres en el metal, para agregar o quitar algunos. De ningún modo podemos contar con todos en los procesos eléctricos.

CAMPO ELECTRICO Y CORRIENTE ELECTRICA

¿Qué hace que las cargas eléctricas se muevan en un cuerpo? ¿Qué estado especial existe en torno de un cuerpo cargado, para que su influencia se haga sentir a distancia? ¿Qué ocurre cuando una gran cantidad de cargas eléctricas se mueve en un material conductor?

Todo esto será el tema de esta lección.

Veremos de qué modo la "influencia" de las cargas en un cuerpo se "propaga" por el espacio y provoca el movimiento de cargas incluso a la distancia y de qué modo un flujo de cargas forma una corriente, un movimiento muy especial para las aplicaciones prácticas.

El campo eléctrico

Un cuerpo cargado de electricidad, ya sea positiva o negativa, se

comporta de manera muy especial. Otros cuerpos también poseedores de cargas eléctricas, colocados en las proximidades de aquéllos, quedarán sujetos a la acción de fuerzas.

Si las cargas de los cuerpos próximos fueran de signos opuestos, la fuerza será de atracción, mientras que si las cargas fueran del mismo signo, la fuerza será de repulsión, como ilustra la figura 12. Podemos decir que el espacio en torno de un cuerpo cargado queda lleno de algo invisible, algo que corresponde a la acción de naturaleza eléctrica sobre los cuerpos que también están cargados.

El espacio en torno de un cuerpo cargado goza de propiedades especiales que pueden explicarse por la presencia de una entidad llamada "campo eléctrico", normalmente representada por la letra E.

El campo eléctrico no es algo físico, en el sentido que podamos verlo, pero sí una entidad física que describe un estado alrededor de un cuerpo cargado.

Para representar este estado usamos entonces líneas imaginarias, denominadas líneas de campo. El conjunto de estas líneas imaginarias alrededor de un cuerpo cargado representan su campo eléctrico.

Por una convención, las líneas se orientan saliendo de los cuerpos cargados positivamente y entrando en los cuerpos cargados negativamente, como muestra la figura 13. En el primer caso, tenemos la representación del campo de una carga positiva (a); en el segundo, el campo de una carga negativa (b) y, en el tercero, el campo provocado por dos cargas de signos opuestos próximos, lo que se llama "dipolo".

Vea que las líneas se diluyen cuando están más lejos de las cargas, lo que indica el debilitamiento del campo.

Una carga eléctrica (un electrón, por ejemplo) colocado en el campo eléctrico de una carga cual-

quiera, queda sujeta a una fuerza que está siempre orientada en el sentido de coincidir o ser tangente (tocar la línea de fuerza del campo en el lugar considerado), figura 14. Las propiedades principales que poseen las líneas de fuerza son:

- * Siempre salen de los cuerpos positivos y llegan a los negativos.
- * Nunca se cruzan.
- * Están más concentradas donde el campo es más fuerte.

La intensidad del campo eléctrico en un determinado punto del espacio, a una cierta distancia de la carga que lo produce, puede ser calculada.

Este cálculo tiene gran importancia en los estudios de electrostática y en consecuencia para la electrónica.

Teniendo como base la ilustración de la figura 15, la fórmula que nos permite calcular la intensidad del campo eléctrico en el punto P del espacio es:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{d^2}$$

Donde: **E** es la intensidad del campo medida en N/C (Newtons por Coulomb)

$1/4\pi\epsilon_0$ es la constante que vale $9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$

Q es la carga que provoca el campo en Coulomb

d es la distancia de la carga al punto P.

Como vimos, una carga eléctrica colocada en un punto del espacio, sujeta a la acción de un campo, es forzada a moverse.

La fuerza que aparece en el caso

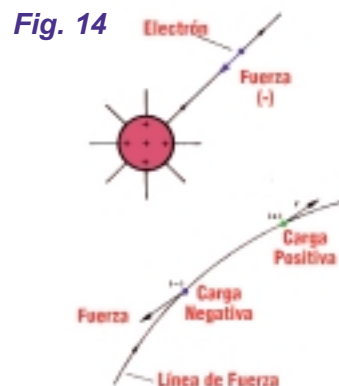


Fig. 14

¿Qué es la Electricidad y qué es la Electrónica?



Fig. 15



dirigirse al cuerpo cargado positivamente (figura 16).

Si hubiera un medio conductor entre los dos cuerpos que permita el movimiento de estas cargas, los electrones podrán desplazarse con cierto orden, pasando de un cuerpo hacia el otro. Los electrones saltarán de átomo en átomo, así formarán un flujo de cargas.

Decimos que el movimiento ordenado de cargas eléctricas que ocurre en este caso se denomina "**corriente eléctrica**" (figura 17).

En el caso específico que tomamos de ejemplo, en que el conductor es el metal, el movimiento real es de cargas negativas (electrones), pero puede ser de otro tipo de partículas, como por ejemplo, los iones, en los casos de los gases y soluciones.

Está claro que sólo los protones no pueden moverse en realidad, por estar presos en los núcleos de los átomos.

Por otro lado, los electrones que se mueven de un cuerpo hacia otro, no lo hacen todos instantáneamente.

Existe un límite para la cantidad y la velocidad con que ocurre el pasaje. La cantidad y la velocidad son establecidas por la intensidad del campo y, naturalmente, por la capacidad que el conductor tenga de permitir que las cargas se muevan. Si consideramos un intervalo de tiempo en que no hay alteración perceptible en la carga total de las esferas, vemos que el flujo de cargas en el conductor se mantiene constante.

Podemos entonces hablar de una intensidad para este flujo, que va a corresponder a la intensidad de la corriente eléctrica (figura 18).

La intensidad de una corriente corresponde entonces a la cantidad total de carga que pasa en cada segundo por un conductor.

Corriente eléctrica y corriente convencional

Observe un hecho interesante: como las únicas cargas que se pueden mover, en realidad, son los electrones, las corrientes eléctricas fluyen desde los cuerpos negativos hacia los cuerpos positivos (figura 20). Esta corriente se denomina corriente electrónica, pero no siempre es considerada en el estudio de la electricidad. De hecho, sabemos que los números negativos son menores que los positivos, lo que vuelve muy extraño decir que el agua fluye de un lugar de menos presión (negativo) hacia uno de mayor presión (positivo), cuando en realidad ocurre todo lo contrario. Si las cargas que se mueven fueran las positivas, las cosas podrían ser explicadas del mismo modo y no tendríamos este problema.

Pero, si no podemos ver los electrones o cargas de ninguna especie, ¿qué nos impide "imaginar" el fenómeno como si ocurriera en sentido "contrario"?

De hecho, cuando una carga negativa sale de un cuerpo (electrón) y va a neutralizar otra positiva en un cuerpo cargado de este modo, el efecto final es cero, lo mismo que si consideráramos una carga positiva que sale del que está cargado de este modo y va hacia el otro (figura 21).

En verdad, el efecto de considerar que los electrones saltan hacia la esfera de la derecha, como muestra la figura 22, corresponde exactamente

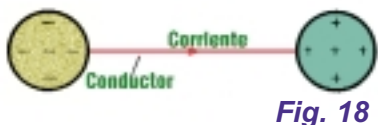


Fig. 18

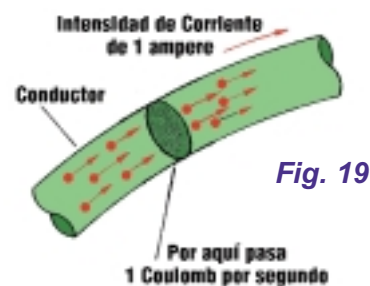


Fig. 19



Fig. 20

puede ser calculada por la expresión:

$$F = Q \times E$$

donde: **F** es la fuerza en Newtons,
Q es el valor de la carga que es colocada en el punto P en Coulombs y
d es la distancia en metros hasta la carga que produce el campo.

LA CORRIENTE ELECTRICA

Si tuviéramos dos cuerpos cargados con cargas de signos opuestos, el campo eléctrico que existe en torno de ellos es tal que procurará mover las cargas de uno hacia el otro en el sentido de establecer su neutralidad.

Los electrones tenderán a salir del cuerpo cargado negativamente y



Fig. 21

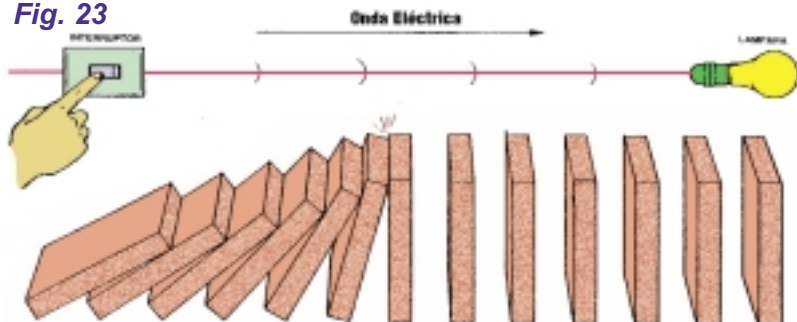
a la formación de "vacíos" o "agujeros" que se desplazan hacia la izquierda, que a su vez corresponden justamente al movimiento "contrario" de cargas positivas. Todo esto significa que podemos perfectamente representar corrientes eléctricas que salen de cuerpos positivos (polos positivos) y van hacia cuerpos negativos, sin que esto esté equivocado. En verdad, es común hacer este tipo de representación. En este caso, decimos que estamos representando la corriente convencional y no la corriente real o electrónica.

Velocidad de la corriente

Usted acciona el interruptor de la luz y ¡zas!, la luz se enciende instantáneamente. Por más largo que sea el cable, no conseguirá notar retraso alguno entre los dos momentos: el accionamiento del interruptor y el encendido de la lámpara son simultáneos.

En verdad, lo que ocurre es que el fenómeno de la acción de la electri-

Fig. 23



Podemos comparar la propagación de la electricidad en un cable con la caída de las fichas de dominó. Los dominós (como si fueran electrones) se mueven poco pero el efecto de la caída se propaga rápidamente.

cidad es instantáneo, mientras que la velocidad de las cargas en sí no lo es.

Analicemos el fenómeno: Cuando usted acciona el interruptor el establecimiento del campo eléctrico (acción) en el conductor se propaga con una velocidad muy grande, del orden de los 300.000 km por segundo... **o sea la velocidad de la luz!** Esta acción hace que prácticamente todos los electrones que tienen movilidad pasen a saltar de átomo en átomo en la dirección que co-

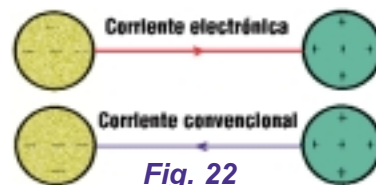


Fig. 22

responde a la circulación de la corriente (figura 23). Pero la velocidad media de los electrones en este movimiento es muy pequeña comparada con la velocidad con que se establece la corriente.

La Revolución de los Medios Ópticos

El surgimiento del disco compacto de audio digital, desencadenó una revolución en los medios de almacenamiento de información, considerada ésta en sentido amplio (datos, texto, audio, imágenes, video), pues permitió grabar enormes cantidades de datos en un disco de apenas doce centímetros de diámetro. El CD musical y todos los formatos que se derivaron de dicha tecnología, tienen una base física común: el registro y lectura de información por medios ópticos. En este artículo, revisaremos los principios en que se apoya esa tecnología y haremos un recuento de los principales formatos que se han derivado del CD musical.

MEDIOS DE SOPORTE DE INFORMACION

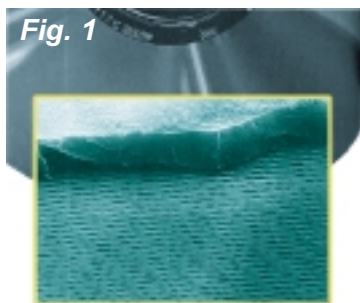
Los medios de registro de información, constituyeron una base fundamental en el desarrollo de las civilizaciones, pues permitieron aumentar la memoria colectiva, remontar

las barreras del tiempo y, por consecuencia, incrementar el bagaje intelectual de los pueblos. La primera forma material que se supone se empleó en la antigüedad, fue la tableta de arcilla, en la cual se grababan incisiones que representaban letras o números (la escritura cuneiforme de los antiguos babilonios); luego vino el rollo o tira continua de papiro (el antecesor del papel) usado por los antiguos egipcios; más tarde el códice o cuaderno de pergamino, que con los siglos evolucionó hasta el concepto de hojas de papel agrupadas para formar un volumen (libro); y, finalmente, en nuestro siglo, el disco de acetato, la cinta magnética, el disco magnético y los discos ópticos.

Esta amplia variedad de medios de almacenamiento, ha implicado una diversidad de recursos y dispositivos para conservar la información: incisiones (bajorrelieve) en las tablillas babilónicas; tintas y plumas de ave para la escritura sobre papiros y

pergaminos; la imprenta para el estampado en papel; los campos magnéticos para la grabación en cinta y discos; surcos grabados en la superficie de discos de acetato y protuberancias microscópicas sobre la superficie de un disco de policarbonato, para ser leídos mediante un rayo láser.

El surgimiento de los medios ópticos, constituyó una transformación rotunda de los métodos de almacenamiento de información, pues permitió grabar enormes cantidades de datos en un disco de apenas doce centímetros de diámetro. El primer dispositivo óptico fue el videodisco láser, aunque el medio que desencadenó la revolución de los sistemas ópticos fue el disco compacto de audio digital, capaz de almacenar hasta 74 minutos de audio; de ahí se derivaron múltiples formatos y variantes, siendo el más importante el disco compacto para computadora o CD-ROM (Compact Disc-Read Only Memory), el



cual permitió almacenar hasta 640 megabytes de información.

La ventaja principal del CD-ROM, fue que permitió a las compañías fabricantes de *software*, desarrollar programas de computadora de una clase llamada "**multimedia interactiva**", en la cual se combinan texto, imágenes, sonido, animaciones y video, brindando además al usuario la posibilidad de interactuar de forma dinámica con esa información heterogénea. Y es que el CD-ROM ofreció por primera vez un soporte ligero y barato para la grabación digital de enormes cantidades de datos, justamente como las que requiere la multimedia interactiva.

Todos los formatos ópticos que se derivaron del CD musical, así como los desarrollos conceptuales y tecnológicos que propició el CD-ROM, mantienen una base física común: el almacenamiento y lectura de información por medios ópticos.

En este artículo, revisaremos los principios de grabación y lectura de datos por procedimientos ópticos y haremos un recuento de los principales formatos que se han derivado del CD musical.

El surgimiento de la tecnología óptica

A finales de la década de los 70, la compañía Philips había desarrollado un método para grabar información en surcos microscópicos y recuperarla mediante un rayo láser. La aplicación que los ingenieros de esta compañía le dieron a tan novedoso sistema fue en el "**disco láser de video**", cuyo lanzamiento al mercado se dio en 1980, con la intención de ofrecer una alternativa viable a los formatos de videocinta Beta y VHS, que por entonces inauguraban una era en el terreno del video doméstico.

Sin embargo, tal vez por tratarse en ese tiempo de una tecnología muy avanzada para las condiciones de la industria en el mundo, o por resultar muy costosa con relación a las videocintas, Philips no obtuvo el éxito esperado con el videodisco en esos años.

Mas este gran avance sentó las bases del disco compacto digital. Al respecto, conviene precisar que en el videodisco láser la información no se graba digitalmente, sino de manera analógica.

Por otra parte, hacia fines de los 70, las técnicas digitales habían alcanzado un grado de maduración que los hacía susceptibles de aplicarse en electrónica de consumo, en buena medida estimuladas por los avances en la producción de circuitos de gran escala de integración.

Este panorama, aunado a las ventajas de las técnicas digitales sobre las analógicas, llevó a Philips a considerar el desarrollo de un disco láser para grabación de audio basado en procedimientos numéricos.

El inconveniente fundamental que enfrentaba Philips para desarrollar un medio de almacenamiento con estas características, era el proceso de conversión de la señal analógica en un formato digital y su posterior reconversión a la expresión analógica. Por entonces ya existían desarrollos comerciales de circuitos convertidores de análogo a digital (A/D) y de digital a análogo (D/A), pero como Philips había dedicado mucho tiempo a la investigación y desarrollo de la tecnología para el almacenamiento y recuperación de datos en formato óptico, no disponía de un desarrollo propio para la conversión A/D/A de señales de audio.

Conscientes de que desarrollar un método propio para resolver esta cuestión técnica podría tomarles varios años, los directivos de Philips decidieron establecer alianzas estratégicas con otras compañías que ya disponían de esa tecnología. Concretamente, llegaron a un acuerdo con la firma japonesa Sony, para el lanzamiento común del nuevo disco compacto de audio digital.

Los ingenieros de Sony habían desarrollado a fines de los 70 un procedimiento muy efectivo para la grabación de audio análogo en forma digital a través de una codificación **PCM (Pulse Code Modulation)**. Inclusive, algunos de sus modelos de videograbadoras Beta, llegaron a incluir circuitos que permitían la adición de un módulo especial para el manejo del audio estéreo Hi-Fi digital. Finalmente, de la unión de tecnologías de estas dos grandes empresas mundiales, surgió en 1982 el disco compacto de audio digital. Rápidamente, este novedoso sistema atrajo la atención de otros fabricantes de equipos, pues el CD ofreció indudables ventajas sobre los tradicionales medios de almacenamiento de audio: **el disco negro de acetato y la cinta en casete.**

Luz y protuberancias

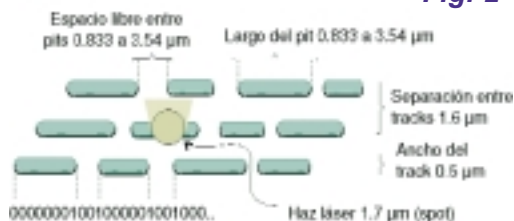
En un disco de acetato la información se graba mediante pequeños surcos en forma de espiral; es en las paredes de dicho surco donde se graba el audio analógico que posteriormente es recuperado por una aguja de zafiro o de diamante (figura 1). La aguja, al recorrer el surco, vibra según las ondulaciones grabadas en las paredes del mismo y transmite la información de audio analógico hacia una pastilla magnética, donde se obtiene la señal eléctrica respectiva, misma que es filtrada y amplificada para su posterior salida por los altavoces.

¿Cuál es el principio de almacenamiento y lectura de información en los sistemas ópticos? En este caso, no existe aguja ni contacto físico entre el medio recuperador y el medio de almacenamiento, como tampoco existe un surco con paredes grabadas.

En los discos ópticos, para almacenar los datos, se utiliza un *track* o pista de información constituida por minúsculas elevaciones de longitud variable, a las cuales se les llama *pits* (en inglés *pit* significa hueco, pero se emplea este término porque en el disco matriz, que es como el negativo del CD, la información va codificada en microscópicos huecos o

En un disco compacto, la información se graba mediante diminutas "pits" o elevaciones. Al área respectiva se le llama "superficie de datos".

Fig. 2



depressiones). El **pit** es la célula o unidad básica de información en los discos ópticos digitales. Las dimensiones de estos *pits* son sorprendentes: tienen un ancho de sólo 0,5 micras (una micra = una milésima de milímetro); su altura es de tan sólo 0,11 micras, y su longitud puede variar desde 0,83 hasta 3,5 micras (figura 2). A su vez, la separación entre **tracks** adyacentes es de tan sólo 1,6 micras.

Estas dimensiones probablemente no tengan para usted un significado en primera instancia; sin embargo, para brindarle una perspectiva más apropiada, en la figura 3 se muestra una comparación de los *tracks* de un CD musical con un surco de un disco de acetato y con el grueso de un cabello humano.

Tecnología digital

La tecnología digital tiene notables ventajas en comparación con los medios de almacenamiento de audio y video analógicos, como el disco de acetato y la cinta de video magnética.

Con las técnicas analógicas, cualquier imperfección durante las etapas de registro, almacenamiento o reproducción de la grabación afecta la calidad de la señal de audio y/o video.

Por ejemplo, un disco sucio provoca ruido.

Estas imperfecciones no ocurren en el almacenamiento digital, donde gracias a la naturaleza binaria de los datos almacenados, cualquier fuente de ruido externo se elimina rápida y eficientemente, permitiendo la recuperación de una señal que es virtualmente idéntica a la original.

De analógico a digital

En la tecnología del disco óptico, exceptuando la información de video de los discos láser, las señales analógicas son convertidas en señales digitales. Durante este proceso, la señal analógica de audio y/o video es dividida en varias partes y convertida

en una serie de valores llamada **muestreo**. En cada muestreo se explora una forma de onda que representa una señal de audio o de video, y esta exploración se lleva a cabo en intervalos iguales. La fuerza y la polaridad de la señal analógica original en estos intervalos, pueden expresarse con números decimales (1, 2, 3, etc.); así, tanto la magnitud como la polaridad de dicha señal (+ ó -) quedan indicadas de punto a punto. Vea la figura 4.

La frecuencia y el número de bits con que se mide la magnitud de la señal en una forma de onda, determinan la exactitud del registro de la forma de onda original; por consiguiente, el número de bits debe ser tal que estos pasos deben ser muy pequeños; y por lo que se refiere a la frecuencia, ésta debe ser lo suficientemente elevada para garantizar la correcta captura de todo el ancho de banda de la señal original. Un convertor A/D transforma los valores decimales en una notación binaria: bits. Los bits sólo consisten en 1 (unos) y 0 (ceros), y mediante la combinación de éstos se pueden expresar los números decimales en forma de notación binaria.

Estos son ejemplos de notación binaria en tres bits:

Decimal	Binaria
1	001
2	010

La señal analógica se convierte entonces en una señal digital que ahora consiste en una serie de pulsos: pulsos para los 1 (unos) y ausencia de pulsos para los

0 (ceros). Estos pulsos en serie se graban en la superficie del disco maestro en forma de **pits** de tamaño microscópico; y esto se hace con un rayo láser muy fino.

En la mayoría de las grabaciones, cada valor analógico muestreado (44,100 por segundo) es convertido en una línea de 16 bits en vez de los tres que se acaban de ejemplificar; de esta manera, se obtiene un total de más de 1 millón de bits por segundo. Un número de 16 bits de 1 (unos) y 0 (ceros) puede expresar un máximo de 65.536 diferentes valores; o sea, que dos posibles valores para cada bit = $2^{16} = 65.536$ posibilidades.

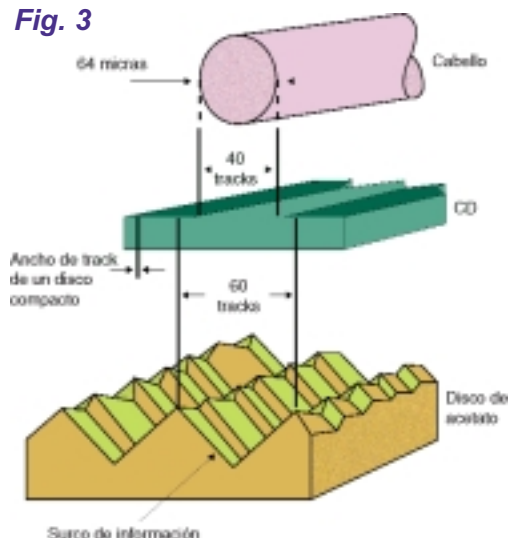
OTROS SISTEMAS OPTICOS

Como ya mencionamos principio, esta tecnología tan poderosa no sólo se aprovecha en los discos digitales de audio, sino que también se aplica en otros formatos. A continuación se describen algunos de los formatos derivados del disco compacto de audio digital.

El disco laser de video

Si bien el disco láser de video es anterior al disco compacto de audio, ya que fue presentado por Philips en 1980, dos años antes que el primer CD de audio llegara al mercado, como tuvo una acogida muy pobre por parte de la industria, prácticamente fue archivado entre los múltiples formatos que compitieron por la supremacía en el mundo del video casero.

Fig. 3



¿Qué es la Electricidad y qué es la Electrónica?

El CD-ROM

Ya mencionamos que los CD-ROM son físicamente idénticos y de la misma tecnología que un disco compacto de audio digital. Justamente por esas propiedades, es un medio que puede almacenar hasta 640 megabytes de información, una cantidad extraordinaria en un reducido espacio, comparada con un disco duro promedio.

Precisamente por esa capacidad de almacenamiento, los CD-ROM's se utilizan sobre todo en aplicaciones de multimedia interactiva, donde los gráficos y el audio consumen grandes cantidades de espacio; aunque cada vez se les emplea con mayor frecuencia en la distribución de programas diversos, librerías de programas, etc.

El CD-I

El Disco Compacto Interactivo (CD-I) fue un desarrollo de Philips que trató de competir con el CD-ROM, ya que su utilidad era prácticamente la misma; esto es, en un CD-I también podían grabarse textos, imágenes, animaciones, sonidos, etc. Su ventaja inicial era que para aprovechar un CD-ROM se necesitaba una computadora personal poderosa, mientras que para utilizar los CD-I tan sólo se requería un aparato lector que se conectaba al televisor.

Disco compacto para fotografía (Photo-CD)

Este es un desarrollo que hizo Kodak a finales de los 80, como una opción para almacenar un gran número de fotografías en un CD idéntico al de audio en dimensiones y tecnología, pero cuyo formato interno estaba especialmente dedicado al manejo de imágenes.

Durante algún tiempo se vendieron lectores especiales de Photo-CD

para conectarlos al televisor, utilizando el disco como **libro de fotos**; sin embargo, en la actualidad prácticamente toda esta tecnología se ha desplazado al mundo de las computadoras personales.

Los medios magneto-ópticos

Una situación especial la tenemos en un desarrollo relativamente reciente, el cual permite la utilización de tecnología óptica combinada con fenómenos magnéticos: los medios de almacenamiento magneto-ópticos para grabar y leer información digital.

Empleando un rayo láser que calienta la superficie de un material metálico al tiempo que se le aplica un campo magnético, se puede almacenar información digital, con la ventaja de que la densidad de almacenamiento es extraordinariamente elevada; por ejemplo, en un disco de 3,5 pulgadas, se pueden grabar desde 100 hasta varios cientos de megabytes.

Muchas compañías están compitiendo para conseguir que su formato de discos magneto-ópticos sea el reemplazo de los tradicionales disquetes de 1,44MB; el más usual, aunque ya en vías de la obsolescencia técnica. Ejemplos de discos magneto-ópticos son el MiniDisc de Sony, las unidades IOmega, etc.

El DVD

El próximo paso en la evolución de los medios de almacenamiento ópticos es, sin duda alguna, el DVD, siglas de Disco Versátil Digital. Este disco se fabrica con la misma tecnología de un CD de audio normal, pero llevado un paso adelante: gracias a la utilización de nuevas tecnologías de fabricación de diodos láser y al empleo de frecuencias de opera-

En un proceso de conversión A/D, los niveles de voltaje en la entrada son convertidos en combinaciones de 1's y 0's que representan fielmente a la señal original.



Fig. 4

ción más elevadas, es posible reducir aun más el tamaño de los *pits* y del espacio entre pistas de información; esto permite una mayor densidad de información y, por lo tanto, un incremento significativo en la cantidad de datos que se pueden grabar en un solo disco de 12 cm, de hecho, las dimensiones físicas externas de ambos formatos son las mismas.

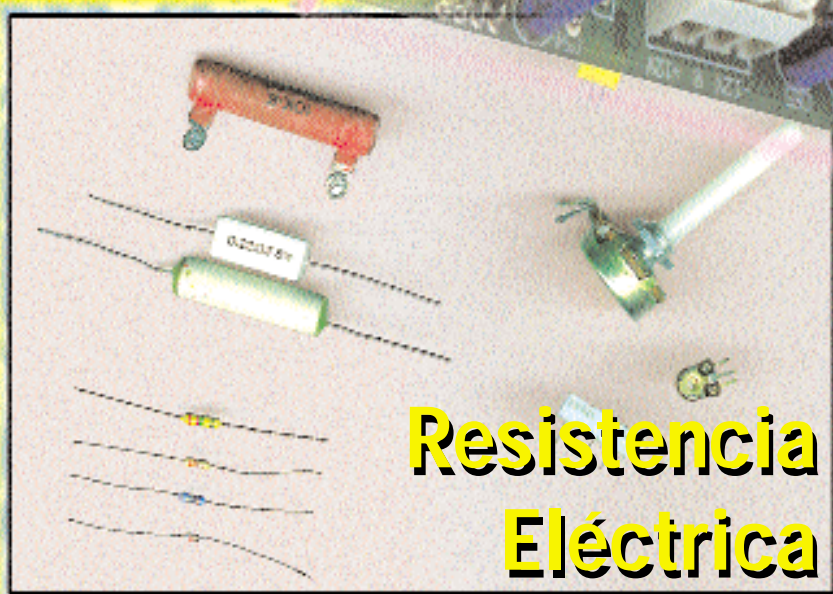
Un DVD puede contener hasta 4,7 gigabytes, y gracias al desarrollo de novedosos métodos de escritura por capas, esta capacidad puede aumentar hasta casi 18 gigabytes de información en un solo disco de 12 cm.

Esa enorme capacidad de almacenamiento podría parecer exagerada para el usuario de computadoras; sin embargo, resulta ideal para la distribución de películas digitalizadas, por lo que se calcula que en pocos años el DVD se convertirá en el medio de venta de películas más popular, por encima de las cintas VHS, ofreciendo además la ventaja de una calidad de imagen y sonido superiores a las de las cintas analógicas.

Sin duda, los medios ópticos constituyen una alternativa importante en el futuro inmediato, para el registro de cantidades extraordinarias de información. No obstante, los medios magnéticos también se encuentran en gran efervescencia; incluso, la vertiente donde se combinan las tecnologías óptica y magnética resulta cada vez más atractiva para los usuarios de computadoras. *****

El Mundo de la Electrónica

TV
AUDIO
VIDEO
COMPUTADORAS

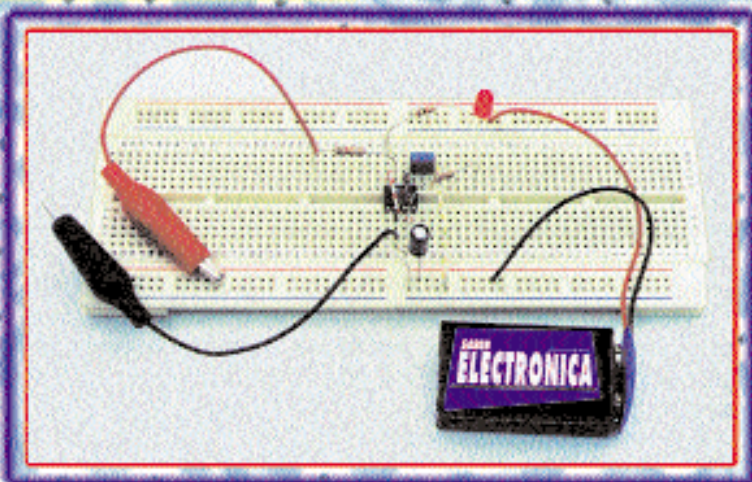
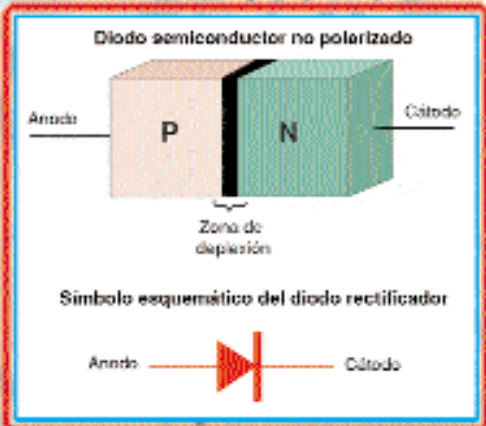


Resistencia Eléctrica

ES UNA EDICION ESPECIAL DE

SABER
ELECTRONICA
EDICION ARGENTINA

Diodos Semiconductores



MICROPROCESADORES

Enciclopedia Visual de la Electrónica

INDICE DEL CAPITULO 3

RESISTENCIA ELECTRICA

La resistencia eléctrica	35
Unidad de resistencia	35
La ley de Ohm	36
Resistividad	37
Circuito eléctrico	38
Otra vez la ley de Ohm	39
Cálculo de la corriente	40
Cálculo de la resistencia	40
Cálculo de la tensión	41
Los resistores en la práctica	41
La ley de Joule.....	42
Unidades de potencia, energía y calor.....	43
Calor específico de los materiales.....	44

DIODOS SEMICONDUCTORES

Introducción	44
Diodos semiconductores.....	45
Diodo rectificador	46
Diodo zéner	47
Diodo de corriente constante	47
Diodo de recuperación en escalón,	47
Diodo invertido	47
Diodo túnel.....	47
Diodo varicap.....	48
Diodo varistor	48
Diodo emisor de luz.....	48

Capítulo 3

Resistencia Eléctrica

LA RESISTENCIA ELÉCTRICA

La cantidad de agua que sale de un caño, como se muestra en la figura 1, depende de la altura del tanque (comparable a la "presión" o tensión) y del espesor del caño. La analogía eléctrica de este fenómeno se estudiará enseguida.

Pensando en la analogía con un depósito de agua, vemos que el flujo por el caño depende en gran parte del espesor del mismo. En un caño más grueso el agua encuentra menor "resistencia" y puede fluir con más facilidad. El resultado es un flujo mucho más intenso y por consiguiente una cantidad mayor de agua. con la electricidad ocurre lo mismo.

Si tenemos una fuente cualquiera de energía eléctrica capaz de proporcionar cargas en cantidades limitadas, que a la vez hace de tanque, la unión con un cable conductor entre los polos de la fuente hace que la corriente pueda fluir y eso nos lleva a un comportamiento semejante al del tanque de agua (figura 2).

La intensidad de la corriente que va a fluir, es decir, el número de "amperes" no depende sólo de la tensión de la fuente sino también de las características del conductor. Estudiamos que los materiales se comportan de modo diferente en relación a la transmisión de cargas. No existen conductores perfectos. Y además, el cable conductor puede ser fino o grueso, largo o corto.

Si el cable fuera fino y largo, de material mal conductor de la electricidad, el flujo será muy pequeño. La corriente encontrará una gran "resistencia" u "oposición" a su circulación. Si el cable fuera de un buen material conductor, corto y grueso, la oposición al pasaje de corriente será mínima y la corriente intensa (figura 3).

El efecto general de un cable de un cuerpo cualquiera que es recorrido por una corriente se denomi-

na **Resistencia Eléctrica**.

Podemos definir la resistencia eléctrica como:

"Una oposición al pasaje de la corriente."

La resistencia eléctrica de un conductor depende de diversos factores, como la naturaleza del material de que está hecho el conductor y del formato (longitud, espesor, etc.).

Unidad de resistencia

Si conectamos un conductor a un generador (pila) u otra fuente de energía que establezca una tensión de 1V y verificamos que es un recorrido por una corriente de 1A (1 amper) de intensidad, podemos decidir entonces que el conductor presenta una resistencia de 1 ohm (Ω).

El ohm, abreviado Ω , es la unidad de resistencia. La letra griega omega mayúscula se utiliza para la abreviatura (figura 4).

Podemos, como en el caso de la corriente y la tensión, usar múltiplos y submúltiplos del ohm para representar resistencias grandes y chicas. Es más común el uso de múltiplos.

Es así que si tuviéramos una resistencia de 2.200 ohms, podemos, en lugar de ese número, escribir 2k2 ó 2,2k, donde k significa "kilo" o 1.000 ohm. Vea que podemos usarlo al final del número o en lugar de la coma decimal.

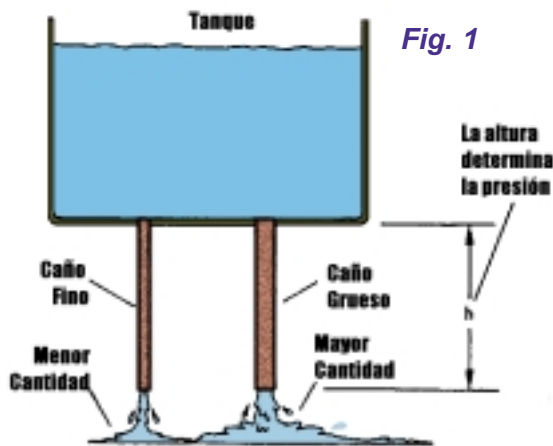


Fig. 1

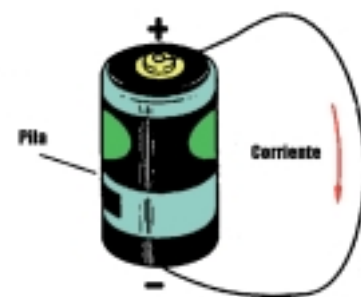
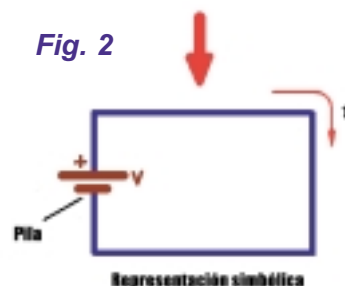


Fig. 2



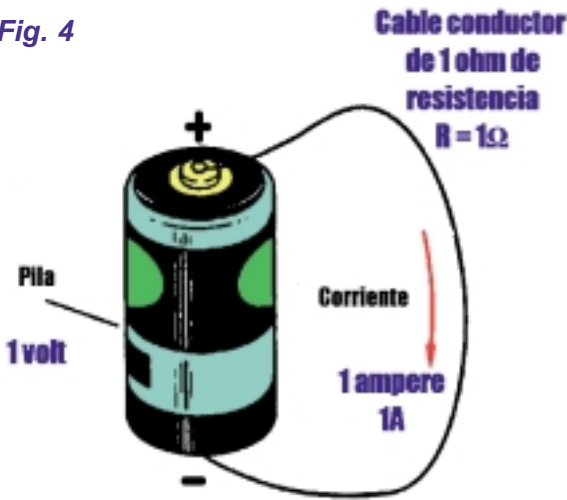
Del mismo modo, si tuviéramos una resistencia de 1.500.000 ohm podemos escribir 1M5 ó 1,5M Ω donde M significa "Mega" o millones de ohm.

Vea en este caso que también la



Fig. 3

Fig. 4



correspondientes para este conductor determinado y formar una tabla:

Tensi n Corriente

(V).....	(A)
0.....	0
1.....	0,2
2.....	0,4
3.....	0,6
4.....	0,8
5.....	1,0
6.....	1,2
7.....	1,4
8.....	1,6
9.....	1,8
10.....	2,0

sión (V) por la corriente (I). (En las fórmulas representamos las tensiones por E o V y las corrientes por I). Podemos establecer la importante fórmula que expresa la Ley de Ohm:

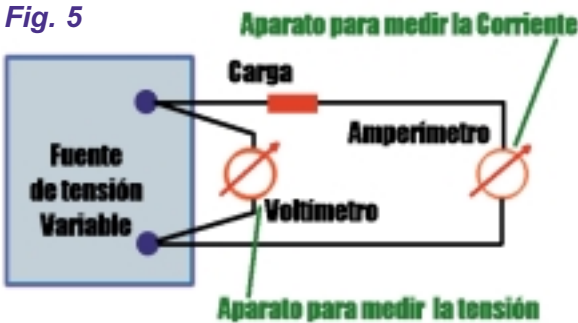
$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

Para calcular la resistencia de un conductor (o de otro elemento cualquiera) basta dividir la tensión entre sus extremos por la corriente que circula en el elemento. De la fórmula obtenemos otras dos:

$$V = R \times I \quad (2)$$

$$I = V/R(3)$$

Fig. 5



Analizando la tabla sacamos dos conclusiones importantes:

1) Dividiendo la tensión por cualquier valor de la corriente obtenemos siempre el mismo número:

$$1/0,2 = 5$$

$$5/1,0 = 5$$

$$8/1,6 = 5$$

La primera nos permite calcular la "ca da de tensi n en un cable" o cuántos volt cae la tensión a lo largo de un conductor en función de su resistencia.

La segunda nos da la corriente, cuando conocemos la tensión y la resistencia de un conductor.

2) Graficando los valores de las tensiones y corrientes de un conductor obtenemos la representación siguiente (figura 6).

Unidos los puntos obtenemos una recta inclinada. Esta recta es la "curva características de una resistencia".

Si se tienen dos conductores con otras resistencias, podemos hacer los gráficos y obtener "curvas" con inclinaciones diferentes (figura 7).

letra M puede usarse al final del número o en lugar de la coma decimal.

LA LEY DE OHM

Una de las leyes más importantes de la electricidad es la Ley de Ohm.

Para enunciarla, conectemos a la fuente de energía eléctrica que establezca tensiones diferentes, un cable conductor que presente cierta resistencia y midamos las corrientes correspondientes, comprobaremos que se dan determinadas situaciones que permitirán verificar esta importante ley (figura 5).

Lo que hacemos entonces es aplicar al conductor diferentes tensiones y anotar las corrientes correspondientes.

Si tenemos una tensión de 0V la corriente será nula.

Si tenemos una tensión de 1V, la corriente será de 0,2A.

Si tenemos una tensión de 2V, la corriente será de 0,4A.

Podemos ir anotando sucesivamente las tensiones y las corrientes

El "5", valor constante, es justamente la resistencia.

La resistencia depende, por lo tanto, de la tensión y de la corriente y puede calcularse dividiendo la ten-

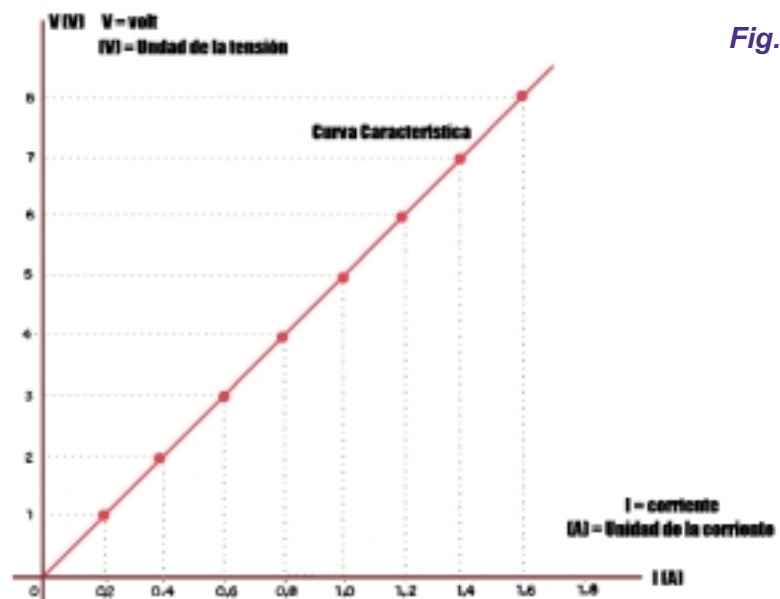


Fig. 6

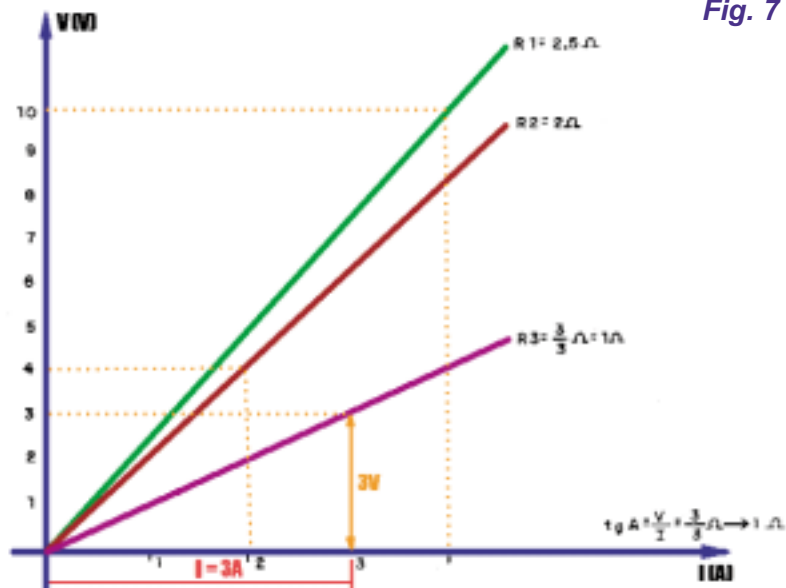


Fig. 7

mensiones del cuerpo final que formará, sea un cable, una barra, una esfera, etc.

La resistividad se representa con la letra griega ρ (ro) y al final de esta lección se dará una tabla comparativa de resistividades de los metales comunes. Vemos entonces que, respecto de las resistividades, al del aluminio es de:

$$0,028 \text{ ohm. mm}^2/\text{m}$$

y la del cobre es bastante menor:

$$0,017 \text{ ohm.mm}^2/\text{m}$$

¿Qué significan esos valores?

Significa que si hacemos un cable (alambre) de cobre de 1 m de longitud y 1 mm² de sección, tendrá una resistencia de 0,0175 ohm.

La sección recta es el área del corte transversal del alambre como muestra la figura 11.

La inclinación de la "curva" se mide por la tangente (tg) del ángulo.

Esa tangente es justamente el valor dado de la tensión por la corriente correspondiente, como muestra la figura 8. La tangente del ángulo A (tgA) corresponde entonces a la resistencia del conductor.

Es importante que recuerde que:

- El cociente de la tensión y la corriente en un conductor es su resistencia.

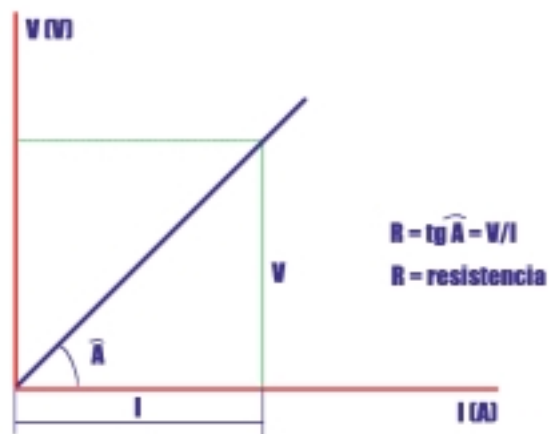
- En un conductor la corriente es directamente proporcional a la tensión.

- La "curva característica" de un conductor que presente una cierta resistencia, es una recta.

jando de lado la longitud y el espesor, podemos analizar los diversos materiales en función de una magnitud que caracteriza a los conductores de la electricidad.

Es así que decimos que el cobre es mejor conductor que el aluminio, en el sentido de que si preparáramos un cable de cobre y otro de aluminio, de la misma longitud y espesor, el cable de cobre presentará menor resistencia (figura 10).

Existe entonces una magnitud, la "resistividad" que caracteriza el material de que está hecho el conductor eléctrico y que no depende de las di-



Relaciones trigonométricas



Fig. 8

Vea que todos los conductores presentan curvas como las indicadas. Los componentes o elemento que presentan este tipo de comportamiento se denominan "dipolos lineales" y podemos citar a los resistores y a los conductores como ejemplos. Existen también dipolos no lineales cuyas "curvas" pueden presentar configuraciones diferentes como se ve en la figura 9.

RESISTIVIDAD

Como vimos la resistencia de un conductor depende de tres factores: longitud, espesor y tipo de material. De-

Curvas de Dipolos no Lineales

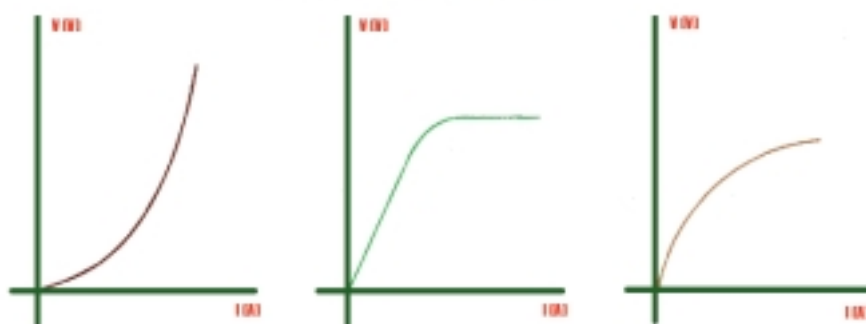


Fig. 9

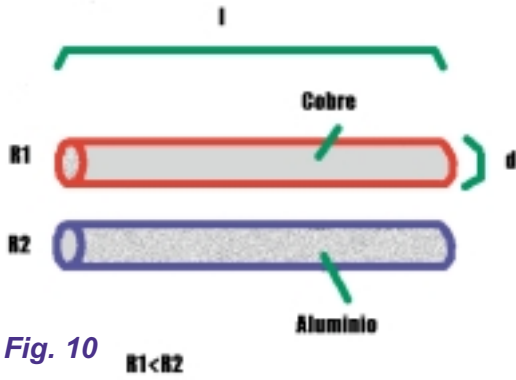


Fig. 10 $R1 < R2$

Vea que tenemos alambres con corte circular y también con corte cuadrado. Si sus superficies fueran iguales, en el cálculo son equivalentes.

La fórmula que permite calcular la resistencia de un cable de metal cualquiera, conociendo su resistividad, es:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (4)$$

Donde:

- ρ es la resistividad en ohms. mm²/m
- l es la longitud del cable en metros
- S es la superficie de la sección transversal en mm²

Si el cable fuera de sección circular, la superficie puede calcularse en función del diámetro mediante la fórmula siguiente:

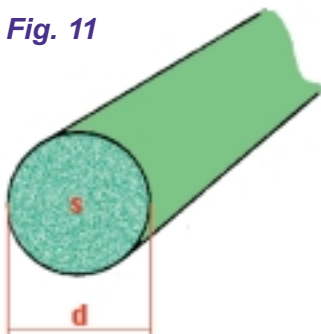
$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

Donde:

- D es el diámetro del cable en mm.

La resistividad es una magnitud inherente al material, que lo caracteriza

Fig. 11



$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

S = area
d = diámetro

como buen o mal conductor de la electricidad.

¿Qué es lo que realmente causa la resistencia de un material, un metal, por ejemplo?

—La oposición al pasaje de la corriente eléctrica por el material, o sea que la resistencia depende de la cantidad de electrones libres que el material posee, además de la existencia de fuerzas que pueden alterar su movimiento.

En un metal, por ejemplo, la cantidad de electrones libres depende, en parte, de su temperatura, pero la misma temperatura hace que la agitación de las partículas aumente, esto dificulta el movimiento de las cargas. Entonces, tenemos para los metales una característica importante: como la agitación de las partículas (átomos) predomina en relación a la liberación de las cargas, la resistividad aumenta con la temperatura.

Para los metales puros, el coeficiente de temperatura, o sea la manera en que aumenta la resistividad, está cerca del coeficiente de expansión térmica de los gases que es $1/273 = 0,00367$.

¿Qué significa decir que la corriente es directamente proporcional a la tensión, en el caso de la Ley de Ohm?

— Tiene mucha importancia entender ese significado pues aparece en muchas leyes físicas relativas a la electricidad. Decir que una corriente es directamente proporcional a la tensión significa que a cualquier aumento o disminución de la tensión (causa) corresponde en relación directa un aumento o disminución de corriente. En el caso de aumentar la tensión el 20%, la corriente aumentará en la misma proporción. En la relación de proporción directa, las magnitudes que intervienen aparecen

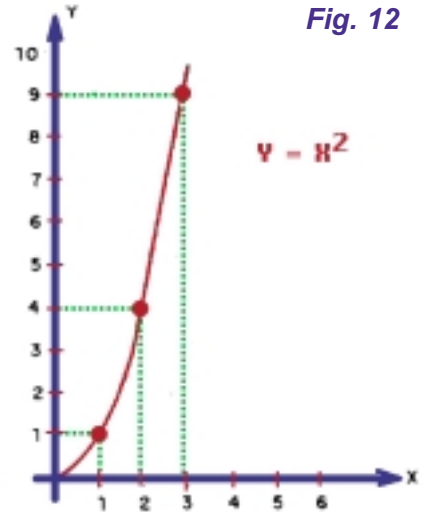


Fig. 12

siempre con el exponente "1".

En este caso, la tensión y la corriente en la Ley de Ohm no están elevadas al cuadrado ni a otro exponente como sucede en otros tipos de relación.

En la relación $X = Y^2$, por ejemplo, existe una relación de proporción directa al cuadrado. Puede decirse en este caso que **"X es directamente proporcional al cuadrado de Y"**.

Vea que todos los valores están en el numerador.

En la relación $X = 1/Y^2$ puede decirse que X es inversamente proporcional al cuadrado de Y, pues Y está al cuadrado y en el denominador.

En la figura 12 se muestran curvas que representan relaciones directamente proporcionales al cuadrado e inversamente proporcionales al cuadrado. Ahora bien, ¿siempre que haya una tensión y un cable va a circular corriente?

La respuesta es NO. Para que circule corriente y se verifique la Ley de Ohm, debe existir un circuito cerrado; por ello, veamos que nos dice la Ley de Ohm desde otro enfoque.

CIRCUITO ELÉCTRICO

La aplicación de cargas eléctricas con signo contrario a los extremos de un conductor no es suficiente para lograr una corriente eléctrica constante, pues solo se lograría la circulación, por un momento, de flujo de corriente eléctrica, hasta que las cargas de los extremos se hayan neutralizado, tal como se muestra en la figura 13.

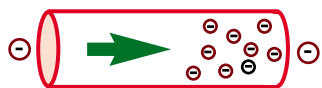


Fig. 13

AL APLICAR CARGAS ELÉCTRICAS A UN CONDUCTOR, SE PRODUCE UNA CORRIENTE ELÉCTRICA QUE DESAPARECE CUANDO SE NEUTRALIZAN DICHAS CARGAS

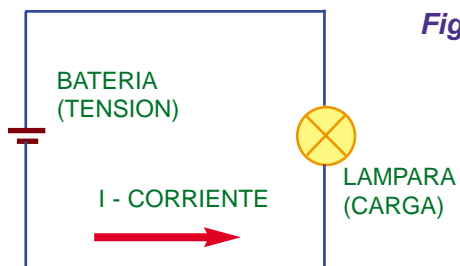
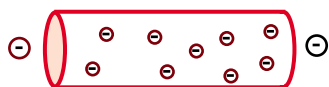


Fig. 14

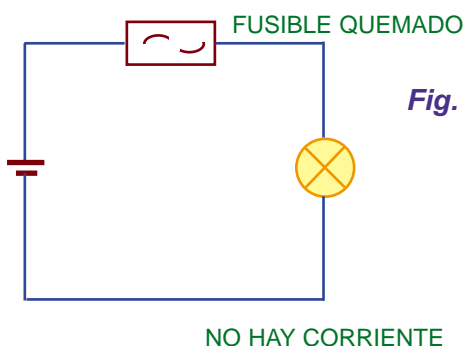


Fig. 15

Para que en un conductor haya corriente eléctrica, los electrones libres deberán moverse constantemente en una misma dirección, lo que se consigue por medio de una fuente de energía para aplicar las cargas de signo contrario a los extremos del conductor; las cargas negativas serán atraídas por las cargas positivas del otro extremo. Por cada electrón que dé la fuente al conductor por el lado negativo, existirá otro en el lado positivo; entonces la corriente fluirá de manera constante mientras se mantengan aplicadas al conductor las cargas eléctricas de la fuente de energía, por tanto, se llama circuito cerrado o completo (figura 14).

Un claro ejemplo de fuentes de energía eléctrica son las baterías y las pilas. Para que haya flujo constante de corriente, el circuito deberá estar cerrado o completo. Ahora, si

corriente continua, la resistencia es lo único que se opone al paso de la corriente y determina su valor. Si el valor de la resistencia fuera muy pequeño, la corriente a través del circuito sería demasiado grande. Por lo tanto, el cortocircuito es la condición de resistencia muy baja entre los terminales de una fuente de tensión. Se dice que un circuito está en corto cuando la resistencia es tan baja que el exceso de corriente puede perjudicar los componentes del circuito; los fusibles y los tipos de interruptores automáticos protegen los circuitos contra el peligro de los cortocircuitos.

OTRA VEZ LA LEY DE OHM

Sabiendo que la corriente que fluye por un circuito cerrado depende de la tensión aplicada y de la resis-

tencia de la carga, podemos hacer las siguientes observaciones: Recordemos que una fuente de tensión origina una corriente eléctrica en un circuito cerrado, y que la resistencia del circuito se opone a ella; por lo tanto, hay una estrecha relación entre la tensión, la corriente y la resistencia, lo que fue descubierto por el físico alemán OHM, quien después de varios experimentos hizo estas comprobaciones:

Recordemos que una fuente de tensión origina una corriente eléctrica en un circuito cerrado, y que la resistencia del circuito se opone a ella; por lo tanto, hay una estrecha relación entre la tensión, la corriente y la resistencia, lo que fue descubierto por el físico alemán OHM, quien después de varios experimentos hizo estas comprobaciones:

- a) Si la resistencia del circuito se mantiene constante y se aumenta la tensión, la corriente aumenta.
 - b) Si en el mismo circuito se disminuye la tensión, la corriente disminuye proporcionalmente.
- Ohm, de lo anterior, dedujo que: **"la corriente, en cualquier circuito, es directamente proporcional a la tensión aplicada"**.

Y además:

- c) Si la tensión de la fuente se mantiene constante y se cambia la resistencia del circuito por otra mayor, la corriente disminuye.
- d) Si en el mismo circuito la resistencia disminuye, el valor de la corriente aumenta.

OHM dedujo: "la corriente es inversamente proporcional a la resistencia del circuito".

La relación entre corriente, tensión y resistencia constituye la ley fundamental de la electricidad y se conoce como **"LEY DE OHM"**, que se resume así:

"en todo circuito elctrico, la corriente es directamente proporcional a la tensión aplicada e inversamente proporcional a la resistencia del circuito".

Matemáticamente se expresa así:

$$I = \frac{V}{R}$$

que nos muestra que la corriente en un circuito es igual al valor de la tensión dividido por el valor de la resistencia. Hay también otras dos fórm-

Fig. 16 R

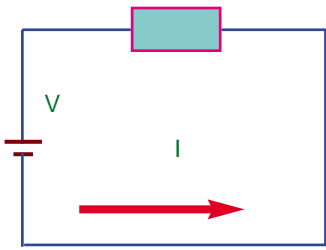
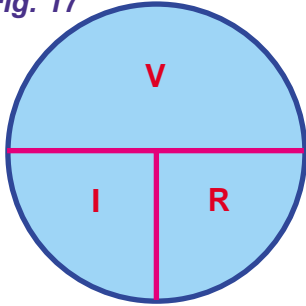


Fig. 17



mulas útiles de la ley de Ohm y son:

$$R = \frac{V}{I}$$

que nos muestra que la corriente es igual a la tensión dividida por la corriente y

$$V = I \cdot R$$

que nos muestra que la tensión es igual a la corriente multiplicada por la resistencia (figura 16).

Recordemos siempre las 3 fórmulas de la Ley de Ohm, ya que son muy importantes, y las usaremos frecuentemente. Al comienzo es imprescindible tener el gráfico de la figura 17 a la vista, pues ahí tenemos las formas de la ley de Ohm. Si necesitamos calcular I , la tapamos y nos queda V/R , si queremos calcular R , tapamos y nos queda V/I ; y si necesitamos calcular V , tapamos y nos queda $I \cdot R$.

CÁLCULO DE LA CORRIENTE

Si necesitamos calcular cualquiera de los 3 factores intervinientes en un circuito eléctrico, es mejor estar seguros, en primer término, de cuál es el factor que se desconoce, —la incógnita— y después elegir la ecuación apropiada para resolver el problema, tal como se muestra en la figura 18. Se debe encontrar el valor

de la corriente que circulará en el circuito de la figura, formado por: una fuente de energía de 200V, una resistencia de 40Ω y un fusible que soporta 6A máximo.

¿Se excederá la capacidad del fusible al cerrar el interruptor?

El primer paso será el de determinar el valor de la corriente que circulará por el circuito cuando se cierre el interruptor.

Usaremos la ecuación:

$$I = \frac{V}{R}$$

entonces:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{200V}{40\Omega} = 5A$$

Teniendo como resultado que si la corriente es solamente de 5A, la capacidad del fusible no será sobrepasada y éste no se quemará; pero, pensemos qué pasará si se usa una resistencia de 10Ω en el circuito.

Hagamos el mismo cálculo usando la misma ecuación:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{200V}{10\Omega} = 20A$$

La corriente de 20 ampere resultante excederá la capacidad del fusible, que es solamente de 6 ampere, y éste se fundirá al cerrar el interruptor (figura 19).

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA

Si queremos calcular el valor de la resistencia necesaria para producir una cierta cantidad de corriente en un circuito con una tensión dada, usaremos la segunda ecuación de la ley de Ohm:

$$R = \frac{V}{I}$$

En el circuito de la figura 20 fluye una corriente de 5 ampere cuando

Fig. 18 FUSIBLE DE 6A

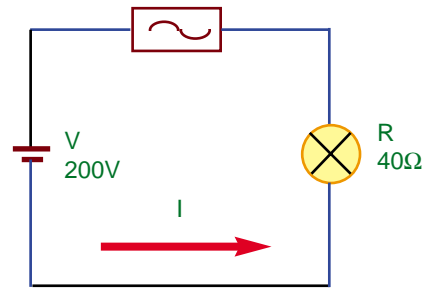
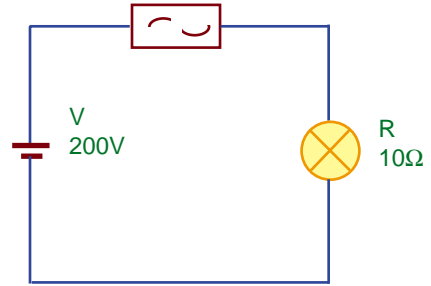


Fig. 19

FUSIBLE QUEMADO



NO HAY CORRIENTE

Fig. 20

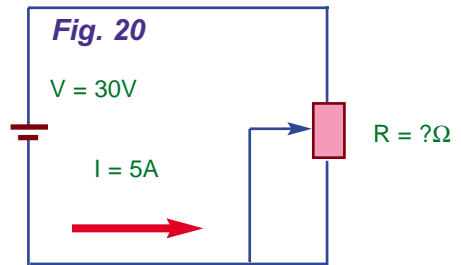
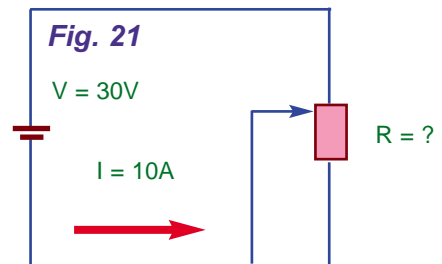


Fig. 21



el reostato se ajusta a la mitad de su valor.

¿Cuál será el valor de la resistencia del circuito si la batería es de 30 volt?

$$R = \frac{V}{I} = \frac{30V}{5A} = 6\Omega$$

La figura 21 nos muestra que la corriente por el circuito es de 10A; *¿cuál será en este caso el valor de la resistencia?*

Usamos otra vez la misma ecuación para resolver el problema.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{30V}{10A} = 3\Omega$$

Entonces queda expuesto que, para duplicar el valor de la corriente, debe disminuirse la resistencia a la mitad.

CÁLCULO DE LA TENSIÓN:

La tensión de un circuito puede calcularse por la tercera fórmula de la ley de Ohm: $V=IR$

El foquito del circuito señalado en el diagrama de la figura 22 tiene una resistencia de 200Ω y al cerrar el interruptor circula por él una corriente de 1 ampere;

¿Cuál será la tensión de la batería?

Aquí la incógnita es la tensión; luego, la ecuación a usar será:

$$V = IR$$

$$V = I.R = 1A \times 200\Omega = 200V$$

Después de estar encendido durante algunas horas, por el circuito del foco solamente circulan 0,5 ampere. La batería se agotó, *¿cuál será la tensión que ahora entrega el circuito?* (figura 23).

$$V = I.R = 0,5A \cdot 200\Omega = 100V$$

La corriente disminuyó a la mitad porque la tensión se redujo a la mitad de su valor.

LOS RESISTORES EN LA PRÁCTICA

En las aplicaciones prácticas puede resultar necesario ofrecer una cierta oposición al pasaje de la corriente. Eso puede hacerse con finalidades diversas, como por ejemplo: reducir la intensidad de una corriente muy intensa para un fin determinado, transformar la energía eléctrica en calor y también reducir la tensión que se aplique a un elemento de un aparato. En electrónica encontramos, entonces, el uso de dispositivos cuya finalidad es justamente ofrecer una oposición al pasaje de una corriente, o sea que presentan "resistencia eléctrica". Estos dispositivos se denominan "resistores".

Los resistores son, de todos los componentes electrónicos, los más comunes y aparecen en gran cantidad en los aparatos. El funcionamiento de los resistores es uno de los temas de esta lección.

El otro tema se refiere a lo que sucede con la energía eléctrica en los resistores. El efecto térmico que estudiamos anteriormente es el más importante manifestado por los resistores y su tratamiento es fundamental en los proyectos de aparatos. La importante ley que rige la transformación de energía eléctrica en calor, en los resistores, es la Ley de Joule, que también se trata en este capítulo.

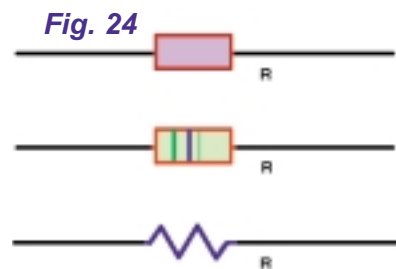
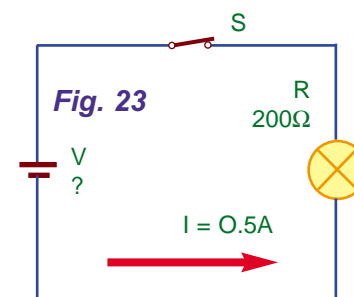
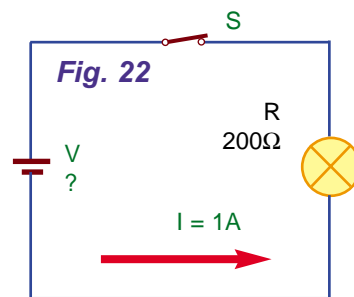
Los resistores son bipolos que siguen la Ley de Ohm, o sea, dispositivos en los que dentro de una banda determinada de tensiones, la corriente es directamente proporcional, lo que significa una resistencia constante.

En la figura 24 mostramos los tres símbolos más comunes que se usan en la representación de resistores.

En los diagramas en que se representan muchos resistores, éstos se identifican con la letra "R" seguida del número de orden 1, 2, 3, etc. que indica la posición del componente en el circuito. Junto con la identificación del resistor puede citarse su valor en las unidades que ya conocemos, como el ohm y sus múltiplos (kilohm y megahom).

En la figura 25 se ven algunos tipos de resistores (cuya construcción se tratará en la próxima lección).

En verdad, los conductores pueden considerarse como resistores de valores muy bajos, ya que no existen conductores perfectos. Solamente cuando necesitamos resistencia por encima de un cierto valor es que hacemos uso de componentes específicos. Una resistencia de fracción de



ohm puede obtenerse cortando un trozo de conductor de largo y espesor determinados. Para una resistencia mayor, digamos 1.000Ω o 100.000Ω , necesitamos ya un componente específico pues el cable empleado para eso tendría una longitud prácticamente imposible. Es así que el material usado en la construcción de los resistores depende fundamentalmente de la resistencia que deseamos que presente.

La Ley de Joule

La energía eléctrica puede convertirse en energía térmica, o sea en

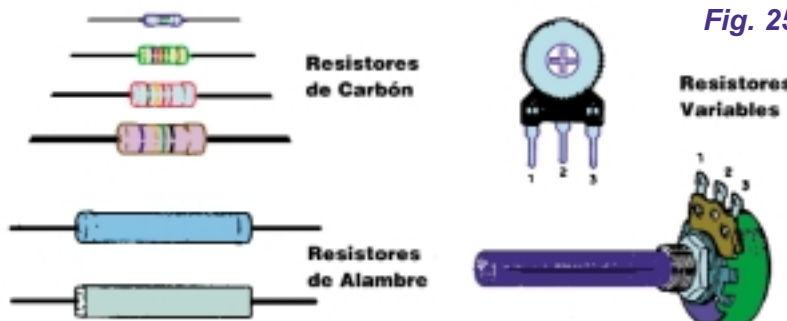


Fig. 26 Portadores de carga

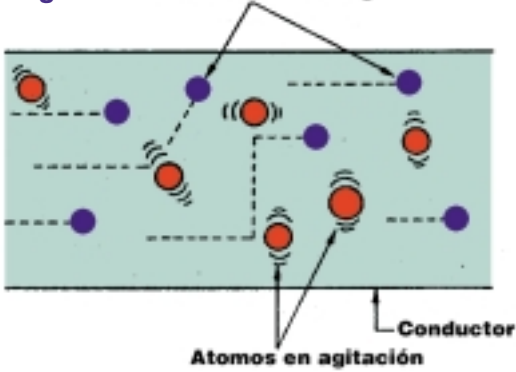
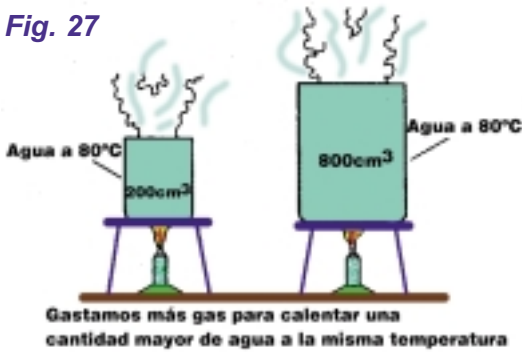


Fig. 27



calor es una forma de energía mientras que la temperatura indica el estado de agitación de las partículas de un cuerpo.

Cuando calentamos un cuerpo, aumenta la agitación de sus partículas y eso significa que la temperatura sube. Pero si tenemos dos porciones diferentes de agua, vemos que una necesita más tiempo que la otra para calentarse a la misma temperatura. Esto significa que la cantidad de energía térmica que debemos entregar a una es mucho mayor que la otra, o sea que precisa mayor cantidad de calor (figura 27).

Es así que después de calentadas, las dos cantidades de agua, aun con la misma temperatura, representan distin-

lante. Llamando P a la potencia, I a la intensidad de la corriente y V a la tensión entre sus extremos, podemos escribir la expresión matemática de la Ley de Joule:

$$P = V \times I$$

Eso quiere decir que, para calcular la potencia que se convierte en calor en un resistor, debemos multiplicar la corriente por la tensión en el resistor y el resultado se obtendrá en watt (si la corriente estuviera dada en amperes y la tensión en volt, ¡claro!).

Ejemplo: en un resistor conectado a una fuente de energía de 10V, circula una corriente de 2A.

¿Cuál es la potencia convertida en calor?

$$I = 2A$$

$$V = 10V$$

Por lo tanto:

$$P = I \times V$$

$$P = 2 \times 10$$

$$P = 20 \text{ watt}$$

El resistor convierte en calor una potencia de 20 watt.

Ahora, como la circulación de la corriente en un resistor está regida por **la Ley de Ohm**, podemos calcular también la potencia en función de la resistencia. Partiendo de la relación $R = V/I$ podemos llegar a dos nuevas expresiones de la **Ley de Joule**.

$$P = V^2 / R$$

$$P = R \times I^2$$

La primera se usará cuando queramos calcular la potencia en función de la tensión y la resistencia, en cambio, la segunda, cuando queramos calcular la potencia a partir de la resistencia y la corriente.

calor. El efecto térmico de la corriente eléctrica, que fue tema de lecciones anteriores, mostró al lector que su utilidad práctica es muy grande, por la cantidad de aparatos que podemos construir.

Pero, *¿cuál es el origen del efecto térmico?*

Cuando una corriente eléctrica encuentra oposición a su pasaje, el "esfuerzo" que tiene que efectuar para poder pasar se convierte en calor.

Los portadores de carga que forman la corriente eléctrica "chocan" con los átomos del material conductor y aumentan su agitación y, por consiguiente, su temperatura (figura 26). Podemos sacar en conclusión que en todo medio que presenta una cierta resistencia al pasaje de una corriente, siempre hay producción de calor. En un resistor, todo esfuerzo que se gasta para que pase la corriente se transforma en calor.

Recuerde

—En los resistores, la energía eléctrica se convierte en calor (energía térmica).

Por supuesto que el lector no debe confundir calor con temperatura. El

tas cantidades de calor.

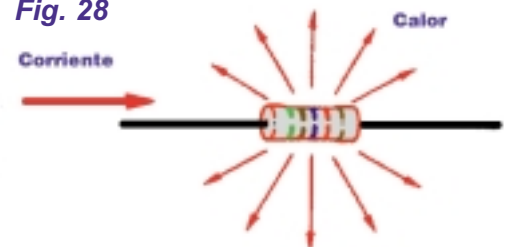
La cantidad de calor que puede proporcionar una corriente cuando circula por un resistor, obedece a la **Ley de Joule** que se explica a continuación. La cantidad de energía que se convierte en calor en cada segundo en un resistor, se mide en watt (W). El watt puede usarse también para medir otros tipos de potencia (potencia es la cantidad de energía por segundo).

Podemos usar el watt para medir la potencia de un motor (potencia mecánica), **la potencia de un amplificador** (potencia sonora) o la potencia de una lámpara eléctrica (potencia luminosa) y muchas otras.

En nuestro caso trataremos ahora exclusivamente la potencia térmica, o sea la cantidad de energía que los resistores convierten en calor.

Es importante observar que en los resistores toda la energía que reciben se convierte en calor (figura 28). La potencia que se convierte en calor en un resistor depende tanto de la tensión en sus extremos, como de la corriente circu-

Fig. 28



Toda energía se convierte en calor

Fig. 29

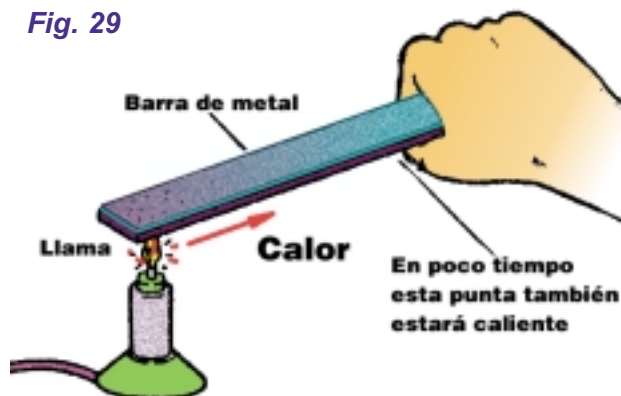


Fig. 31

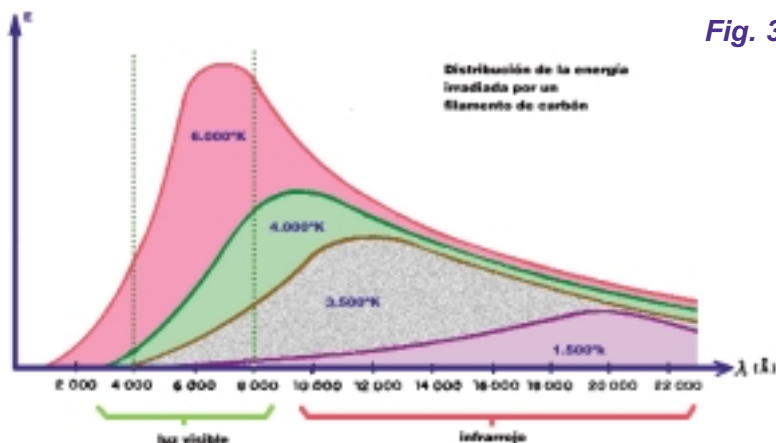
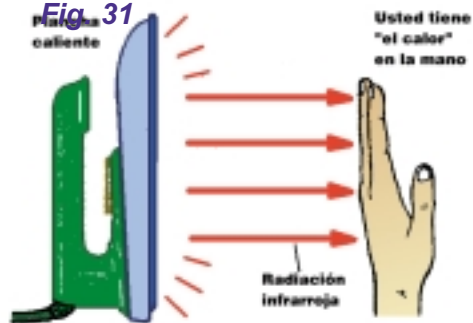


Fig. 30

vección, que ocurre porque el agua y el aire calentados son más livianos que el agua o el aire fríos.

Los globos llenos de aire caliente ascienden por esta razón. Cuando el aire toca un cuerpo caliente, se calienta, se hace más liviano y ascendiendo forma corrientes de convección que pueden "llevar" el calor lejos.

UN POCO DE TERMODINAMICA

El calor generado en los circuitos electrónico, en vista de la **Ley de Joule**, no puede quedar en los circuitos. Es importante saber cómo puede "disiparse" el calor o sea cómo puede transferirse al medio ambiente para asegurar la estabilidad térmica del conjunto, para evitar que la temperatura se eleve por encima de los límites que pueden soportar las piezas. Las maneras por las que se propaga el calor deben formar parte, entonces, de nuestro curso, por la importancia que tienen en este caso. Hay tres formas de propagación del calor:

1. Conducción: esta forma se parece mucho a la electricidad. Del mismo modo que los portadores pueden "saltar" de átomo en átomo, el calor producido por la agitación de las partículas puede transmitirse de átomo a átomo de un cuerpo (figura 29).

Como ocurre con la electricidad, también hay buenos y malos conductores de calor.

Los metales son buenos conductores de calor. Si se toma un cuchillo

por el mango y se calienta la punta al fuego, en poco tiempo, por conducción, el mango también estará caliente.

2. Radiación: todos los cuerpos que estén por encima del cero absoluto (-273°C) tienen sus partículas en estado de vibración continua. Esa vibración hace que los electrones salten a niveles diferentes de energía y en esos saltos, emiten radiación electromagnética (figura 30).

Si la temperatura del cuerpo fuera inferior a 1.500°K, la mayoría de los saltos de los electrones se producen entre niveles tales que la emisión de radiación se efectúa en el espectro infrarrojo (entre 8.000Å y 40.000Å)

No podemos ver esta radiación, pero la sentimos cuando acercamos la mano a una plancha caliente (figura 31). El hecho es que esta radiación significa que el "calor" está siendo irradiado al espacio en forma de ondas que se propagan **¡a 300.000 kilómetros por segundo!**

Los cuerpos pintados de negro irradian mejor el calor que los claros.

3. Convección: finalmente tenemos la irradiación de calor por con-

UNIDADES DE POTENCIA, ENERGÍA Y CALOR

No debemos confundir de manera alguna, las tres magnitudes que hemos citado en esta lección: **potencia, energía y calor**.

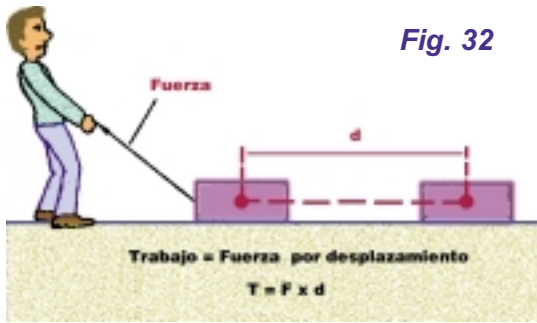
La potencia es el centro de nuestra atención pero debemos empezar por la energía.

Decimos que un resorte contiene energía porque puede realizar un trabajo, o sea, puede mover alguna cosa, puede accionar algo, o ejercer una fuerza durante un cierto tiempo (figura 32).

Un cuerpo cargado, que pueda producir una corriente eléctrica, también posee energía que puede usarse para establecer una corriente en un conductor o en un resistor.

En los dos casos, la energía disponible se mide en **joule (J)**.

El efecto que pueda tener la energía, depende de la cantidad que se gaste en un segundo. Un resistor puede "gastar" energía más o menos rápidamente, precisará más o menos energía en cada segundo. Esa **"velocidad"** con que la energía se gasta, es la potencia. Un motor de mayor potencia "consume" más combustible (o más rápidamente) que un motor de menor potencia. Esa potencia se mide en **watt (W)**.



Por otra parte, para indicar la energía que se gasta en el calentamiento de los cuerpos, existe una unidad propia que es la caloría (cal), (figura 33).

Q es la cantidad de calor en calorías
m es la masa del cuerpo en gramos
 Δt es la variación de temperatura que ocurre

1 caloría = 4,18 joule, o:
 1 joule = 0,24 cal

El calor que puede transferirse de un cuerpo a otro por conducción, radiación o convección.



Hay una fórmula que permite establecer el calentamiento de un cuerpo (si no hay cambio de estado, esto es, fusión o ebullición) en función de su capacidad térmica:

CALOR ESPECÍFICO DE LOS MATERIALES

La tabla 4 da el calor específico de diversas sustancias, medido a 20°C. Por lo tanto, se trata de la cantidad de calorías que se necesitan para elevar en un grado centígrado la temperatura de 1 gramo de la sustancia que se encontraba a 20°C.

Por último, en la tabla 5 se da la conductividad térmica de algunos materiales.

$$Q = c \times m \times \Delta t$$

Donde:
c es el calor específico del cuerpo

1 watt = 1 joule por segundo

Tabla 5

Sustancia	Conductividad térmica (kcal/m . h . °C)
Aluminio	180
Hierro	54
Cobre	335
Oro	269
Mercurio	25
Plata	360
Acero	39
Amianto	0,135
Concreto	0,1 a 0,3
Baquelita	0,25
Vidrio	0,64
Granito	1,89
Hielo	1,9
Papel	0,12

Tabla 4

Sustancia	Calor específico (X cal/g.°C)	Punto de fusión (°C)
Acetona	0,52	-94,3
Aluminio	0,21	658,7
Benceno	0,407	5,5
Bronce	0,0917	900
Cobre	0,094	1.083
Alcohol etílico	0,58	-114
Glicerina	0,58	-20
Oro	0,032	1.063
Agua	1	0
Hierro	0,119	1.530
Plomo	0,03	327
Mercurio	0,033	-38,9
Níquel	0,11	1.452
Plata	0,056	960

Diodos Semiconductores

INTRODUCCIÓN

Un semiconductor es un material (generalmente silicio o germanio) cuyas características de conducción eléctrica han sido modificadas. Para esto, como sabemos, ha sido combinado, sin formar un compuesto químico, con otros elementos.

A este proceso de combinación se le llama *dopado*. Por medio de éste, se consiguen básicamente dos tipos de materiales: tipo N, en los que se

registra un exceso relativo de electrones dentro del material, y tipo P, en los que se presenta un déficit de electrones (figura 1). Los dispositivos electrónicos se forman con diferen-

tes combinaciones de materiales tipo P y N, y las características eléctricas de cada uno de ellos están determinadas por la intensidad del dopado de las secciones de los semi-

Cuando a un material semiconductor se introducen impurezas (por ejemplo aluminio), sus características eléctricas son modificadas y entonces se genera un déficit relativo en su estructura.



Cuando se introducen impurezas de Níquel en un cristal semiconductor, se aumenta el número de electrones relativo



Fig. 1

Diodo semiconductor no polarizado

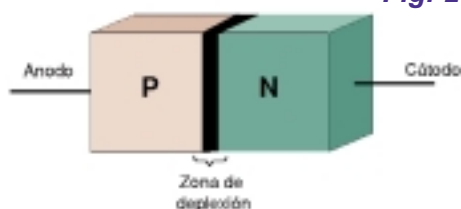


Fig. 2

Símbolo esquemático del diodo rectificador



Desplazamiento de los electrones en un diodo en polarización directa

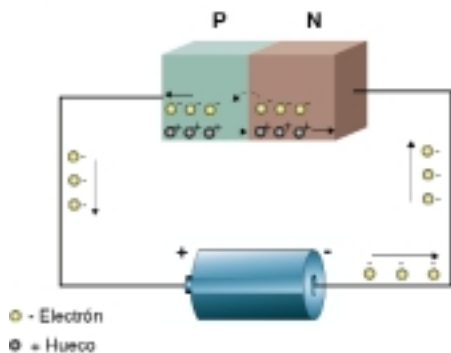


Fig. 3

conductores, así como por el tamaño y organización física de los materiales. Gracias a esto es posible fabricar, por ejemplo, un transistor para corrientes pequeñas y otro para corrientes elevadas, aunque la forma básica de los dos sea la misma.

Diodos semiconductores

Los diodos realizan una gran variedad de funciones; entre ellas, la rectificación de señales de corriente alterna en fuentes de poder y en radios de AM, reguladores de voltaje, formadores de onda, duplicadores de voltaje, selectores de frecuencia, detectores de FM, disparadores, indicadores luminosos, detectores de haz, generadores láser, etc. Las aplicaciones de los diodos son muchas y muy variadas; de ahí la importancia de conocerlos más a fondo.

Los diodos semiconductores son dispositivos conformados por dos secciones de material semiconductor, una tipo P y la otra tipo N. Su nombre proviene de la contracción de las palabras **dos electrones**, en inglés. En la actualidad, la palabra **diodo** se utiliza de manera más

amplia para definir a muchos dispositivos semiconductores que únicamente tienen dos terminales de conexión; esto, a pesar de que su formación interna sea de más de dos secciones de material semiconductor. A la sección P de un diodo se le conoce con el nombre de **anodo**, y a la sección N con el de **cátodo**.

En un diodo, su sección N tiene impurezas que le permiten tener un exceso de electrones libres en su estructura; así, dicha sección se hace de cierta forma negativa. Y como en su sección P las impurezas provocan un déficit de electrones libres, la misma se torna positiva. Cuando no hay una tensión aplicada en las secciones del diodo, se desarrolla un fenómeno interesante en la unión P-N: los electrones libres de la sección N se recombinan (se unen) con los huecos cercanos a la unión de la sección

P. A esta recombinación en la unión del diodo, se le denomina **dipolo**. La formación de dipolos en la zona de unión, hace que en esa parte se registre un déficit de portadores; por eso se le llama **zona de deplexión** (figura 2).

Cada dipolo tiene un campo eléctrico entre los iones positivo y negativo. Los electrones son repelidos por este campo, cuando tratan de cruzar la zona de deplexión para recombinarse con huecos más alejados del otro lado. Con cada recombinación aumenta el campo eléctrico, hasta que se logra el equilibrio; es decir, se detiene el paso de electrones del semiconductor tipo N hacia el tipo P. El campo eléctrico formado por los iones, se denomina **barrera de potencial**; para los diodos de germanio, es de 0,2 volt; para los diodos de silicio, es de 0,7 volt.

Si se conecta una fuente de potencial eléctrico (por ejemplo, una pila o batería) a las terminales del diodo, de forma que el polo positivo de la fuente coincida con la sección P del diodo y el polo negativo con la sección N, se dice que el diodo está en polarización directa. Pe-

ro cuando el polo positivo se conecta a la sección N del diodo y el polo negativo a la sección P, entonces el diodo está polarizado de manera inversa.

Cuando el diodo se encuentra en polarización directa, los electrones libres de la sección N y los huecos de la sección P son repelidos hacia la unión P-N debido al voltaje aplicado por la fuente externa. Si el voltaje de polarización es más grande que el valor de la barrera de potencial, entonces un electrón de la sección N cruzará a través de la unión para recombinarse con un hueco en la sección P. El desplazamiento de los electrones hacia la unión, genera iones positivos dentro de la sección N, los cuales atraen a los electrones del conductor externo hacia el interior del cristal. Una vez dentro, los electrones pueden desplazarse también hacia la unión para recombinarse con los huecos de la sección P, mismos que se convierten en electrones de valencia y son atraídos por el polo positivo del conductor externo; entonces salen del cristal (semiconductor P), y de ahí se dirigen hacia la batería (figura 3).

El hecho de que un electrón de valencia en la sección P se mueva hacia el extremo izquierdo, es equivalente a que un hueco se desplace hacia la unión. Este proceso de flujo de corriente en el diodo se mantiene, en tanto exista la polarización directa con el valor de voltaje mayor a la barrera de potencial.

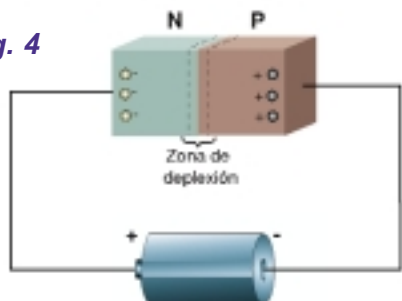
Si el diodo está polarizado de manera inversa, los huecos de la sección P son atraídos hacia el polo negativo de la batería y los electrones de la sección N son atraídos hacia el polo positivo. Puesto que huecos y electrones se alejan de la unión, la zona de deplexión crece de acuerdo con el valor del voltaje inverso aplicado a las terminales del diodo. Por tanto, la zona de deplexión deja de aumentar cuando tiene una diferencia de potencial igual al valor de la tensión inversa aplicada. Con la zona de deplexión aumentada, no circula entonces corriente eléctrica; la razón es que el dispositivo, en cierta forma, aumentó al máximo su resistencia eléctrica interna (figura 4).

Aunque de manera práctica con-

Resistencia Eléctrica

Cuando un diodo se polariza de manera inversa, no circula corriente eléctrica a través de él, y la barrera de potencial en la zona de deplexión se hace muy grande.

Fig. 4



Consideremos que no hay flujo de corriente eléctrica a través del diodo en polarización inversa, realmente sí se genera un pequeño flujo de corriente eléctrica inversa. El calor del ambiente, hace que de manera espontánea se generen pares **hueco-electrón** suficientes para mantener un diminuto flujo de corriente eléctrica. A la corriente eléctrica inversa también se le conoce como **corriente de portadores minoritarios**. Hay otra corriente que se genera de manera paralela a la corriente inversa, y es la eléctrica superficial de fugas; ésta es producida por impurezas en la superficie del cristal e imperfecciones en su estructura interna.

Los diodos tienen un valor de voltaje inverso máximo, que puede ser aplicado en sus terminales sin ser destruido. Este valor depende de la construcción interna del diodo. Para cada diodo, el fabricante especifica el valor de tensión inversa.

Para efectos prácticos, se considera al diodo como si fuera perfecto; es decir, en polarización directa porque así no presenta resistencia eléctrica (permite el paso libre de la corriente); en polarización inversa tiene una resistencia infinita, y por eso no permite el paso de la corriente eléctrica. En la práctica se utilizan las dos formas de polarizar al diodo y se aplican tensiones y corrientes diversas, de manera que el diodo funcione dentro de diferentes puntos de operación, según sea la función que de él se desea.

Si a un diodo en polarización inversa se le aumenta continuamente el valor del voltaje aplicado, se llegará al punto de ruptura; entonces el diodo conducirá de manera repentina y descontrolada la corriente eléctrica.

En polarización inversa hay una diminuta corriente de fuga; pero cuando el valor de la tensión inversa aumenta, los electrones de la corriente de fuga incrementan su energía; y cuando los electrones adquieren energía suficientemente grande, chocan contra los átomos del material y así se liberan los electrones de éstos, que a su vez se suman a la corriente eléctrica de fuga.

Este proceso se sucede en cadena; de modo que si un electrón libera a dos, éstos liberarán a otros dos y así sucesivamente; por eso es que la corriente crece muy rápido.

Mediante una gráfica se puede representar el comportamiento del diodo en términos de **corriente y tensión**. El fabricante de semiconductores proporciona una curva característica para cada tipo de diodo; en ella se representan las variaciones de corriente, dependientes de la tensión aplicada en sentido directo e inverso.

En la figura 5, se muestra la gráfica representativa de un diodo semiconductor.

El eje horizontal representa la tensión aplicada al diodo (hacia la izquierda se indica la tensión en polarización inversa, y hacia la derecha el voltaje en polarización directa); el eje vertical, representa la corriente que circula a través del diodo (hacia arriba indica corriente en sentido directo, y hacia abajo corriente en sentido inverso). La gráfica se divide en dos partes: la zona de polarización directa y la de polarización inversa.

En la zona de polarización directa, se observa que no hay conducción a través del diodo antes de que se alcance la tensión de umbral de la barrera de potencial. Una vez que el voltaje es mayor que este valor, la conducción de la corriente aumenta a pequeñas variaciones de voltaje.

En la zona de polarización inversa, el diodo se mantiene sin conducir hasta que se llega a la tensión de ruptura en donde la corriente en sentido inverso a través de él, se hace muy grande.

DIODOS RECTIFICADORES

Un diodo rectificador es uno de los dispositivos de la familia de los diodos más sencillos. El nombre **diodo rectificador** procede de su aplicación, la cual consiste en separar los ciclos positivos de una señal de corriente alterna.

Si se aplica al diodo una tensión de corriente alterna durante los medios ciclos positivos, se polariza en forma directa; de esta manera, permite el paso de la corriente eléctrica. Pero durante los medios ciclos negativos, el diodo se polariza de manera inversa; con ello, evita el paso de la corriente en tal sentido.

Durante la fabricación de los diodos rectificadores, se consideran tres factores: la frecuencia máxima en que realizan correctamente su función, la corriente máxima en que pueden conducir en sentido directo y las tensiones directa e inversa máximas que soportarán.

Una de las aplicaciones clásicas de los diodos rectificadores, es en las fuentes de alimentación; aquí, convierten una señal de corriente alterna en otra de corriente directa (lo estudiaremos en el capítulo 5).

Existen diodos denominados **MEGAHERTZ** que son un conjunto de rectificadores ultrarrápidos, diseñados para proveer gran eficiencia en la conmutación de señales de muy alta frecuencia en fuentes de poder; no obstante, también se utilizan como correctores de factor en circuitos de potencia.

Los **SCANSWITCH**, son rectificadores ultrarrápidos que ofrecen alto rendimiento cuando son utilizados en monitores de muy alta resolución y en estaciones de trabajo en donde se requiere de un tiempo de recuperación muy corto y de tensiones de polarización de 1.200 a 1.500V.

En el mercado de semiconductores han aparecido un nuevo tipo de diodos conocidos como **SWITCHMODE**. Se trata de rectificadores Schottky de potencia, para alta frecuencia y baja tensión; estas características se logran gracias a la unión de silicio y metal. A diferencia de las uniones clásicas de **silicio — silicio**, este tipo de diodos pueden conmutar en tiempos menores a 10 nanosegundos y se construyen para rangos

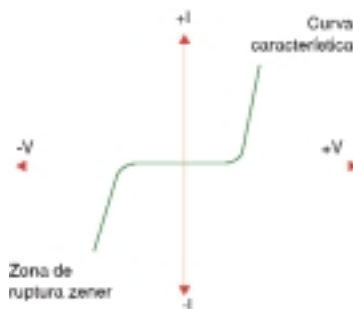
de corriente que van desde 0,5 a 600 amper y con tensiones inversas de hasta 200V.

DIODOS ZENER

Un diodo zéner es básicamente un diodo de unión, pero construido especialmente para trabajar en la zona de ruptura de la tensión de polarización inversa; por eso algunas veces se le conoce con el nombre de **diodo de avalancha**. Su principal aplicación es como regulador de tensión; es decir, como circuito que mantiene la tensión de salida casi constante, independientemente de las variaciones que se presenten en la línea de entrada o del consumo de corriente de las cargas conectadas en la salida del circuito.

El diodo zéner tiene la propiedad de mantener constante la tensión aplicada, aun cuando la corriente sufra cambios. Para que el diodo zéner pueda realizar esta función, debe polarizarse de manera inversa. Generalmente, la tensión de polarización del diodo es mayor que la tensión de ruptura; además, se coloca una resistencia limitadora en serie con él; de no ser así, conduciría de manera descontrolada hasta llegar al punto de su destrucción (figura 6).

En muchas aplicaciones de regulación de tensión, el diodo zéner no es el dispositivo que controla de manera directa la tensión de salida de un circuito; sólo sirve de referencia para un circuito más complejo; es decir, el zéner mantiene un valor de tensión constante en sus terminales. Esta tensión se compara mediante un circuito **amplificador** a transistores o con circuito integrados con una tensión de salida. El resultado de la comparación permite definir la acción a efectuar: aumentar o disminuir la corriente de salida, a fin de mantener constante la tensión de salida. Es importante hacer notar que los diodos zéner se construyen especialmente para que controlen sólo un valor de tensión de salida; por eso es que se compran en términos de la tensión de regulación (zéner de 12V x 1 ampere, por ejemplo).



DIODOS DE CORRIENTE CONSTANTE

Estos diodos funcionan de manera inversa a los diodos zéner. En vez de mantener constante la tensión en sus terminales, estos diodos mantienen constante el consumo de corriente; por eso se les conoce como **diodos reguladores de corriente**. Son dispositivos que mantienen entonces constante el consumo de corriente, independientemente de las variaciones de tensión.

El diodo 1N5305 es regulador de corriente con un valor de corriente de 2 miliampers y un rango de tensión aplicable de 2 a 100V.

DIODOS DE RECUPERACION EN ESCALON

El diodo de recuperación de escalón tiene un dopado especial, ya que la densidad de los portadores disminuye cuanto más cerca está de la unión de las secciones de semiconductor. Esta distribución poco común de portadores, genera un fenómeno conocido como **desplome en inversa**.

Si se aplica una tensión de corriente alterna en las terminales del dispositivo durante los semiciclos positivos de la onda de corriente alterna, el diodo se comporta igual que un diodo rectificador común. Pero durante los semiciclos negativos, la corriente inversa aparece sólo durante un tiempo muy corto, reduciéndose repentinamente hasta cero.

La corriente de desplome de un diodo de recuperación de escalón, está plagada de frecuencias armónicas; éstas pueden ser filtradas, para obtener una señal senoidal de una frecuencia más alta. Esta es la razón por la que los diodos de recu-

Fig. 6



Los diodos de recuperación de escalon son utilizados como circuitos multiplicadores de frecuencia.

Fig. 7



peración son ampliamente utilizados como multiplicadores de frecuencia; es decir, para circuitos en donde la frecuencia de salida es un múltiplo de la frecuencia de entrada (figura 7).

DIODOS INVERTIDOS

Los diodos zéner tienen tensiones de ruptura superiores a los 1,8V. Si se incrementa el nivel de dopado del diodo se logra que el efecto zéner de regulación ocurra cerca de los 0V. La conducción en polarización directa se logra a partir de los 0,7V; pero la conducción inversa (punto de ruptura) se inicia a partir de los -0,1volts. A los diodos que tienen esta característica se les conoce con el nombre de **diodos invertidos**, ya que conducen mejor en polarización inversa que en polarización directa. Se los usa para amplificar señales débiles cuyas amplitudes pico a pico se encuentran entre 0,1 y 0,7V.

DIODOS T NEL

Si durante su construcción a un diodo invertido se le aumenta el nivel de dopado, se puede lograr que su punto de ruptura ocurra muy cerca de los 0V. Los diodos construidos de esta manera, se conocen como **diodos t nel**. Estos dispositivos presentan una característica de resistencia negativa; esto es, si aumenta la tensión aplicada en los terminales del dispositivo, se produce una disminución de la corriente (por lo menos en una buena parte de la curva ca-

Resistencia Eléctrica

racterística del diodo). Este fenómeno de resistencia negativa es útil para aplicaciones en circuitos de alta frecuencia como los osciladores, los cuales pueden generar una señal senoidal a partir de la energía que entrega la fuente de alimentación.

DIODO VARICAP

Es un dispositivo semiconductor que puede controlar su valor de capacidad en términos de la tensión aplicada en polarización inversa. Esto es, cuando el diodo se polariza inversamente no circula corriente eléctrica a través de la unión; la zona de *deplexión* actúa como el dieléctrico de un capacitor y las secciones de semiconductor P y N del diodo hacen las veces de las placas de un capacitor. La capacidad que alcanza el capacitor que se forma, es del orden de los pico o nanofaradios. Cuando varía la tensión de polarización inversa aplicada al diodo, aumenta o disminuye de igual forma la zona de deplexión. En un diodo, esto equivale a acercar o alejar las placas de un capacitor (ampliaremos en el capítulo 4).

Los diodos varicap se controlan mediante la tensión que se les aplica; por lo que el cambio de capacidad se puede hacer mediante otro circuito de control, ya sea digital o analógico. Las aplicaciones de los varicap son la mayoría de las veces en circuitos resonantes, los cuales permiten seleccionar una señal de una frecuencia específica, de entre muchas señales de diferentes valores (vea en la figura 8 los símbolos de algunos diodos semiconductores).

DIODOS VARISTORES

Los relámpagos que se producen durante una tormenta eléctrica, los motores eléctricos y los fallos comunes en la red de alimentación comercial, inducen picos de alta ten-

sión o variaciones en la forma de onda, en el voltaje de línea que llega a las casas. A tales picos y variaciones, se

les conoce con el nombre de **transitorios**.

La continua presencia de transitorios en la red, poco a poco causa la destrucción de los circuitos que contienen los aparatos electrónicos; por eso es que para prolongar la vida de éstos, es necesario adecuar ciertas protecciones.

Uno de los dispositivos empleados para estabilizar la línea, es el varistor; también es conocido como **supresor de transitorios**. Este dispositivo equivale a dos diodos zéner conectados en paralelo, pero con sus polaridades invertidas y con un valor de tensión de ruptura muy alto.

Los varistores son construidos para diferentes valores de tensión de ruptura; por ejemplo, un varistor con un voltaje de ruptura de 320V conectado a la línea comercial de 220V, se mantendrá como un dispositivo inactivo hasta que en sus extremos se presente un transitorio con un voltaje igual o superior a los 320V; entonces el dispositivo, disparándose, conduce (su resistencia interna se hace casi cero) y reduce el efecto dañino del transitorio en el circuito. En suma, el varistor como dispositivo de protección recorta a todos los transitorios que se presenten en la línea; con ello, se evitan daños a los circuitos posteriores.

DIODOS EMISORES DE LUZ

Cuando un diodo semiconductor se polariza de manera directa, los electrones pasan de la sección N del mismo, atraviesan la unión y salen a



la sección P. En la unión se efectúa la recombinación, en donde los electrones se unen a los huecos. Al unirse, se libera energía mediante la emisión de un fotón (energía electromagnética). Esta emisión de energía, que en un diodo normal es pequeña, puede aumentar mediante la utilización de materiales como el galio, el arsénico y el fósforo en lugar del silicio o el germanio. Así, los diodos diseñados especialmente para emitir luz son conocidos como LED.

El color de la luz emitida depende del intervalo de energía del material; por ejemplo, el fosfato de galio arsenídico (GaAsP) emite luz de color rojo y el fosfato de galio (GaP) emite luz de color verde. Los LED pueden emitir radiaciones desde el infrarrojo hasta la luz visible. Es importante resaltar que los LED se polarizan de manera directa y soportan una tensión máxima al cual emiten la mayor radiación. Si se sobrepasa este valor, el LED puede dañarse.

Las aplicaciones de los LED son muchas; entre ellas, las siguientes: indicadores luminosos, *displays* alfanuméricos, transmisores para fibras ópticas, optoacopladores, en control remoto de videos, televisores o conexión de computadoras.

En el mercado de semiconductores han aparecido versiones más complejas de LED; por ejemplo, el LED bicolor es un dispositivo de tres terminales dentro del cual se han incluido dos diodos en colores diferentes. Otro modelo de LED, es el tipo Flasher; al ser polarizado, enciende de manera intermitente.

El Mundo de la **Electrónica**

TV
AUDIO
VIDEO
COMPUTADORAS

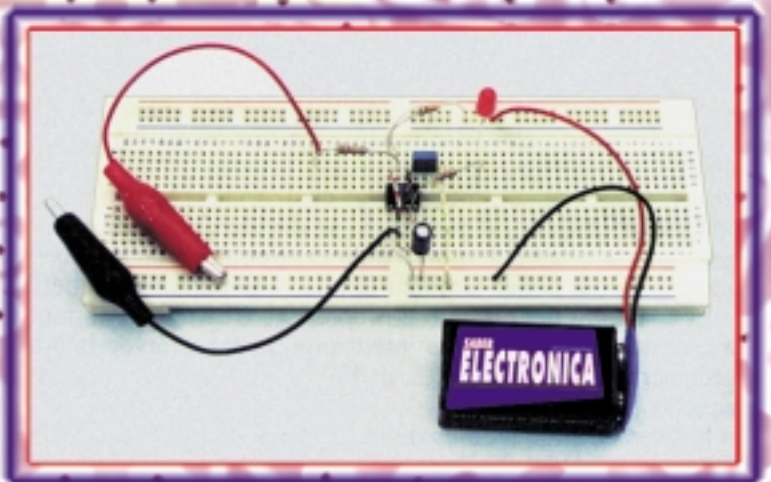
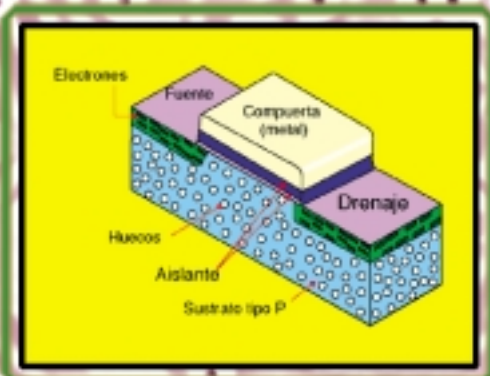


CAPACITORES



Asociación de Resistencias

Por qué aparecieron los **Transistores**



MICROPROCESADORES

Enciclopedia Visual de la Electrónica

INDICE DEL CAPITULO 4

ASOCIACION DE RESISTORES, ASOCIACION DE PILAS, POTENCIA ELECTRICA

Asociación de resistores.....	51
Asociación de pilas	52
Potencia eléctrica	52
Cálculo de potencia.....	54
Aplicación de la ley de Joule	54
Potencia y resistencia.....	54

CAPACITORES

La capacidad	55
Capacitores planos	56
La energía almacenada en un capacitor.....	57
Los capacitores en la práctica	57
Asociación de capacitores.....	57
Capacitores de papel y aceite.....	58
El problema de la aislación.....	58
Capacitores de poliéster y policarbonato.....	58
Capacitores de poliestireno	59
Capacitores cerámicos	59

Capacitores electrolíticos.....	59
Capacitores variables y ajustables.....	60
Dónde usar los trimmers	60
Tensión de trabajo	60
Capacitores variables	61
Banda de valores.....	61

POR QUE APARECIERON LOS TRANSISTORES

Comienza la revolución digital.....	61
En el principio fue la válvula de vacío.....	61
Surge el transistor	62
¿Qué es en realidad un semiconductor?	62
Principio de operación de un transistor	62
Transistores contenidos en obleas de silicio.....	63
Surgen los microprocesadores.....	63
Familias MOS y MOSFET	64
Transistores de altas potencias.....	64
Futuro del transistor	64

Cupón Nº 4

Guardé este cupón: al juntar 3 de éstos, podrá adquirir uno de los videos de la colección por sólo \$5

Nombre: _____
para hacer el canje, fotocopie este cupón y entréguelo con otros dos.

Capítulo 4

Asociación de Resistencias - Capacitores

ASOCIACIÓN DE RESISTORES

A los fines de simplificar circuitos electrónicos es necesario conocer las características de las diferentes combinaciones de resistores para establecer componentes equivalentes. Se dice que dos o más resistores están en serie cuando por ellos circula la misma corriente, de manera que no debe haber ninguna derivación en el camino que origine un cambio en la intensidad de la corriente que circula por ellos. En la figura 1, los resistores R1, R2 y R3 están en serie.

Resistencia equivalente: es una resistencia que puede reemplazar a las del circuito, sin que se modifiquen los parámetros del mismo. Para calcular la resistencia equivalente de dos o más resistores en serie, simplemente se suman sus valores. En el caso anterior, la resistencia equivalente es:

$$R_e = 100\Omega + 120\Omega + 100\Omega = 320\Omega.$$

En general, para resistores en serie, la resistencia equivalente es:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Se dice que dos o más resistores están conectados en paralelo cuando soportan la misma tensión eléctrica, y eso implica que los resistores estén conectados a puntos comunes. Por ejemplo, en la figura 2, R1, R2 y R3 están en paralelo porque los tres soportan la misma tensión (3V). Para calcular la resistencia equivalente, usamos la siguiente fórmula:

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

que sirve para dos resistores; luego, se vuelve a aplicar al tercer resistor con la resistencia equivalente de los dos resistores ante-

riores y, así, sucesivamente, hasta terminar con el último resistor.

Para el caso de la figura resulta, tomando a R1 y R2, lo siguiente:

$$R_{eq1-2} = \frac{6\Omega \cdot 6\Omega}{6\Omega + 6\Omega} = \frac{36\Omega}{12\Omega} =$$

$$R_{eq1-2} = 3\Omega$$

$$R_{eq} = \frac{R_{eq1-2} \cdot R_3}{R_{eq1-2} + R_3} =$$

$$R_{eq} = \frac{3\Omega \cdot 3\Omega}{3\Omega + 3\Omega} = \frac{9}{6} =$$

$$R_{eq} = 1,5\Omega$$

Veamos algunos casos de aplicación; para ello sea el circuito de la figura 3, y se desea calcular su resistencia equivalente. Evidentemente, R1 no está en serie con R2 ni con R3 debido a la derivación en A, pero R2 y R3 están en paralelo pues están soldados en A y en B; por lo tanto, hallamos la Req de R2 y R3 con la fórmula dada anteriormente:

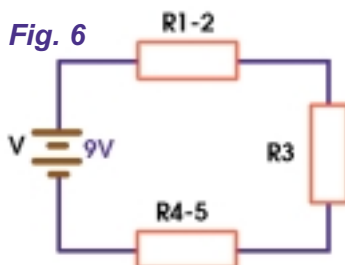
$$R_{eq\ 2-3} = \frac{120\Omega \times 40\Omega}{120\Omega + 40\Omega} =$$

$$R_{eq\ 2-3} = \frac{4800}{160} = 30\Omega$$

Luego, el circuito queda como lo muestra la figura 4. Se ve claramente que ambos resistores están en serie, por lo cual:

$$R_{eq} = 10\Omega + 30\Omega = 40\Omega$$

Fig. 6



En la figura 5 se tiene otro circuito eléctrico del cual se desea calcular la resistencia equivalente.



Fig. 1

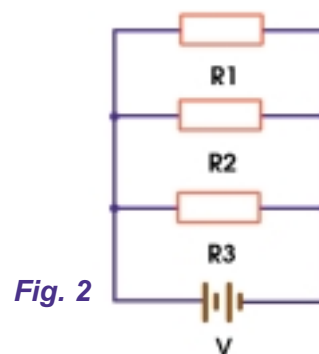


Fig. 2

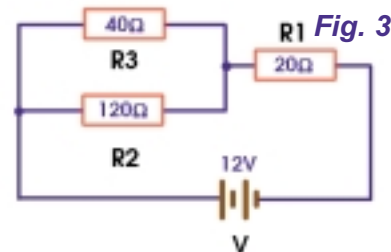


Fig. 4

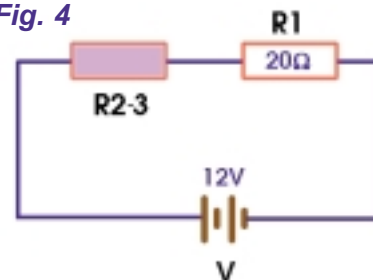


Fig. 5

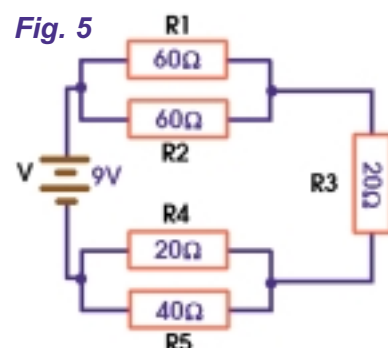
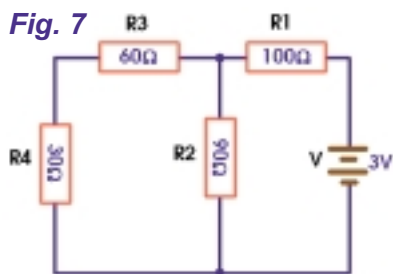


Fig. 7



serie con R2 ni con R3 o R4 debido a que existe una derivación. Por el momento, calculamos la Req de R3 y R4:

$$R_{3-4} = 60 + 30 = 90\Omega$$

ASOCIACIÓN DE PILAS

En muchas oportunidades necesitamos asociar pilas para conectarlas a un aparato electrónico; así, no es lo mismo conectar polos negativos entre sí que polos de distinto signo. Por ejemplo, en el caso de una radio que lleva cuatro pilas, cuando éstas deben ser reemplazadas para poder obtener una tensión correcta, las cuatro pilas de 1,5V tienen que estar en serie, con el polo positivo haciendo contacto con el polo negativo de la otra. Así, los dos terminales que quedan libres se conectan al circuito y la tensión equivalente de las fuentes en serie es mayor que la de una sola de ellas, tal como muestra la figura 8.

Fig. 8

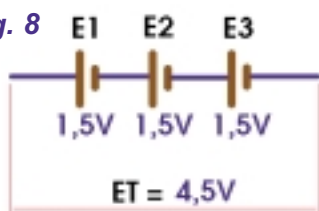
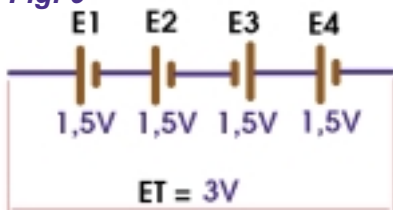


Fig. 9



te. Observando la figura, concluimos que R1 y R2 están en paralelo, así como R4 y R5; sus respectivas resistencias equivalentes son:

$$R_{1-2} = \frac{60\Omega \cdot 60\Omega}{60\Omega + 60\Omega} = 30\Omega$$

$$R_{4-5} = \frac{20\Omega \cdot 40\Omega}{20\Omega + 40\Omega} = \frac{800\Omega}{60\Omega} = 13,3\Omega$$

Luego, el circuito se reduce al de la figura 6.

Es fácil notar que los 3 resistores están en serie (figura 7), y, en consecuencia, su resistencia equivalente será:

$$R_{eq} = 30 + 20 + 13,3 = 63,3\Omega$$

Debemos, ahora, calcular la resistencia equivalente del circuito de la figura 7. Hallar la Req de la combinación de resistores encerrada por la línea punteada. Observando el circuito vemos que R3 y R4 están en serie, ya que por ellos circula la misma corriente y entre ellos no hay ninguna derivación. R1 no está en

Fig. 10

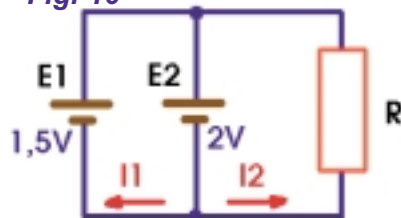


Fig. 11

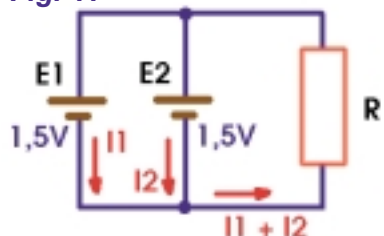


Fig. 12

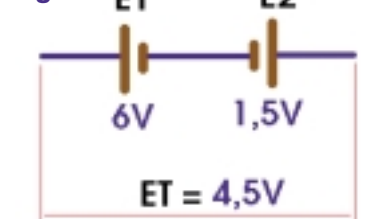
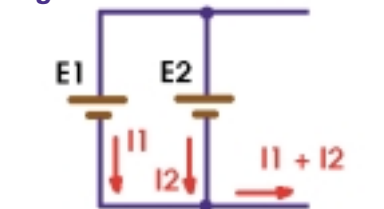


Fig. 13



Las pilas pueden estar en serie, pero algunas de ellas pueden conectarse al revés; entonces, la tensión es la diferencia entre las tensiones de las pilas conectadas en forma directa y las de las pilas conectadas en forma inversa, como vemos en la figura 9.

También pueden conectarse en forma paralela a una resistencia de carga y, en tal caso, la corriente total que pasa por ella es la sumatoria de las corrientes que da cada pila en forma separada. Cuando se conectan en forma paralela se tendrá especial cuidado en que la tensión de las dos sean iguales, de lo contrario la pila de tensión más alta tratará de "empujar" una corriente por medio de la tensión más baja, y será una corriente que pierde energía, lo que como consecuencia traerá el deterioro de las pilas, como se ve en la figura número 10.

Una fuente solamente puede entregar una corriente máxima determinada; es por eso que se usan dos o más fuentes en paralelo, de manera que si se necesita una corriente mayor, se deberá conectar dos o más fuentes de tensión en paralelo. El agotamiento de las bate-

rias es más lento, entonces la duración es mayor; vale decir que las "corrientes" de las pilas se suman, según lo mostrado en la figura 11.

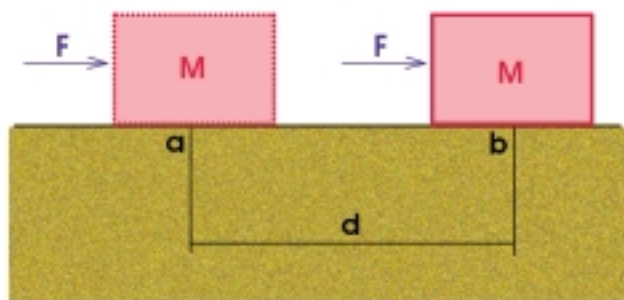
Las tensiones de las pilas en oposición se restan, tal como observamos en la figura 12. La conexión en paralelo solamente es posible si las tensiones de las pilas son iguales, sumadas las corrientes que ellas suministran (figura 13).

POTENCIA ELÉCTRICA

Se dice que energía es todo aquello que se mueve, capaz de realizar un trabajo, sin importar cuál fuere. Por lo tanto, todo es energía, es decir, la materia lleva implícita alguna forma de energía por el solo hecho de estar formada por átomos en constante movimiento.

En física, el trabajo está relacio-

Fig. 14



nado con la distancia que recorre una fuerza para mover un cuerpo. Como ejemplo podemos citar el trabajo que realiza una fuerza F para mover un cuerpo M desde un punto **a** hasta otro punto **b**, recorriendo una distancia **d**, de acuerdo a lo mostrado en la figura 14.

El trabajo realizado se calcula cómo:

$$T = F \cdot d$$

También realiza un trabajo un cuerpo que cae desde una altura **h** debido al propio peso **P** del cuerpo que actúa como fuerza, según se muestra en la figura 15.

El cuerpo, al caer, es acelerado por la gravedad terrestre y alcanza su máxima velocidad inmediatamente antes de chocar contra el suelo. Además, su velocidad antes de comenzar su caída era nula, lo que significa que el cuerpo fue adquiriendo una energía como producto del trabajo realizado por la fuerza (cuerpo) al caer. A esta energía se la denomina Energía Cinética (energía de movimiento) y es la energía que ha adquirido el cuerpo al realizar un trabajo, o sea:

$$\text{Trabajo} = \text{Energía Cinética}$$

matemáticamente:

$$T = Ec$$

Como se sabe, la electricidad se compone de electrones en movimiento, por lo que podemos aplicar un razonamiento análogo al recién efectuado. Los cuerpos en movimiento serán, en este caso, electrones que poseen una carga eléctrica impulsados por una fuerza (fuerza electromotriz o tensión) que es la

diferencia de potencial aplicada en los extremos del conductor. De esta manera, se realizará un Trabajo Eléctrico debido a la energía que adquieren los electrones impulsados por una diferencia de potencial. A la energía así desarrollada se la denomina: Energía Eléctrica, la cual depende de la tensión aplicada al conductor y de la cantidad de carga transportada, es decir, de la cantidad de electrones en movimiento. Matemáticamente:

$$\text{Energía Eléctrica} = \text{Tensión} \cdot \text{Carga Eléctrica}$$

También:

$$E = V \cdot Q$$

Como hemos estudiado en lecciones anteriores, la tensión se mide en volt y la carga eléctrica en coulomb. De estas dos unidades surge la unidad de la Energía Eléctrica, que se denomina joule y se abrevia con la letra **J**.

Podemos decir entonces que cuando se aplica a un circuito eléctrico una tensión de 1V transportándose una carga eléctrica de 1C, se pone de manifiesto una energía eléctrica de 1J.

$$1J = 1V \cdot 1C$$

No es lo mismo que esta energía eléctrica se desarrolle en un tiempo de 1s (1 segundo), que en 10s.

Cuanto menor sea el tiempo en que se ha desarrollado la misma cantidad de energía, mayor será la potencia puesta en juego. Por lo dicho, se define Potencia Eléctrica como la cantidad de energía eléctrica desarrollada dividida por el tiempo en que ha sido desarrollada dicha energía; matemáticamente:

$$\text{Potencia Eléctrica} = \frac{\text{Trabajo Eléctrico}}{\text{tiempo}}$$

También:

$$P = \frac{T}{t} = \frac{V \cdot Q}{t} = V \cdot \left(\frac{Q}{t}\right)$$

En la fórmula anterior, lo que figura entre paréntesis (Q/t), es el cociente entre la carga eléctrica que circula y el tiempo durante el cual lo está haciendo, lo que simboliza a la corriente eléctrica **I**.

Si reemplazamos este concepto en la fórmula anterior nos queda:

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

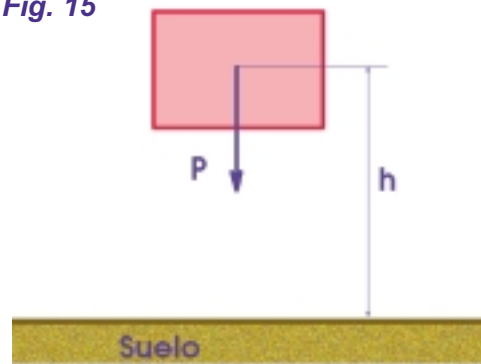
O sea que la potencia eléctrica es el producto de la tensión aplicada a un circuito multiplicada por la corriente que por él circula. En otras palabras, podemos decir que Potencia Eléctrica es la cantidad de trabajo que realiza una carga por unidad de tiempo o el trabajo que desarrolla una carga para vencer una diferencia de potencial.

La unidad de potencia eléctrica es el watt y se la designa con la letra **W**. Podemos decir que en una carga se desarrolla una potencia de 1W cuando se le aplica una tensión de 1V y que por ella circula una corriente de 1A, tal como muestra la figura 16.

En electrónica de potencia suele utilizarse un múltiplo del watt llamado kilowatt (kW), que representa 1.000W.

En cambio, para la mayoría de los circuitos electrónicos de pequeña señal, el watt resulta una unidad muy grande, razón por la cual se emplean submúltiplos como el miliwatt (mW), que corresponde a la

Fig. 15



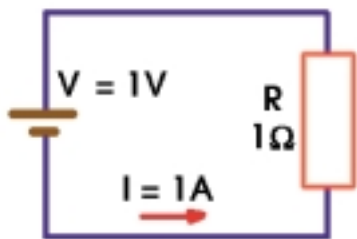


Fig. 16

mida es el producto de la potencia puesta en juego durante un tiempo determinado.

$$P = V \cdot I$$

$$P = 1V \cdot 1A$$

$$P = 1W$$

CLCULO DE LA POTENCIA

luego:
 $P = V \cdot I = 12V \cdot 0,5A = 6W$

Si con una tensión de 12V aplicada a una carga, se desea obtener una potencia de 300mW,

¿Cuál debe ser la corriente que debe circular?.

Del diagrama de la figura 17, como queremos calcular I, la tapamos y nos queda:

$$I = \frac{P}{V}$$

Reemplazando valores, teniendo en cuenta que 300mW corresponden a 0,3W:

$$I = \frac{0,3W}{12V} = 0,025A$$

Luego, por el circuito deberá circular una corriente de 25mA (25mA = 0,025A). Si, para el mismo circuito, deseamos conocer ahora cuál es la tensión que se debe aplicar para obtener una potencia de 300mW cuando circula una corriente de 100mA, aplicando el diagrama de la figura 17 y reemplazando valores, podemos conocer el valor de dicha tensión:

$$V = \frac{P}{I} = \frac{300mW}{100mA} =$$

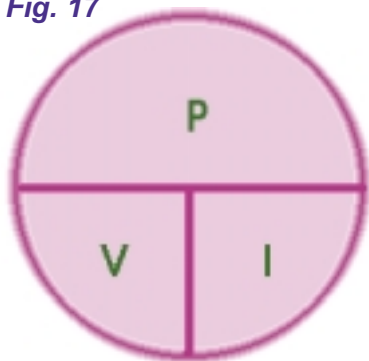
$$V = \frac{0,3W}{0,1A} = 3V$$

POTENCIA Y RESISTENCIA

Analizando el ejemplo que hemos dado anteriormente, podemos comprender que muchas veces nos vamos a encontrar con circuitos en los cuales se conoce la tensión aplicada y el valor de la resistencia. De esta manera, en primer lugar debemos encontrar el valor de la corriente que circula por dicho resistor para poder efectuar el cálculo de la potencia. Podemos evitar este paso sabiendo que en un resistor la corriente viene dada por:

$$I = \frac{V}{R}$$

Fig. 17



Para calcular la potencia eléctrica en cualquier circuito basta con multiplicar la tensión aplicada por la corriente que circula.

El mismo concepto es aplicable para cualquier parte constituyente de un circuito siempre que se conozcan las tensiones y corrientes correspondientes.

De la fórmula (1) puede obtenerse el valor de la tensión presente en un circuito, o parte de él, si se conocen la potencia y la corriente que circula. Despejando:

$$V = \frac{P}{I}$$

Puede calcularse la corriente en cualquier parte del circuito, cuando se conocen la potencia y la tensión aplicada. De la fórmula

(1) se tiene:

$$I = \frac{P}{V}$$

En la figura 17 se ve el gráfico representativo de la Ley de Joule, que, al igual que lo que ocurre con la Ley de Ohm, permite calcular un parámetro cuando se conocen los otros dos.

APLICACION DE LA LEY DE JOULE

Se desea calcular la potencia que consume el resistor de la figura 18, sabiendo que la tensión aplicada es de 12V y la resistencia tiene un valor de 24Ω.

Para resolver el problema primero calculamos la corriente que fluye por el circuito. Aplicando la ley de Ohm tenemos:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12V}{24\Omega} =$$

$$I = 0,5A$$

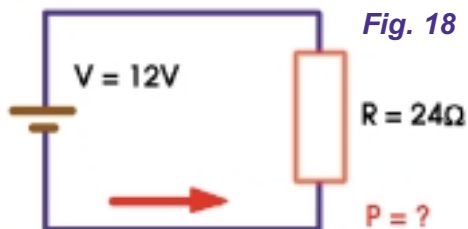


Fig. 18

milésima parte del watt, o el micro-watt (μW), que representa a la milésima parte del watt.

$$1kW = 1.000W$$

$$1mW = 0,001W$$

$$1\mu W = 0,000001W$$

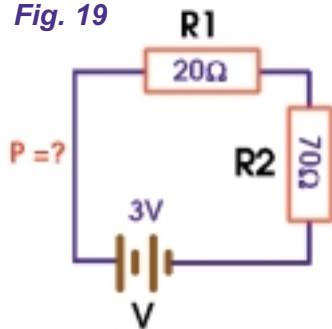
Suelen confundirse los conceptos de potencia y energía eléctrica, especialmente cuando se trata de medir el consumo eléctrico.

Por ejemplo, una carga de 100W consume una energía eléctrica de 100J por cada segundo de funcionamiento. De esta manera, luego de una hora (60s) habrá consumido una energía igual a:

$$E = P \cdot t = 100W \cdot 60s = 6.000J$$

Las compañías de electricidad facturan a los usuarios la energía consumida en un período, es decir, lo hacen en kilowatt-hora (kW-h) y no en joule. De todos modos, el kW-h es una unidad de energía y no de potencia, ya que la energía consu-

Fig. 19



Luego, reemplazando el valor de la corriente en la fórmula de potencia, tenemos:

$$P = E \cdot \frac{E}{R}$$

De lo cual surge que:

$$P = \frac{E^2}{R}$$

Según lo visto, la potencia que disipa la carga del circuito de la figura 18 puede calcularse directamente, o sea:

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{12V^2}{24\Omega} = \frac{144V}{24\Omega} = 6W$$

Como podemos observar, se obtiene el mismo resultado si se aplica un cálculo directo.

Queremos conocer ahora cuál es la potencia que suministra la batería del circuito de la figura 19; para ello calculamos primero la resistencia total. Teniendo en cuenta que las resistencias están en serie:

$$R = R1 + R2 = 70\Omega + 20\Omega = 90\Omega$$

Luego, aplicando la fórmula de potencia para las tensiones, se obtiene:

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{3^2}{90\Omega}$$

$$P = \frac{9V}{90\Omega} = 0,1W = 100mW$$

Puede ocurrir que en un circuito, o parte de él, se conozca la corriente y el valor de la resistencia que posee la carga; luego, si se desea conocer la potencia que maneja dicha carga y sabiendo que $V = I \cdot R$, se tiene:

$$P = V \cdot I = (I \cdot R) \cdot I = I \cdot I \cdot R$$

$$P = I^2 \cdot R$$

Se obtiene así una forma más directa para calcular la potencia de una carga cuando se conoce su valor de resistencia y la corriente que la atraviesa.

Capacitores

INTRODUCCION

La tentativa de almacenar electricidad en algún tipo de dispositivo es muy antigua. Se tiene constancia de que en 1745, simultáneamente, en la Catedral de Camin (Alemania) y en la Universidad de Leyden (Holanda), dos investigadores desarrollaron dispositivos cuya finalidad era almacenar electricidad o, como se decía entonces, "condensar" electricidad. La botella de Leyden, como se ve en la figura 1, fue el primer "condensador" y dio origen, por su principio de funcionamiento, a los modernos capacitores (o "condensadores" como todavía los denominan algunos) utilizados en aparatos electrónicos. La estructura de los componentes modernos es muy diferente de la que tenían los primeros, de 250 años atrás, pero el principio de funcionamiento es el mismo.

LA CAPACIDAD

Para entender cómo un conductor eléctrico puede almacenar electricidad, imaginemos la situación siguiente que puede ser el tema de una experiencia práctica:

Al cargar de electricidad un conductor esférico, verificamos que las cargas pueden comprimirse más o menos según el diámetro del conductor y también según la cantidad que pretendemos colocar en ese conductor.

Eso significa que esa compresión de las cargas almacenadas se manifiesta como potencial V . La carga Q en un conductor de radio R manifiesta un potencial V .

Si intentamos colocar más cargas en el cuerpo, éstas aumentan el grado de compresión y, por consiguiente, el potencial también debe aumentar. Se verifica que, independientemente del radio del conductor, en las condiciones indicadas existe una proporcionalidad directa entre las cargas que podemos almacenar y la tensión que se manifestará (figura 2).

Si el cuerpo tuviera un radio R y se carga con 0,01 coulomb (unidad de carga), manifestará 100 volt y el mismo cuerpo manifestará 200 volt si se carga con 0,02 coulomb. Podemos entonces definir una magnitud llamada "capacidad" como la relación entre la carga almacenada (Q) y la tensión a que se encuentra (V). Escribamos entonces:

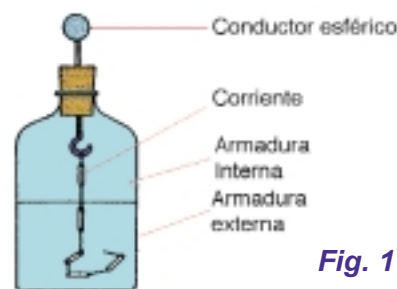


Fig. 1

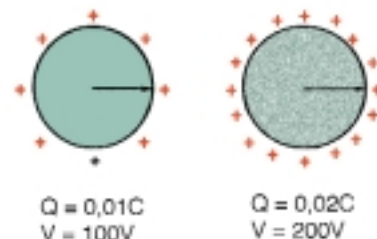


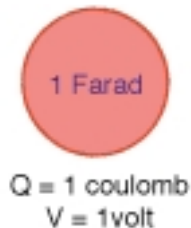
Fig. 2

$$C = Q/V \quad (1)$$

En estas condiciones, el conductor esférico funciona como "capacitor esférico".

La capacidad de almacenamiento de carga depende del radio del conductor, y este tipo de dispositivo no es de los más apropiados para los usos electrónicos, pero veremos más adelante cómo hacer algunos

Fig. 3



cálculos interesantes que lo tienen en cuenta. Nos interesa ahora la constancia de la relación Q/V que define la capacidad cuya unidad es el **Farad** (F). Un capacitor (no necesariamente esférico) tendrá una capacidad de 1 Farad si almacena la carga de 1 Coulomb y tiene 1 volt de tensión.

(Usamos la palabra tensión y no potencial pero el lector sabe que en este caso la diferencia no importa porque la unidad es la misma - Figura 3). En la práctica, una esfera con la capacidad de 1 Farad debiera ser enorme, de manera que los capacitores que usamos en los aparatos tienen capacidades que son submúltiplos del Farad.

Tres son los submúltiplos del Farad que más se usan:

- Microfarad (μF) que es la millonésima parte de 1 Farad o 0,000001 Farad que representado en forma exponencial es 10^{-6} Farad.

- Nanofarad (nF) que es la billonésima parte del 1 Farad o 0,000000001 Farad y 10^{-9} Farad en forma exponencial.

- El picofarad (pF) que es la trillonésima parte de 1 Farad o 0,000000000001 Farad o 10^{-12} Farad.

Vea que de las relaciones indicadas se tiene que:

- 1 nanofarad equivale a 1.000 picofarad ($1 \text{ nF} = 1.000 \text{ pF}$)

1 microfarad equivale a 1.000 nanofarad ($1 \mu F = 1.000 \text{ nF}$)

- 1 microfarad equivale a 1.000.000 picofarad ($1 \mu F = 1.000.000 \text{ pF}$)

Acostúmbrese a convertir estas unidades, porque aparecen con mucha frecuencia en los trabajos de electrónica.

CAPACITORES PLANOS

Puede obtenerse una capacidad mucho mayor con una disposición adecuada de los elementos conductores. Con eso, una cantidad mucho mayor de cargas puede almacenarse en un volumen menor, dando así un componente de uso más práctico. Un

capacitor básico de placas paralelas se ve en la figura 4.

Consiste de dos placas de material conductor separadas por material aislante denominado dieléctrico. El símbolo usado para representar este tipo de capacitor recuerda mucho su disposición real y se muestra en la misma figura. Hay capacitores con disposiciones diferentes, pero como la estructura básica se mantiene (un aislante entre dos conductores) el símbolo se mantiene por lo general con pocas modificaciones.

Cuando conectamos la estructura indicada a un generador, como se ve en la figura 5, las cargas fluyen hacia las placas de manera que una se vuelve positiva y la otra negativa.

Se dice que el capacitor tiene una placa (armadura) positiva y otra negativa.

Aun después de desconectar la batería, como se mantienen las cargas, por efecto de la atracción mutua, en las armaduras el capacitor, se dice que éste está "cargado".

Como la carga en Coulombs depende no sólo de la capacidad sino también de la tensión del generador, para calcularla es necesaria la relación:

$$C = Q/V$$

Es así que si un capacitor de $100 \mu F$ (100×10^{-6}) se conecta a un generador de 100 volts, la carga será:

$$Q = CV \quad (2)$$

$$Q = 100 \times 100 \times 10^{-6}$$

$$Q = 10.000 \times 10^{-6}$$

$$Q = 104 \times 10^{-6}$$

$$Q = 10^{-2} = 0,01 \text{ Coulomb}$$

Para descargar un capacitor basta interconectar las armaduras mediante un alambre. Las cargas negativas (electrones) de la armadura negativa pueden fluir a la positiva neutralizando así sus cargas.

Vea que no importa cuál es el capacitor pues la cantidad de cargas de una armadura es igual a la cantidad de cargas de la otra; sólo es diferente la polaridad.

En la descarga, la neutralización es total (Figura 6).

Fig. 18

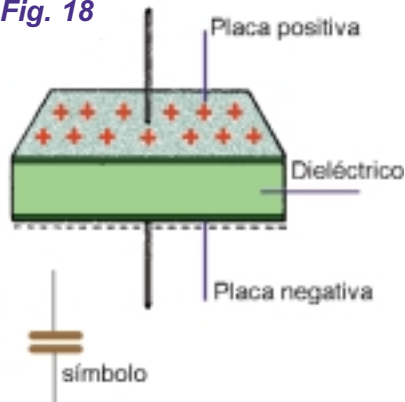
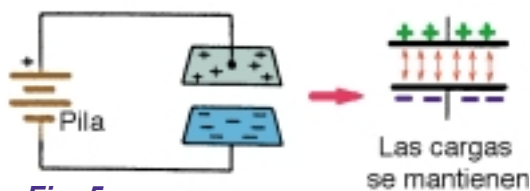


Fig. 5



Para un capacitor plano como el indicado, la capacidad puede calcularse en función de las características físicas, a saber: superficie de las placas, distancia entre ellas y naturaleza del aislante.

Podemos aplicar la fórmula siguiente:

$$C = \epsilon A/d \quad (3)$$

donde:

C es la capacidad en Farad (F)

d es la distancia entre placas en metros

A es la superficie de las placas en metros cuadrados

ϵ es una constante que depende de la naturaleza del dieléctrico.

El valor depende del material considerado.

Ese valor puede calcularse mediante la fórmula:

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot K \quad (4)$$

donde:

ϵ_0 es la permisividad del vacío y vale $8,85 \times 10^{-12}$ F/m

K es la constante dieléctrica y depende del material usado.



Fig. 6

LA ENERGÍA ALMACENADA EN UN CAPACITOR

Para obligar a una cierta cantidad de cargas a permanecer en un capacitor debemos gastar una cierta cantidad de energía. En realidad esa energía que se gasta para colocar las cargas en el capacitor queda disponible para usarla en el futuro, queda almacenada en el capacitor. Cuando descargamos un capacitor mediante un conductor que presenta cierta resistencia, como muestra la Figura 7, la energía que estaba contenida en el capacitor se disipa en forma de calor.

Puede imaginarse la carga del capacitor con el gráfico de la figura 8. Vea que a medida que va aumentando la cantidad de carga, debemos forzarlas cada vez más y eso implica una elevación de tensión.

El área de la figura hasta el punto en que dejamos de cargar el capacitor, representada por W en la figura corresponde a la energía almacenada en el capacitor. Podemos calcular la energía a partir de dos fórmulas:

$$W = 0,5 \times Q \times V \quad (5)$$

o

$$W = 0,5 \times C \times V^2 \quad (6)$$

Donde:

W es la energía de Joule (J)

Q es la carga en Coulomb (C)

C es la capacidad en Farad (F)

V es la tensión en Volt (V)

Podemos comparar un capacitor cargado a un resorte comprimido. Gastamos energía (potencial) para comprimir el resorte, éste "guarda" esa energía que luego puede usarse para poner en movimiento un mecanismo. Es claro que, según veremos, la cantidad de energía que puede almacenar un capacitor no es grande y entonces su utilidad como fuente de energía es muy restringida, pero este componente tiene otras propiedades que son de gran utilidad en electrónica.

LOS CAPACITORES EN LA PRÁCTICA

A diferencia de la botella de Leyden que nada tenía de práctica por sus dimensiones y propiedades, los capacitores modernos son compactos y eficientes, con volúmenes centenas de veces menores que la antigua bo-

tella de Leyden y capacidades miles de veces mayores.

Estos son los capacitores que encontramos en los aparatos electrónicos y que pueden variar muchísimo en forma y valor.

Estudiaremos en esta lección lo que sucede cuando conectamos varios capacitores entre sí y los distintos tipos de capacitores que encontramos en la práctica.

ASOCIACIÓN DE CAPACITORES

Podemos obtener un efecto mayor o menor de almacenamiento de cargas, según se asocien distintos capacitores, del mismo modo que obtenemos efectos diferentes de resistencias al asociar resistores.

Los capacitores pueden conectarse en serie o en paralelo.

a) Asociación de capacitores en paralelo

Decimos que dos o más capacitores están asociados en paralelo cuando sus armaduras están conectadas de la manera siguiente: las armaduras positivas están conectadas entre sí para formar la armadura positiva equivalente al capacitor; las armaduras negativas están conectadas entre sí y forman la armadura negativa equivalente al capacitor, según muestra la figura 9. Vea el lector que en esas condiciones los capacitores quedan sometidos todos a la misma tensión (V) cuando se cargan. Las cargas dependen de las capacidades.

La capacidad equivalente en esta asociación está dada por la suma de las capacidades asociadas.

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad (7)$$

Se pueden deducir las siguientes propiedades de la asociación de capacitores en paralelo:

- Todos los capacitores quedan sometidos a la misma tensión.
- El mayor capacitor (el de mayor capacidad) es el que más se carga.

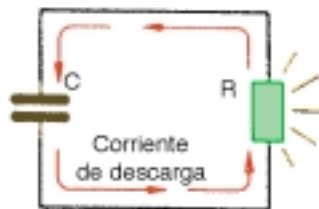


Fig. 7
La energía almacenada se disipa en calor

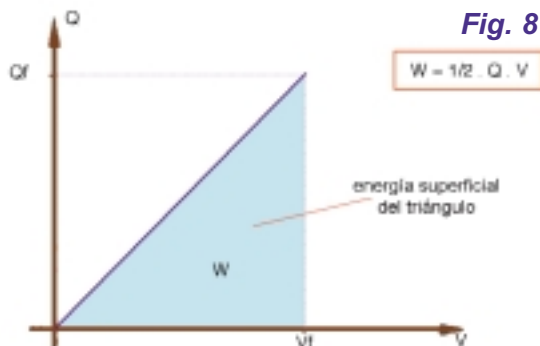


Fig. 8

La capacidad equivalente es mayor que la capacidad del mayor capacitor asociado.

b) Asociación de capacitores en serie

En la asociación en serie de capacitores, éstos se conectan como se muestra en la figura 10.

La armadura positiva del primero pasa a ser la armadura positiva del equivalente; la negativa del primero se une a la positiva del segundo; la negativa del segundo da la positiva del tercero y así sucesivamente hasta que la negativa del último queda como la armadura negativa del capacitor equivalente.

Vea que si conectamos de esta manera un conjunto cualquiera de capacitores (aun de valores totalmente diferentes) ocurre un proceso de inducción de cargas, de modo que todas las armaduras queden con las mismas cantidades (figura 11). Según el valor del capacitor (capacidad) la tensión hallada tendrá valores diferentes.

Puede darse la fórmula:

$$C_1 = Q/V_1; C_2 = Q/V_2; C_3 = Q/V_3...$$

$$C_n = Q/V_n$$

Como la suma de las tensiones de estos capacitores asociados debe ser

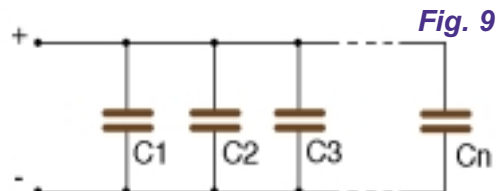


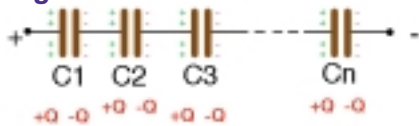
Fig. 9

Asociación de Resistencias - Capacitores

Fig. 10



Fig. 11



la tensión en las armaduras del capacitor equivalente; podemos escribir:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

Reemplazando el valor de V en cada una de las expresiones de capacidad:

$$V = Q/C_1 + Q/C_2 + Q/C_3 + \dots + Q/C_n$$

Sacando Q como factor común:

$$V = Q (1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n)$$

Dividiendo por Q ambos miembros de la igualdad, tenemos:

$$V/Q = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_3$$

$$V/Q = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots + 1/C_n$$

Pero:

$$V/Q \text{ es } 1/C$$

Luego:

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots + 1/C_n \quad (8)$$

De esta fórmula podemos deducir las siguientes propiedades de la asociación en serie de capacitores:

- Todos los capacitores quedan con la misma carga.

- El menor capacitor queda sometido a la mayor tensión.

- La capacidad equivalente es menor que la capacidad del menor capacitor asociado.

- Todos los capacitores se cargan y descargan al mismo tiempo.

Conclusión

Dos casos particulares son interesantes en las asociaciones en serie y en paralelo de capacitores.

Cuando los capacitores son iguales, la asociación puede tener la capacidad equivalente calculada con más facilidad por las fórmulas siguientes:

a) Serie: $C = C_1/n$

donde

C es la capacidad equivalente.

C_1 es el valor de cada uno de los capacitores asociados.

n es el número de capacitores.

b) Paralelo: $C = n \times C_1$

donde

C , C_1 y n son los del caso anterior.

CAPACITORES DE PAPEL Y ACEITE

En muchos aparatos antiguos, principalmente en radios y televisores de válvulas, pueden encontrarse con el aspecto que se ve en la figura 12. Son capacitores tubulares de papel o aceite (el tipo viene marcado normalmente en el componente). Para fabricar estos capacitores se enrollan alternadamente dos hojas de aluminio que forman el dieléctrico y se coloca entre ellas un aislante que puede ser una tira de papel seco (en el tipo de papel) o de papel embebido en aceite (en el caso de los capacitores de aceite). Esos capacitores, así como los otros, presentan dos especificaciones:

a) La capacidad que se expresa en microfarads (μF), nanofarads (nF) y picofarad (pF) y que puede variar entre 100pF (o, 1nF) hasta 1 μF .

b) La tensión de trabajo que es la tensión máxima que puede aplicarse entre armaduras sin peligro de que se rompa el dieléctrico. Esta tensión varía, en los tipos comunes, entre 200 y 1.000 volt.

Los capacitores de papel y aceite pueden tener hasta una tolerancia de 10% a 20% y presentan las siguientes características principales:

- Son relativamente chicos en relación a su capacidad.

- Tienen buena aislación a tensiones altas.

- Pueden obtenerse en una banda buena de altas tensiones.

- Su gama de valores es apropiada para la mayoría de las aplicaciones electrónicas.

Vea que la aislación es un problema que merece estudiarse en detalle:

El problema de la aislación

Ningún dieléctrico es perfecto. No existe un aislante perfecto, lo que significa que ningún ca-

pacitor puede mantener indefinidamente la carga de sus armaduras. Una resistencia, por grande que sea, deja pasar una cierta corriente y una corriente es un flujo de cargas que acaba por descargar el capacitor. Un capacitor que tenga una resistencia por debajo de los límites tolerados en las aplicaciones prácticas se dice que tiene una "fuga".

Volviendo a los capacitores de papel y aceite, éstos se usan en los circuitos de bajas frecuencias y corrientes continuas.

CAPACITORES DE POLIÉSTER Y POLICARBONATO

El poliéster y el policarbonato son termoplásticos que presentan excelentes propiedades aislantes y buena constante dieléctrica, por lo que sirven para la fabricación de capacitores. En la figura 13 tenemos algunos tipos de capacitores hechos con esos materiales y que pueden ser planos o tubulares.

En el tipo plano, las armaduras se depositan en las caras de una película de dieléctrico, entonces se obtiene una estructura que recuerda la asociación de muchas capas de capacitores planos. En la disposición tubular, un filme de poliéster o de policarbonato tiene en sus caras depositada una fina capa de conductor (aluminio) que hace las veces de dieléctrico. Las especificaciones fundamentales de estos capacitores son:

a) Gama de capacidades comprendida entre 1nF y 2,2 μF o más.

b) Banda de tensiones de trabajo entre 100 y 600 volt.

c) Tolerancia de 5%, 10% y 20%.

Otras características de interés son:

- Buena gama de valores en dimensiones reducidas del elemento en relación a la capacidad.

- Gama de tensiones elevadas.

- aislación muy buena, común-

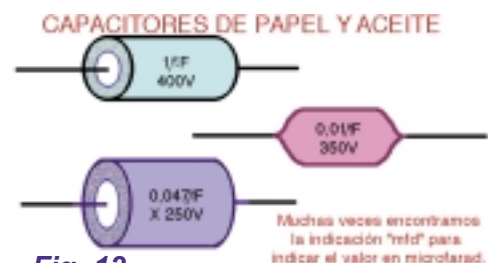


Fig. 12

CAPACITORES DE POLIESTER

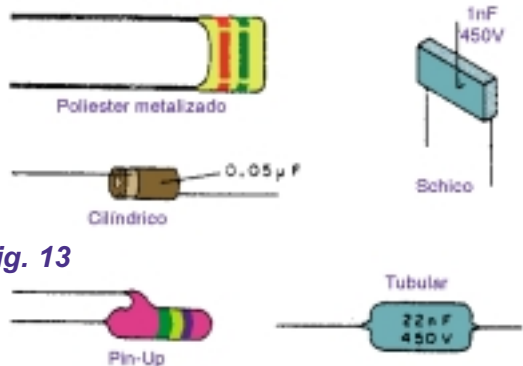


Fig. 13

mente por arriba de 20.000MΩ.

- Banda de tolerancias según las aplicaciones prácticas en electrónica.

Los capacitores de políéster y policarbonato pueden usarse en circuitos de bajas frecuencias, corrientes continuas y aplicaciones generales.

CAPACITORES DE POLIESTIRENO

El poliestireno también es un termoplástico que tiene excelentes propiedades aislantes, que puede aparecer con nombres diversos según el fabricante, como: STYRON, LUSTREX, REXOLITE, POLYPENCO.

En la figura 14 vemos el aspecto de estos capacitores.

Estos capacitores pueden tener estructura plana o tubular. Las especificaciones básicas son:

- a) Capacidad entre 10pF y 10nF.
- b) Tensiones entre 30 y 500 volt.
- c) Tolerancias entre 2,5% y 10%.

Otras características importantes de estos capacitores son:

- Tamaño reducido en relación a la capacidad.
- Buena estabilidad térmica.
- Tensiones de trabajo altas.
- Tolerancia baja (2,5%).
- Aislación muy alta: normalmente por arriba de 100.000 MΩ.
- Adecuados para operar en circuitos de altas frecuencias.

Estos capacitores son especialmente indicados para los circuitos de RF (radiofrecuencia) y aplicaciones que exijan alta estabilidad.

CAPACITORES CERMICOS

La cerámica presenta excelentes propiedades dieléctricas, pero no

puede enrollarse ni doblarse como los aislantes plásticos. Pero aun así tenemos una buena variedad de capacitores cerámicos, como se ve en la figura 15.

Las especificaciones de estos capacitores son las siguientes:

a) capacidades en la gama de 0,5pF hasta 470nF,

b) banda de tensiones de operación desde 3V hasta 3.000V o más,

c) tolerancias entre 1% y 5,0%.

Otras características de importancia son:

- Relativamente chicos en relación a la capacidad.
- Banda relativamente amplia de tensiones de trabajo.
- Son adecuados para operar en circuitos de altas frecuencias.
- Banda de tolerancia buena para aplicaciones que exigen precisión.

Estos capacitores son de los más utilizados en las aplicaciones prácticas de electrónica y se los encuentra en los circuitos de altas frecuencias, audio y también de corriente continua.

CAPACITORES ELECTROLITICOS

Los capacitores electrolíticos o electrolíticos de aluminio son, de todos, los que tienen una técnica de construcción muy diferente y es por eso que se los encuentra en una gama de valores muy determinada. En la figura 16 tenemos la construcción interna típica de un electrolítico de aluminio con fines didácticos.

En contacto con una sustancia electrolítica, el aluminio es atacado y se forma en su superficie una película aislante. Este material presenta una constante dieléctrica muy alta, pero su espesor es de sólo milésimos de milímetro, lo

que garantiza la obtención de capacidades muy elevadas.

Los electrolíticos tienen una característica más en relación a los otros capacitores: la armadura positiva debe cargarse siempre con cargas de ese signo. Si hubiera inversión de las armaduras, podría destruirse la película dieléctrica y quedar inutilizado el capacitor.

Las principales características son:

a) Capacidades en la gama de 1µF a 220.000µF.

b) Tensiones de trabajo entre 12 y 1.000V.

c) Tolerancia entre -20% y +50% comúnmente.

En la figura 17 vemos algunos tipos comunes de capacitores electrolíticos, obsérvese su polaridad. Otras características importantes de estos capacitores son:

- Tamaño pequeño en relación a la capacidad alta.
- Banda de capacidades que llega a valores muy altos.
- La corriente de fuga es relativamente alta o sea que la aislación no es excelente.
- Son polarizados (debe respetarse



Fig. 14

CAPACITORES DE POLIESTIRENO

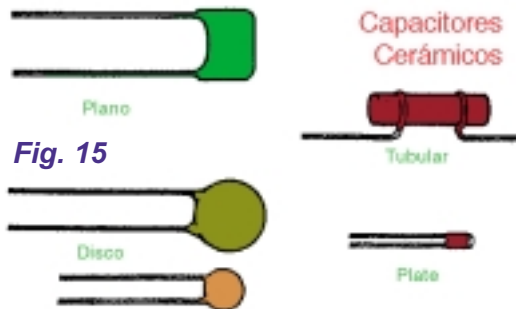
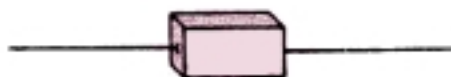


Fig. 15

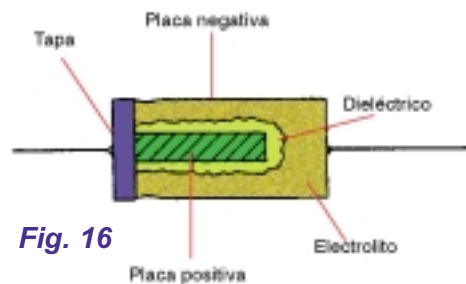


Fig. 16

Asociación de Resistencias - Capacitores

CAPACITORES ELECTROLÍTICOS

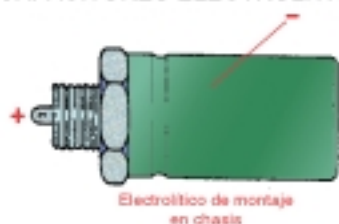
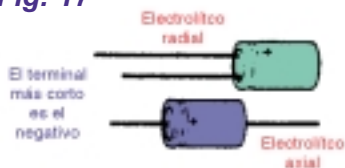


Fig. 17



la polaridad de la placa o armadura).

- La capacidad aumenta a medida que el capacitor envejece.

- Tiene una duración limitada.

- La capacidad varía ligeramente con la tensión.

Los capacitores electrolíticos no se usan en circuitos de altas frecuencias; se usan en circuitos de frecuencias bajas, uso general y corriente continua.

CAPACITORES VARIABLES Y AJUSTABLES

En determinadas aplicaciones, necesitamos disponer de capacitores cuya capacidad pueda ser alterada en una cierta franja de valores, por motivos diversos. Podemos dar el ejemplo de un proyecto en el que el funcionamiento, por ser crítico, no nos permite establecer con exactitud cuál es la capacidad que necesitamos para llevar el circuito al comportamiento deseado. Podemos calcular con cierta aproximación el valor de esta capacidad y después ajustar su valor para tener el comportamiento deseado. En este caso precisamos un capacitor ajustable o regulable. Otra aplicación es el caso en que durante el funcionamiento del aparato debemos cambiar la capacidad de un capacitor para que cambie el comportamiento según nuestras necesidades. Es el caso en el que debemos usar un capacitor variable, como en la sintonía de un aparato de radio para cambiar de estación en el momento querido. Separamos entonces los capacitores que pueden cambiar de valor según nuestra voluntad en 2 grupos.

a) Los capacitores regulables, en los que prácticamente sólo alteramos la

capacidad una vez, para llegar al punto deseado de funcionamiento y dejarlo después de esta manera, indefinidamente.

b) Los capacitores variables en los que alteramos continuamente la capacidad, siempre que deseamos alterar el funcionamiento del circuito.

Capacitores regulables

Tal como estudiamos, la capacidad presentada por un capacitor depende de algunos factores.

a) Tamaño de las placas (área).

b) Separación entre las placas.

c) Existencia o no de un material entre las placas (dieléctrico). Vea la figura 18.

Podemos variar la capacidad de un capacitor si alteramos cualquiera de esos factores, pero por cierto existen algunos en los que esa tarea resulta más fácil. En el caso de los capacitores ajustables o regulables, podemos variar la capacidad para modificar dos de esos factores, según el tipo de componente. El tipo más común de capacitor ajustable es el "trimmer" de base de porcelana, que tiene la construcción que se muestra en la figura 19. En este "trimmer" tenemos una base de porcelana en la que están montadas dos placas (armaduras), una de las cuales es fija y la otra móvil. El dieléctrico es una fina hoja de plástico o mica, colocada entre las armaduras.

Un tornillo permite el movimiento de la armadura móvil, para que se aproxime o aleje de la armadura fija.

Con la aproximación (menor distancia) tenemos una capacidad mayor y con el alejamiento (distancia mayor) tenemos una capacidad menor, estos capacitores permiten variaciones de capacidad en una proporción de 10:1. Es común tener un capacitor de este tipo en que la capacidad mínima obtenida es de 2pF y la máxima de 20pF, al pasar de la posición del tornillo totalmente flojo (desatornillado - alejamiento máximo) a la de fuertemente apretado (alejamiento mínimo). Los trimmers resultan especificados por la banda de capacidades en que se encuentran. Un trimmer 2-20pF es un trimmer en el que podemos variar la capacidad entre

esos dos valores. Un problema que hay que analizar en este tipo de capacitor es que el ajuste excesivo del tornillo o también problemas mecánicos, no permiten una precisión de ajuste muy grande, lo que lleva a que se usen en casos menos críticos. Para los casos más críticos existen trimmers de precisión.

Uso de los trimmers

Existen casos en los que necesitamos regular el punto de funcionamiento de un circuito después de haberlo montado, sin que sea posible establecer la capacidad exacta que debemos usar, con antelación, como para poder usar un capacitor fijo. Normalmente los trimmers aparecen en los circuitos que operan en frecuencias elevadas, como receptores y transmisores, en los que es preciso hacer un ajuste del punto de funcionamiento de circuitos que determinan la frecuencia de operación. Encontramos los trimmers en los siguientes tipos de aparato:

Radio, Transceptores, Transmisores, Generadores de señales, Osciladores de alta frecuencia

Tensión de trabajo

Del mismo modo que los capacitores fijos, los trimmers también tienen limitaciones en relación a la tensión máxima que puede existir entre sus armaduras. Tensiones mayores que las especificadas por los fabricantes pue-

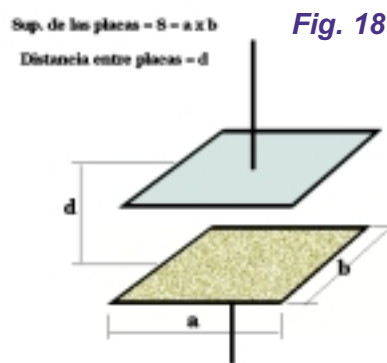


Fig. 18

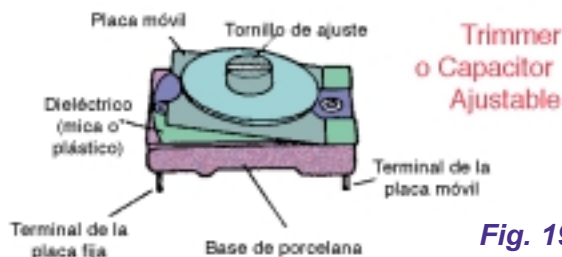


Fig. 19

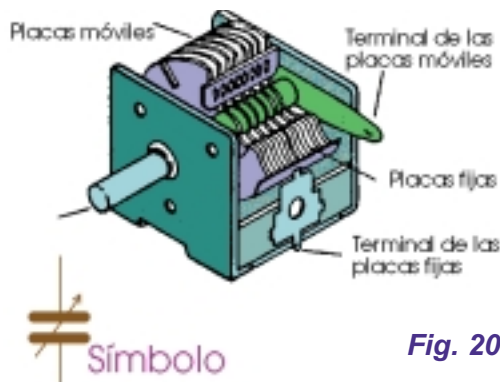


Fig. 20

den causar la ruptura del material usado como dieléctrico y así inutilizar el componente.

Capacitores variables

El principio de funcionamiento de los capacitores variables es el mismo que el de los trimmers. La diferencia está en el hecho de tener un acceso más fácil al conjunto de placas móviles de modo que alteramos la capacidad en cualquier momento. En la figura 20 tenemos un capacitor varia-

ble común, del tipo denominado "con dieléctrico de aire", pues ningún aislante especial existe entre las placas del conjunto móvil y fijo.

El conjunto de placas móviles se acciona mediante un eje, para penetrar en el conjunto de placas fijas en forma recta.

A medida que el conjunto de placas penetra en la parte fija, aumenta la superficie efectiva y con eso la capacidad presentada por el componente. Con el capacitor abierto, es decir, las placas móviles fuera de las placas fijas, el capacitor tiene una capacidad mínima. Con el capacitor cerrado, tenemos la capacidad máxima.

Las dimensiones de las placas fijas y móviles, además de su cantidad y separación, determinan la variación de capacidad que se puede obtener: teóricamente, la variación de-

biera estar entre 0 y un cierto valor máximo dado por la cantidad de placas y otros factores. Y con las placas todas abiertas (armadura móvil) todavía con un efecto residual se manifiesta una cierta capacidad.

Esta capacidad se denomina residual y está especificada en los manuales de los fabricantes.

Banda de valores

Básicamente, los capacitores variables se encuentran en dos franjas de valores determinadas por las aplicaciones más comunes. Tenemos las variables de mayor capacidad que pueden tener valores máximos entre 150pF y 410pF y que se usan en radios de ondas medias y cortas, o transmisores para la misma banda. En ellos, tenemos conjuntos de 10 a 20 placas que forman las armaduras. Para la banda de FM los variables son de capacidad mucho menor, normalmente con máximos inferiores a 50pF, éstos están formados por un número mucho menor de placas.

Por qué aparecieron los Transistores

El transistor es el elemento más importante de los dispositivos semiconductores, pues es el "ladrillo" con el que se construye el edificio de la tecnología electrónica moderna.

COMIENZA LA REVOLUCION DIGITAL

Intel es la empresa que fabricó por primera vez un microprocesador, una pastilla de circuito integrado que contiene todos los elementos necesarios para realizar los complejos cálculos numéricos y lógicos que se ejecutan en una computadora. Nos referimos al ya legendario 4004, un microprocesador con apenas 2.300 transistores, pero con la misma capacidad de cómputo que la ENIAC, la primera computadora (1947), la cual contenía unas 18 mil válvulas, ocupaba una habitación entera para albergar sus gigantescas proporciones y pesaba 30 toneladas. Pero los microprocesadores no son sino un eco o resultado de otro invento sobre el que en última instancia se funda-

menta la revolución digital: el transistor.

Hace más de 50 años, el 23 de diciembre de 1947, científicos de los Laboratorios Bell demostraron que un dispositivo construido con base en materiales sólidos, podía comportarse de forma prácticamente idéntica a las válvulas de vacío, pero sin sus inconvenientes.

Por su descubrimiento, **William Shockley, John Bardeen y Walter Brattain** fueron acreedores al Premio Nobel de Física en 1956.

EN EL PRINCIPIO FUE LA VALVULA DE VACIO

El transistor desplazó a otro gran dispositivo, en el que descansó por décadas la incipiente tecnología electrónica: la válvula triodo, inventada en 1906 por **Lee De Forest**, quien a su vez se apoyó en la válvula diodo, inventada en 1905 por John A. Fleming, que se basó en un fenómeno (el efecto Edison) descubierto por Tomas A. Edison durante las in-

vestigaciones que lo llevaron a inventar la bombilla incandescente.

Lee de Forest encontró que una rejilla de alambre electrificada originaba un flujo de electrones cuando se la colocaba dentro de un tubo o válvula de vacío.

Dicho flujo podía ser controlado de distintas maneras: se le podía interrumpir, reducir o incluso detener por completo; así por ejemplo, una muy baja corriente de electrones en la entrada del tubo llegaba a ser amplificada por éste, a fin de producir una intensa corriente en la salida, por lo que este dispositivo fue utilizado en televisores, radios y en cualquier otro equipo electrónico en el que se requiriera aumentar el nivel de una señal de entrada.

Con todo este potencial en el control de la electricidad, el hombre pudo manejar señales electrónicas y así surgieron y se desarrollaron nuevas formas de comunicación como la radio y la televisión, y nuevos avances tecnológicos, como el radar y las primeras computadoras.

SURGE EL TRANSISTOR

El primer transistor fue construido en una base plástica en forma de C, en la cual se montaron dos piezas de un elemento por entonces no muy conocido, el germanio, sostenidas por un resorte elaborado a último momento con un clip de oficina. De los terminales de esta estructura salían delgados hilos de oro, que hacían las veces de conectores para la entrada y salida de señales. Con este dispositivo los investigadores pudieron amplificar señales de igual forma como lo hubieran hecho con una válvula triodo; y no había necesidad de una envoltura de cristal al vacío, de filamentos incandescentes o de elevadas tensiones de operación.

En efecto, el transistor (llamado así debido a que transfiere la señal eléctrica a través de un resistor) pudo realizar las mismas funciones del tubo al vacío, pero con notorias ventajas: no sólo sustituyó el complejo y delicado tubo por un sencillo montaje que consiste básicamente en un conjunto de finos alambres **bigotes de gato**, acoplado en un pequeño cristal semiconductor, sino que hizo innecesaria la condición de vacío. Además, no requería de previo calentamiento para empezar a funcionar, ni de un gran volumen para su encapsulado; su estructura fija hacía de él un dispositivo más confiable y duradero; y su consumo de energía era insignificante.

Podemos observar un cristal de germanio (o silicio) que tiene en su capa externa cuatro electrones, llamados "electrones de valencia", que en conjunto enlazan a los átomos. Precisamente, como todos los electrones se encuentran ocupados en unir a los átomos, no están disponibles para generar electricidad.

Supongamos que alguna impureza con cinco electrones en la órbita de valencia entra al cristal (fósforo). Esto provoca que cuatro de los electrones formen enlaces con los átomos de germanio, pero el quinto queda libre para conducir la corriente (figura 1B). Otro caso similar muy interesante, es el del átomo de boro introducido en el cristal de germanio (figura 1C). El átomo de boro es una impureza con tres electrones de valencia.

Aquí, uno de los puntos necesarios para la unión con los átomos de germanio está ausente; se crea entonces un estado de desequilibrio, donde alguno de los átomos de la estructura tan sólo cuenta con siete electrones, lo que deja un espacio libre que puede ser llenado con un electrón viajero. Por consecuencia, la falta de un electrón (a la que se considera una entidad física y se le denomina "hueco") posee todas las propiedades de esta partícula; es decir, tiene masa y carga; aunque, como está ausente, su carga es positiva en vez de negativa.

De acuerdo con este comportamiento, se pudo establecer que un cristal semiconductor es capaz de conducir electricidad cuando se da la presencia de impurezas. Con base en ello, fue diseñado un método de control de electrones o huecos en un cristal, que los científicos de los laboratorios Bell consideraron en el invento del transistor. Dependiendo del tipo de impurezas introducidas en el cristal, existen dos tipos de material: el material **tipo N** o negativo y el material **tipo P** o positivo. Estos materiales se combinan entre sí para construir diversos tipos de dispositivos, el más común de todos ellos es el transistor bipolar, cuya operación explicaremos a continuación.

En primer lugar, para que un transistor funcione tiene que estar polarizado en cierta forma; en el caso que nos ocupa (transistor NPN), esta polarización implica un voltaje positivo aplicado entre colector y emisor y una alimentación positiva de pequeña magnitud entre base y emisor (figura 2B). Cuando esto sucede y la polarización de base es inferior a la tensión de ruptura del diodo formado entre base y emisor, la tensión entre colector y emisor forma un campo eléctrico considerable en el interior del dispositivo; pero como se enfrenta a una estructura semejante a un diodo invertido, no puede haber un flujo de corriente entre el colector y el

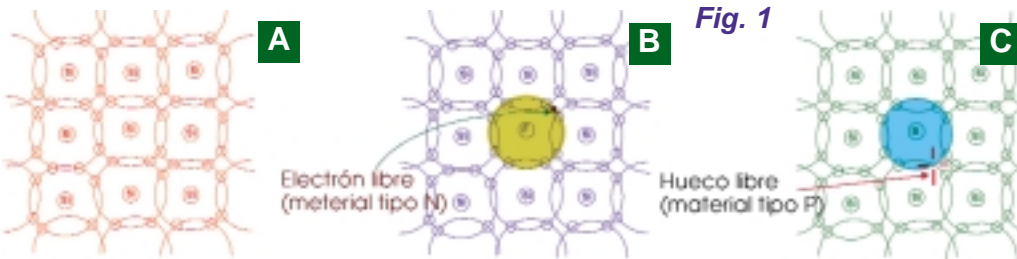


Fig. 1

PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE UN TRANSISTOR

A los transistores con las características citadas se les denomina "bipolares" y su estructura interna es como se muestra en la figura 2A. Note que se forma con tres capas alternadas de material semiconductor: una N, otra P y finalmente otra N (es por ello que se les llama NPN). Observe también que al terminal conectado en la parte superior del dispositivo se le denomina "colector", a la capa intermedia "base" y a la inferior "emisor". Veamos cómo funciona el conjunto.

En primer lugar, para que un transistor funcione tiene que estar polarizado en cierta forma; en el caso que nos ocupa (transistor NPN), esta polarización implica un voltaje positivo aplicado entre colector y emisor y una alimentación positiva de pequeña magnitud entre base y emisor (figura 2B). Cuando esto sucede y la polarización de base es inferior a la tensión de ruptura del diodo formado entre base y emisor, la tensión entre colector y emisor forma un campo eléctrico considerable en el interior del dispositivo; pero como se enfrenta a una estructura semejante a un diodo invertido, no puede haber un flujo de corriente entre el colector y el

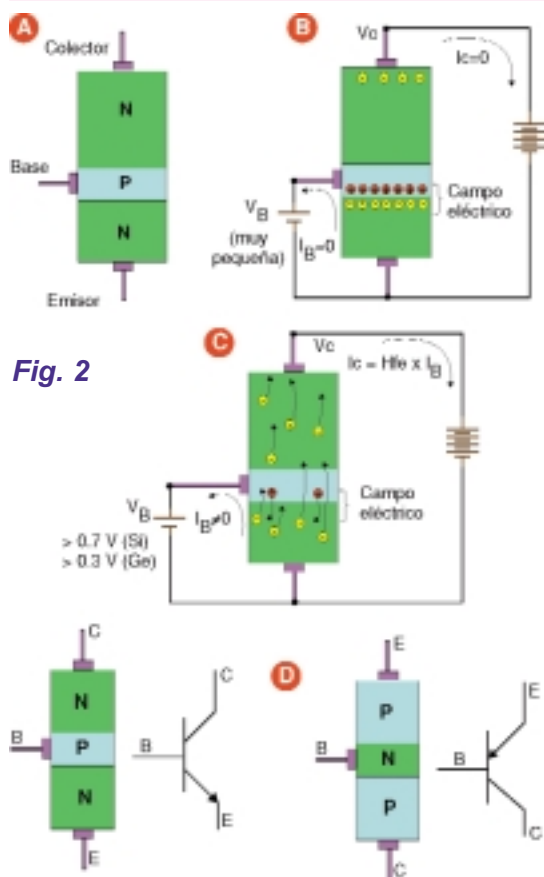


Fig. 2

emisor. Sin embargo, se tiene una condición tal de excitación de los electrones y huecos en el dispositivo, que bastaría con cualquier impulso externo para que el conjunto entrara en conducción.

Este impulso proviene justamente de la corriente aplicada en la base, misma que se dispara al momento en que la tensión aplicada en la base supera el punto de ruptura antes mencionado; entonces, la corriente que circula entre base y emisor provoca una avalancha de electrones entre colector y emisor. Pero esta avalancha no es desordenada, sino que depende muy estrechamente de la cantidad de electrones que circulen a través de la base (figura 2C); de hecho, una de las características principales de un transistor es un **factor de ganancia de corriente**, el cual indica cuántas veces será amplificada la corriente de la base en el colector. A los fines prácticos, esto significa que el transistor amplifica por un factor H_{fe} la corriente de su entrada.

La estructura NPN no es la única que se ha desarrollado, sino que también existen transistores con una **ligadura negativa**; esto es, formados por capas alternas de material P, N y P. El

comportamiento de tales dispositivos resulta prácticamente idéntico al anterior, sólo varía el sentido de las tensiones de polarización aplicadas en los terminales. Vea en la figura 4D la simbología con que se identifica a los transistores bipolares tipo NPN y PNP.

Ya desde fines de los 50 se advertía que la miniaturización de los transistores podía alcanzar niveles extraordinarios. Precisamente, en 1958 en los laboratorios **Fairchild** por primera vez se logró algo que parecía imposible: en la superficie de un bloque de silicio se grabaron varios dispositivos a la vez, conectados entre sí para realizar un trabajo en conjunto, y se introdujo este cristal semiconductor en un encapsulado único, de tal manera que se podía manejar como un bloque funcional. Fue así como nacieron los circuitos integrados, siguiente paso en la evolución de la tecnología electrónica.

Más adelante, las técnicas de fabricación de cristales de silicio mejoraron, la producción de máscaras de grabado se depuró y se desarrollaron nuevos e ingeniosos métodos para el dopado de los materiales semiconductores. Fue posible, entonces, fabricar circuitos integrados mediante un proceso de fotograbado, en el que se tiene una delgada oblea de silicio sobre la cual se proyectan las sombras de unas máscaras donde vienen grabadas las delgadas pistas que posteriormente se convertirán en las terminales de los transistores.

Utilizando métodos fotoquímicos se aprovechan las sombras para **sembrar** impurezas en el sustrato semiconductor, y al ir apilando capas alternativas de cristales tipo N y tipo P, finalmente se obtiene una amplia va-

riedad de dispositivos, que pueden ir desde diodos hasta transistores de efecto de campo. Gracias a ello, el transistor pudo ser reducido hasta alcanzar la dimensión de unas cuantas micras, es decir, una milésima de milímetro.

Cabe hacer la aclaración de que, para que estos circuitos sean capaces de realizar cálculos matemáticos complejos en fracciones de segundo, se aprovecha una característica muy especial de los transistores: su capacidad de funcionar como **llaves** o interruptores de corriente o tensión; esto es, un transistor puede presentar dos estados básicos: uno de conducción y otro de no conducción. A esta aplicación de los transistores se le denomina **electrónica digital**.

TRANSISTORES CONTENIDOS EN OBLEAS DE SILICIO

SURGEN LOS MICROPROCESADORES

Intel es la empresa pionera en la fabricación de microprocesadores. Fue fundada en 1968 por **Gordon E. Moore**, **Andrew Grove** y **Ted Hoff**, quienes previamente habían trabajado para IBM y/o Fairchild y, por lo tanto, tenían experiencia en la fabricación en serie de circuitos integrados, lo que les permitió manufacturar los primeros **chips** de memoria RAM. En 1970, una firma japonesa fabricante de calculadoras electrónicas (Busicom) los contactó para que desarrollaran trece nuevos circuitos integrados que serían el corazón de su nueva línea de modelos.

Enfrentados a este compromiso, los ingenieros de Intel advirtieron que no tendrían el tiempo suficiente para desarrollar los trece circuitos individuales; pero a dos de sus fundadores e investigadores más brillantes (Ted Hoff y Gordon E. Moore), se les ocurrió la idea de crear un núcleo común que sirviera a los trece modelos por igual; y los pequeños cambios que atenderían a las particularidades de cada modelo se grabarían en una memoria **ROM independiente**, en forma de un programa de instrucciones.

Este circuito de propósito general fue el primer microprocesador de la historia; mas los derechos de comercialización no pertenecían a Intel, pues todo el diseño se había hecho por encargo de Busicom. Sin embargo, la fortuna le fue favorable a Intel, ya que en poco tiempo Busicom se vio en serias dificultades financieras y

Asociación de Resistencias - Capacitores

le vendió los derechos de explotación comercial del circuito que había salido de sus laboratorios. Surge así, en 1971, el primer microprocesador de venta al público: el Intel 4004, un dispositivo que podía manejar palabras de 4 bits de longitud y que estaba construido a partir de un circuito integrado de 2.300 transistores.

Agrupar millones de transistores bipolares en un pequeño bloque de silicio que apenas rebasa el área de una uña, requirió de profundas investigaciones en el ámbito de los semiconductores.

FAMILIAS MOS y MOSFET

Los transistores que se utilizan en la construcción de circuitos integrados extremadamente complejos, como microprocesadores o bloques de memoria, son del tipo semiconductor metal óxido o MOS (figura 3). Estos transistores tienen dos regiones principales: la fuente (*source*) y el drenado (*drain*); como en este último hay electrones en abundancia, se dice que los transistores son también del tipo N. Entre la fuente y el drenado se encuentra una región del tipo P en la que faltan muchos electrones; como ya se dijo, a estas regiones se les llama "huecos".

En su parte superior, el sustrato de silicio tiene una capa de dióxido de silicio aislante; a su vez, la parte superior es un metal que corresponde a la compuerta (*gate*). Precisamente, de la anterior combinación de un metal con un óxido se deriva el nombre de **semiconductor metal óxido**. Cuando un voltaje positivo es aplicado en la compuerta de metal, se produce un campo eléctrico que penetra a través del aislante hasta el sustrato. Este campo atrae electrones hacia la superficie del sustrato, justo debajo del aislante, que permite que la corriente fluya entre la fuente y el drenado. Dependiendo de la magnitud de la tensión aplicada en la compuerta,

menor o mayor será el "canal" conductor que se abra entre drenaje y fuente, de modo que tendremos un comportamiento idéntico al de un transistor tradicional, pero con la diferencia de que ahora la corriente de salida es controlada por voltaje, no por corriente.

La estructura tan sencilla de este tipo de transistores permitió fabricar, mediante avanzadas técnicas fotoquímicas y el uso de dispositivos ópticos muy sofisticados, transistores de dimensiones francamente inconcebibles. En el mundo de los microprocesadores circula casi como un acto de fe, un principio que hasta la fecha se ha cumplido casi puntualmente: **la ley de Moore**, según la cual cada aproximadamente 18 meses los circuitos integrados duplican la cantidad de transistores que utilizan, al tiempo que también multiplican por 2 su potencia de cómputo.

TRANSISTORES DE ALTAS POTENCIAS

Otra vertiente en el desarrollo de los transistores, paralela a la miniaturización, ha sido el manejo y control de grandes magnitudes de energía. Para ello, se diseñaron transistores y, en general, semiconductores de *switching* que son capaces de manejar elevadas potencias.

Los transistores de este nuevo tipo, llamados **transistores bipolares de compuerta aislada** (IGBT), son del tamaño de una estampilla postal y pueden agruparse para manejar incluso 1.000 amperes de corriente en rangos de hasta varios miles de volts. Lo más importante, sin embargo, es que los dispositivos **IGBTs** pueden conmutar esas corrientes con una gran velocidad.

FUTURO DEL TRANSISTOR

Los transistores se han producido en

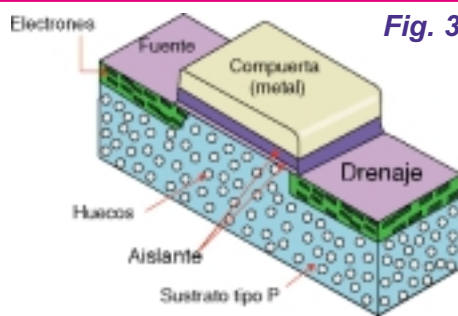


Fig. 3

tales cantidades hasta la fecha, que resultan muy pequeños y baratos; a pesar de ello, son varias las limitaciones físicas que han tenido que superarse para que el tamaño de estos dispositivos continúe reduciéndose.

Asimismo, puesto que la tarea de interconectar elementos cada vez más diminutos puede volverse prácticamente imposible, los investigadores deben considerar también el tamaño del circuito. Si los transistores se someten a fuertes campos eléctricos, éstos pueden afectar en varias formas el movimiento de los electrones y producir lo que se conoce como efectos cuánticos.

En el futuro, el tamaño de los transistores puede ser de tan sólo algunos cientos de angstrom (1 angstrom = una diezmilésima de micra); por esto mismo, la presencia o ausencia de algunos átomos, así como su comportamiento, será de mayor importancia.

Al disminuirse el tamaño, se incrementa la densidad de transistores en un *chip*; entonces éste aumenta la cantidad de calor residual despedido. Además, tomando en cuenta que por su reducido tamaño los elementos del circuito pueden quedar por debajo del rango en que se desenvuelve la longitud de onda de las formas de radiación más comunes, existen métodos de manufactura en riesgo de alcanzar sus máximos límites. Finalmente, podemos señalar que la revolución continúa y que, tal como ha sucedido en los últimos 50 años, seguiremos viendo progresos

El Mundo de la

Electrónica

**TV
AUDIO
VIDEO**



N S

MAGNETISMO

Brújula (se orienta según el campo magnético terrestre)



La aguja apunta hacia el sur magnético que es el norte geográfico.



Polo sur magnético

Polo sur geográfico

Regla de la Mano Izquierda



F FUERZA

B CAMPO

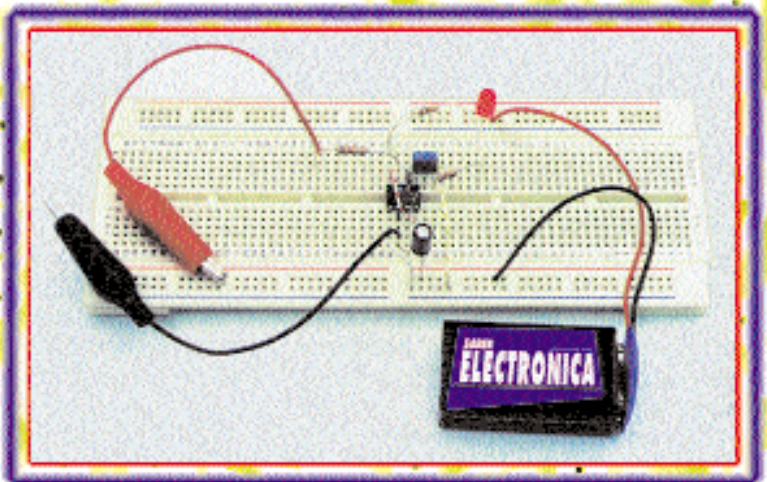
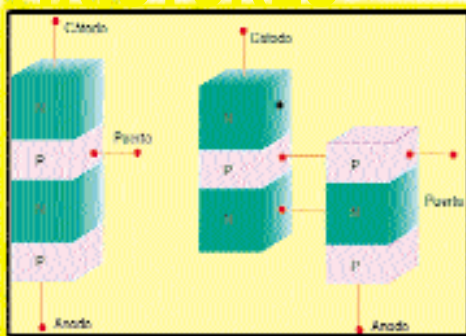
V VELOCIDAD



Galvanómetro

LOS COMPONENTES EN CORRIENTE ALTERNA

TIRISTORES



MICROPROCESADORES

Enciclopedia Visual de la Electrónica

INDICE DEL CAPITULO 5

MAGNETISMO E INDUCTANCIA MAGNETICA

El efecto magnético.....	67
Campo eléctrico y campo magnético.....	67
Propiedades magnéticas de la materia.....	69
Cálculos con fuerzas magnéticas.....	69
Dispositivos electromagnéticos.....	70
Electroimanes y solenoides.....	70
Relés y Reed-relés.....	70
Los galvanómetros.....	71
Los inductores.....	71

LOS COMPONENTES DE CORRIENTE ALTERNA

Corriente continua y corriente alterna.....	72
Representación gráfica de la corriente alterna.....	75

Reactancia.....	75
Reactancia capacitiva.....	76
Fase en el circuito capacitivo.....	77
Reactancia inductiva.....	77
Fase en el circuito inductivo.....	78
¿Qué es una señal?.....	78

TIRISTORES Y OTROS DISPOSITIVOS DE DISPARO

Los tiristores.....	78
Rectificador controlado de silicio.....	78
Interruptor controlado de silicio.....	79
FotoSCR.....	79
Diodo de cuatro capas.....	79
SUS, TRIAC, DIAC, SBS, SIDAC, UJT.....	80

Capítulo 5

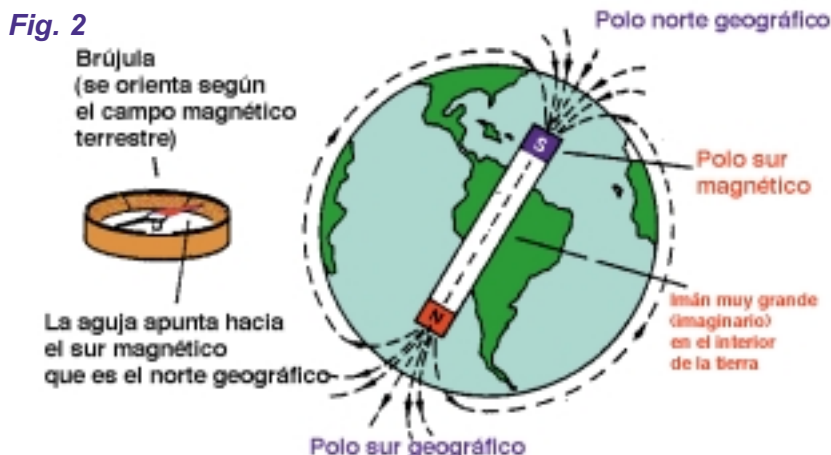
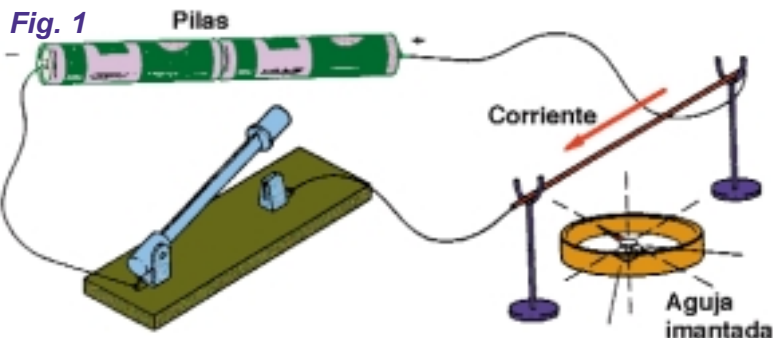
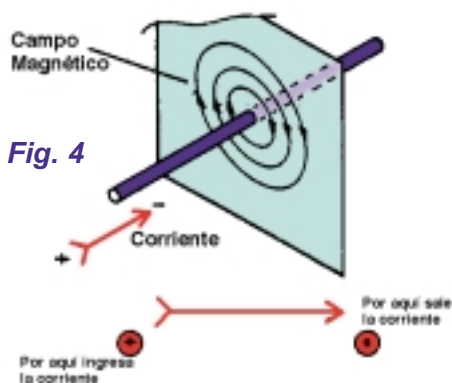
Magnetismo e Inductancia Magnética

EL EFECTO MAGNÉTICO

Un profesor dinamarqués de la escuela secundaria llamado Hans Christian Oersted observó que colocando una aguja imantada cerca de un alambre conductor, cuando se establecía la corriente en el conductor, la aguja se desplazaba hacia una posición perpendicular al alambre, como se muestra en la figura 1. Como seguramente sabrán los lectores, las agujas imantadas procuran adoptar una posición determinada según el campo magnético terrestre, dando origen a la brújula (figura 2).

El movimiento de la aguja imantada sólo revelaba que las corrientes eléctricas producen campos magnéticos y también facilitaba el establecimiento exacto de la orientación de este campo, o sea su modo de acción. Como en el caso de los campos eléctricos, podemos representar los campos magnéticos por líneas de fuerza. En un imán, como se muestra en la figura 3, esas líneas salen del polo norte (N) y llegan al polo sur (S).

Para la corriente eléctrica que fluye en el conductor, verificamos que las líneas de fuerza lo rodean, tal como muestra la figura 4. Representando con una flecha la corriente que fluye del positivo hacia el negativo, tenemos una regla que permite



determinar cómo se manifiesta el campo. Con la flecha entrando en la hoja (corriente entrando) las líneas son concéntricas, con orientación en el sentido horario (sentido de las agujas del reloj). Para la corriente saliente, las líneas se orientan en el sentido antihorario (figura 5). El hecho importante es que dispo-



niendo conductores recorridos por corrientes de formas determinadas, podemos obtener campos magnéticos muy fuertes, útiles en la construcción de diversos dispositivos.

CAMPO ELÉCTRICO Y CAMPO MAGNÉTICO

Si tenemos una carga eléctrica, alrededor de esta carga existe un campo eléc-

trico cuyas líneas de fuerza se orientan como muestra la figura 6. Una carga eléctrica en reposo (detenida) posee sólo campo eléctrico. Sin embargo, si se pone en movimiento una carga eléctrica, lo que tendremos será una manifestación de fuerzas de naturaleza diferente: tendremos la aparición de un campo magnético. Este campo tendrá líneas de fuerza que envuelven la trayectoria de la carga, como muestra la figura 7. El campo eléctrico puede actuar sobre cualquier tipo de objeto, provocará atracción o repulsión según



Corriente entrando



Corriente saliendo

dos dotan al material de propiedades magnéticas. Tenemos así, cuerpos denominados imanes permanentes. Un imán permanente tiene dos polos, denominados NORTE (N) y SUR (S), cuyas propiedades son semejantes a las de las cargas eléctricas.

propiedades que caracterizan un imán.

Entre los artificiales destacamos el Alnico, que es una aleación (mezcla) de aluminio, níquel y cobalto, que no tiene magnetismo natural hasta que es establecido por procesos que veremos posteriormente. Los materiales que podemos convertir en imanes son llamados materiales magnéticos; podemos magnetizar un material que lo admita orientando sus imanes elementales. Para ello existen diversas técnicas:

a) Fricción: de tanto usar una herramienta, una tijera, por ejemplo, los imanes elementales se orientan y ésta pasa a atraer pequeños objetos de metal, o sea, se vuelve un imán (figura 9). Frotando una aguja contra un imán, orienta sus imanes elementales y retiene el magnetismo.

Advierta que existen cuerpos que no retienen el magnetismo, como por ejemplo el hierro.

Si apoyamos un imán contra un hierro, éste se magnetiza, como muestra la figura 10, pero en cuanto lo separamos del imán, el hierro pierde la propiedad de atraer pequeños objetos, debido a que sus imanes elementales se desorientan.

b) Mediante un campo intenso: colocando un objeto magnetizable en presencia de un campo magnético fuerte, podemos orientar sus imanes elementales y, de esta manera, convertirlos en un imán. El

campo de una bobina puede ser suficiente para esto. Del mismo modo que los materiales pueden retener magnetismo, también pueden perderlo bajo ciertas condiciones.

Si calentamos un trozo de magnetita, o sea un imán permanente natural, a una temperatura de

585°C, el magnetismo desaparece. Esta temperatura es conocida con el nombre de Punto Curie y varía de acuerdo a los diferentes materiales.

Podemos decir que polos de nombres diferentes se atraen (Norte atrae a Sur y viceversa).

Polos del mismo nombre se repelen (Norte repele a Norte y Sur repele a Sur).

Los imanes permanentes pueden ser naturales o artificiales. Entre los naturales destacamos la magnetita, una forma de mineral de hierro que ya se obtiene en los yacimientos con las

Fig. 6



Campo magnético de una carga positiva



Campo magnético de una carga negativa

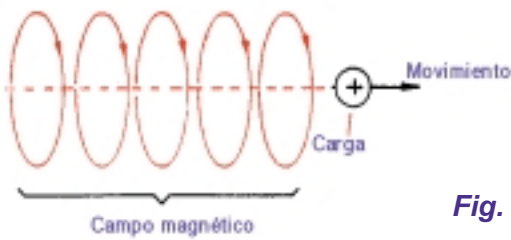


Fig. 7

su naturaleza. El campo magnético sólo actúa atrayendo o repeliendo, sobre materiales de determinada naturaleza de forma más eminente. Teniendo en cuenta el origen del campo magnético podemos explicar fácilmente por qué ciertos cuerpos son imanes y por qué una corriente puede actuar sobre una aguja magnetizada.

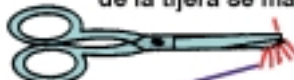
En un cuerpo común los electrones que se mueven alrededor de los átomos lo hacen de manera desordenada, de modo que el campo producido no aparece.

Sin embargo, podemos orientar estos movimientos de modo de concentrar el efecto de una manera determinada, como muestra la figura 8.

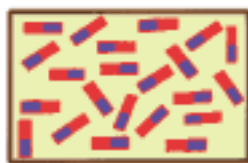
Obtenemos, entonces, "imanes elementales", cuyos efectos suma-

Fig. 9

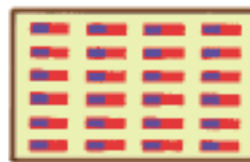
Debido al uso, la punta de la tijera se magnetiza



Afiladores atraídos "por el imán" que se ha formado

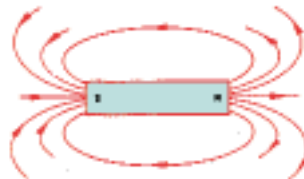


Imanes elementales desorientados (cuerpo desmagnetizado)



Imanes elementales orientados (cuerpo magnetizado)

Fig. 8



Campo Magnético de un imán (Las líneas salen del polo norte y van hacia el polo sur)

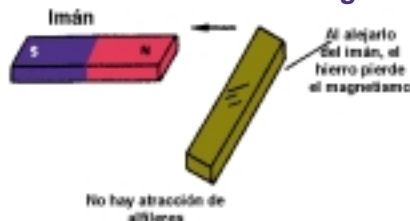
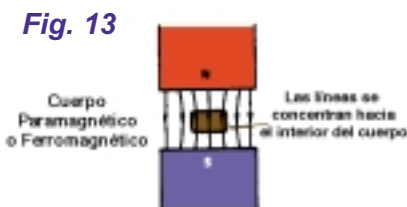
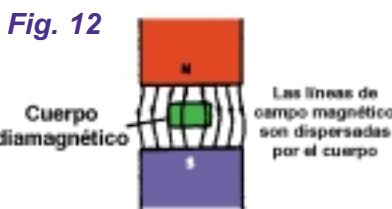
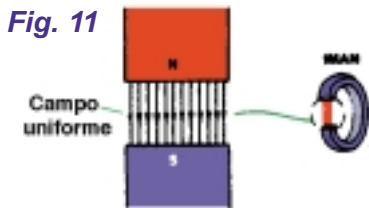


Fig. 10

PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE LA MATERIA

Imaginemos los polos de un imán permanente, como muestra la figura 11. Tenemos un campo uniforme, dado que las líneas de fuerza son paralelas (dentro del espacio considerado). Pues bien, colocando diversos tipos de materiales entre los polos del



imán, podemos observar lo siguiente:

a) El material "dispersa" las líneas de fuerza del campo magnético, como muestra la figura 12.

El material en cuestión se llama "diamagnético", tiene una susceptibilidad magnética menor que 1 y presenta la propiedad de ser ligeramente repelido por los imanes (cualquiera de los dos polos). Entre los materiales diamagnéticos citamos el COBRE, el VIDRIO y el BISMUTO.

b) El material concentra las líneas de fuerza de un campo magnético, como muestra la figura 13.

Si la concentración fuera pequeña (susceptibilidad ligeramente mayor que 1), diremos que la sustancia es paramagnética, como por ejemplo el aluminio, el aire, el platino y el tungsteno.

Si bien existe una fuerza de atracción de los imanes por estos materiales, la misma es muy pequeña para ser percibida.

En cambio, si la concentración de las líneas de fuerza fuera muy grande (susceptibilidad mucho mayor que 1), entonces el material se denomina "ferromagnético", siendo atraído fuertemente por el imán. El nombre mismo nos está diciendo que el principal material de este grupo es el hierro.

Los materiales ferromagnéticos son usados para la fabricación de imanes y para la concentración de efectos de los campos magnéticos.

Los materiales diamagnéticos se utilizan en la construcción de blindajes, cuando deseamos dispersar las líneas de fuerza de un campo magnético.

CÁLCULOS CON FUERZAS MAGNÉTICAS

Si colocamos una carga eléctrica bajo la acción de un campo eléctrico, la misma queda sujeta a una fuerza; esta fuerza puede ser calculada mediante:

$$F = q \cdot E$$

donde:

F es la intensidad de la fuerza (N).
q es el valor de la carga (C) y E es la intensidad del campo (N/C).

Para el caso del campo magnético, podemos definir una magnitud equivalente a E (Vector de intensidad de Campo), que se denomina Vector de Inducción Magnética, el cual es representado por la B (figura 14). La unidad más común para medir el Vector Inducción Magnética es el Tesla (T), pero también encontramos el Gauss (G).

$$1 T = 10^4 G$$

El lanzamiento de una carga eléctrica en un campo eléctrico o en un campo magnético es la base de dispositivos electrónicos muy

Fig. 14



\vec{B} = Vector inducción en el punto P

importantes. Así, podemos dar como ejemplo el caso de un tubo de rayos catódicos, (tubo de rayos catódicos de TV, por ejemplo) en el que la imagen está totalmente determinada por fuerzas de naturaleza eléctrica y magnética que determinan la trayectoria de los electrones que inciden en una pantalla fluorescente (figura 15). Es, por lo tanto, necesario que el técnico electrónico sepa hacer algunos cálculos elementales relativos al comportamiento de cargas en campos eléctricos y también magnéticos.

a) Fuerza en un campo eléctrico

Suponiendo dos placas paralelas, como muestra la figura 16, sometidas a una tensión V (+Ve; -V), entre ellas existe un campo eléctrico uniforme cuya intensidad es:

$$E = V/d$$

(V = Potencial y d = distancia)

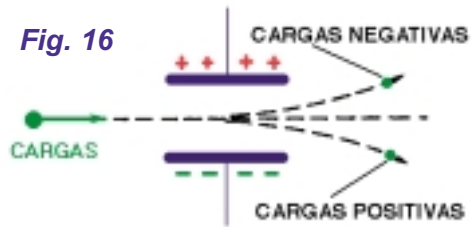
Si entre las placas lanzamos una carga eléctrica, un electrón, o una carga, ésta quedará sujeta a una fuerza que depende de dos factores: su polaridad y su intensidad. Si la carga fuera positiva, la fuerza se ejercerá en el sentido de empujarla hacia la placa negativa y, si fuera negativa, al contrario. La intensidad de la fuerza estará dada por:

$$F = q \cdot E$$

Donde:

Fig. 15





F es la fuerza en Newtons.
q es la fuerza en Coulombs.
E es la intensidad de campo en V/m o N/C.

En el caso de un campo magnético, el comportamiento de la carga lanzada es un poco diferente.

De hecho, sólo existirá la fuerza si la carga estuviera en movimiento. Una carga estática no es influenciada por campos magnéticos.

b) Fuerza en campos magnéticos

La fuerza a que queda sometida una carga eléctrica lanzada en un campo magnético es denominada Fuerza de Lorentz y tiene las siguientes características:

Dirección perpendicular al Vector B y al vector v (velocidad), la Intensidad está dada por la fórmula:

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen } \zeta$$

Donde:

- F** = fuerza en Newtons
- q** = carga en Coulombs
- v** = velocidad en m/s
- ø** = ángulo entre V y B

Sentido dado por la regla de la mano izquierda de Fleming, como muestra la figura 17.

Representando el campo (B) con el dedo índice y la velocidad (v) con el dedo del medio, la fuerza que actuará sobre la carga estará dada por la posición del pulgar (F).

Si la carga fuera negativa, se invierte el sentido de F. Observe que si lanzamos una carga paralela a las líneas de fuerza del campo magnético (B paralelo a v), entonces, el seno ø será nulo. En estas condiciones, no habrá ninguna fuerza que actúe sobre la carga.

DISPOSITIVOS ELECTROMAGNÉTICOS

Sabemos que cuando una corriente recorre un conductor rectilíneo, el movimiento de las cargas es

responsable de la aparición de un campo magnético. Ese campo magnético tiene la misma naturaleza que el que se produce con una barra de imán permanente y puede atraer o repeler objetos de metal.

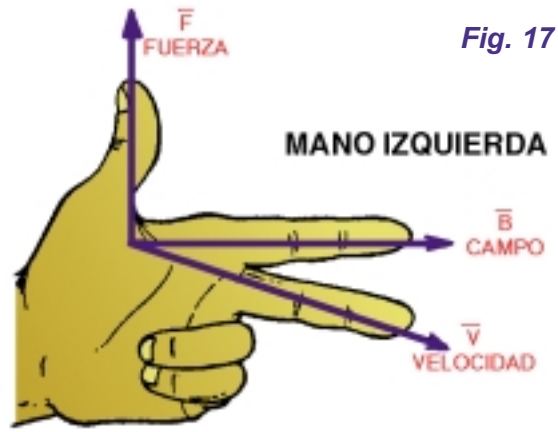
En el caso del campo producido por una corriente en un conductor, no sólo tenemos el control de su intensidad sino que también podemos intervenir en la "geometría" del sistema, darle formas y disposiciones mediante las que se puede aumentar, dirigir y difundir las líneas de fuerza del campo según se desee. Hay varias maneras de lograr eso, lo que nos lleva a la elaboración de distintos dispositivos de aplicación en electrónica.

ELECTROIMANES Y SOLENOIDES

El campo creado por una corriente que recorre un conductor rectilíneo es muy débil. Se necesita una corriente relativamente intensa, obtenida de pilas grandes o de batería, para que se observe el movimiento de la aguja imantada. Para obtener un campo magnético mucho más intenso que éste, con menos corriente y a partir de alambres conductores, pueden enrollarse los alambres para formar una bobina o solenoide, como muestra la figura 18.

Cada vuelta de alambre se comporta como un conductor separado y, entonces, el conjunto tiene como efecto la suma de los efectos de las corrientes. De esta manera, en el interior del solenoide tenemos la suma de los efectos magnéticos.

En la figura 19 se grafica la forma de obtener el sentido del campo magnético generado cuando se conoce la polaridad de la corriente. Se observa que la bobina se comporta como un imán en forma de barra con los polos en los extremos. Cualquier material ferroso, en las cercanías de la bobina, será atraído por el campo magnético que ésta genera.

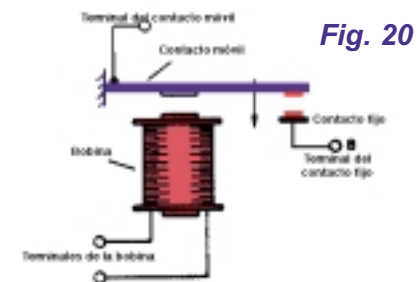
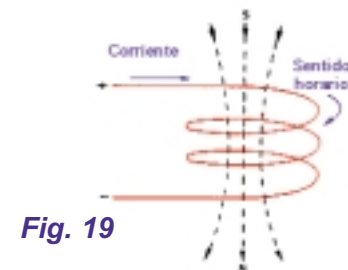
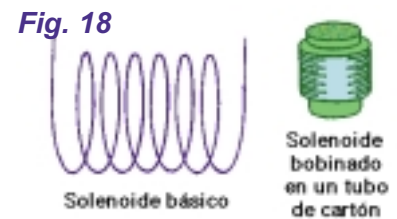


Si en el interior de la bobina colocamos un núcleo de hierro, el campo magnético se incrementa, y puede atraer a otros objetos ferrosos más pesados.

Al conjunto así formado se lo llama electroimán y posee innumerables aplicaciones, por ejemplo en grúas, válvulas en lavarropas, maquinarias textiles, etc.

RELES Y REED-RELS

La estructura de un relé se muestra en la figura 20. Se puede apreciar que en las cercanías del electroimán recién estudiado se coloca un juego de contactos eléctricos. En el caso



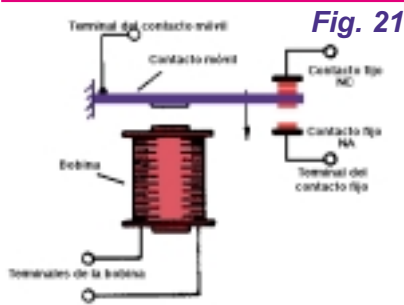


Fig. 21

las chispas que se producen durante el cierre y apertura de los contactos no les causan daños (no se queman).

Con eso, contactos relativamente chicos pueden soportar corrientes intensas y, además, la operación es relativamente alta en relación con la distancia que separa a los contactos en la posición "abierto". El "reed-switch", que es un interruptor de láminas, se acciona, en condiciones normales, por la aproximación del imán. Una aplicación importante de este componente está en los sistemas de alarma, en los que la apertura de una puerta o una ventana hace que un imán abra o cierre los contactos de una reed-switch activando la alarma.

Fig. 22



de la figura, cuando no circula corriente por el solenoide (bobina), los contactos permanecen abiertos. Cuando la bobina es energizada, el campo magnético atrae el contador móvil que se "pega" con el fijo, y cierra, de esta manera, algún circuito eléctrico.

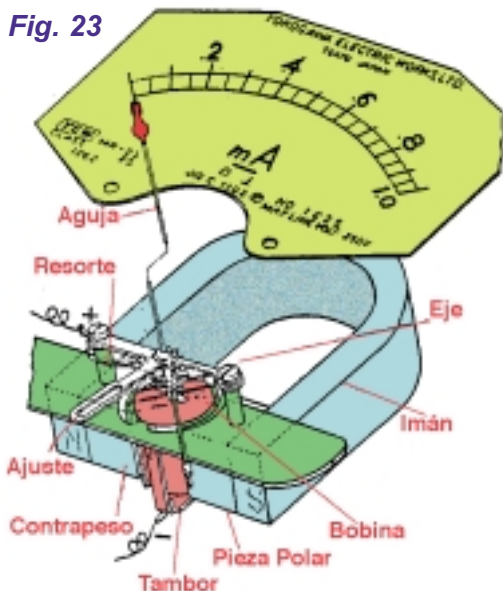
En la figura 21 se da un ejemplo de relé con 3 contactos; el principio de funcionamiento es el mismo, sólo que ahora existe un contacto normal cerrado (bobina sin energía) y otro normal abierto. Otro tipo de relé es el llamado "reed-rel", cuyo aspecto funcional se ve en la figura 22.

Se tiene un interruptor de láminas encerradas en un tubo de vidrio lleno de gas inerte. Con el gas inerte,

En el caso de un reed-relé, el accionamiento de los contactos lo efectúa el campo magnético de un solenoide que envuelve la ampolla. Con muchas espiras de alambre barnizado pueden obtenerse relés ultrasensibles, capaces de cerrar los contactos con corrientes de bobina de pocos miliamperes. La corriente de contacto depende exclusivamente del "reed-switch" que se use, pero son típicas las del orden de 100 a 1.000mA. La ventaja principal de este relé, además de la sensibilidad, es la posibilidad de montaje en un espacio muy reducido, pues el componente es de pequeñas dimensiones.

LOS GALVAN METROS

Fig. 23



El galvanómetro de bobina móvil o de D'Arsonval es un componente electrónico que utiliza el efecto magnético de la corriente. Se usa este dispositivo para medir corrientes eléctricas para aprovechar justamente el hecho de que el campo magnético y, por consiguiente, la fuerza que actúa con el imán, es proporcional a la corriente que pasa por la bobina. En la figura 23, vemos este componente en forma simplificada. Entre los polos de un imán permanente se coloca una bobina que puede moverse respecto

de dos ejes que sirven también de contactos eléctricos. Resortes espiralados limitan el movimiento de la bobina, el que se hace más difícil cuando se acerca al final del recorrido.

En la bobina se coloca una aguja que se desplaza sobre una escala. Cuando circula corriente por la bobina se crea un campo magnético que interactúa con el campo del imán permanente, surgiendo, entonces, una fuerza que tiende a mover el conjunto. El movimiento será tanto mayor cuanto más intensa sea la corriente.

Podemos, así, calibrar la escala en función de la intensidad de la corriente. Son comunes los galvanómetros que tienen sus escalas calibradas con valores máximos, llamados también "fondo de escala", entre 10µA (microamperes) y 1mA (miliampere). Los galvanómetros pueden formar parte de diversos instrumentos que miden corrientes (miliamperímetros o amperímetros), que miden tensiones (voltímetros, resistencias ohmímetros), o que miden todas las magnitudes eléctricas (multímetros).

LOS INDUCTORES

Podemos reforzar en forma considerable el campo magnético creado por una corriente que circula en

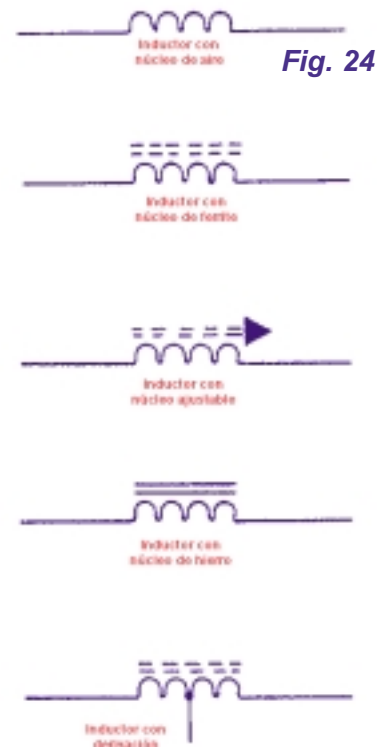


Fig. 24

Magnetismo e Inductancia Magnética

un conductor, si enrollamos el conductor para formar una bobina. La inductancia de una bobina es también mucho mayor que la de un conductor rectilíneo. Tenemos, entonces, componentes llamados inductores (que aparecen en los diagramas representados por espirales con letras "L") que presentan inductancias, o sea una inercia a las variaciones bruscas de la corriente (figura 24). Los inductores pueden tener diversas características de construcción según la aplicación a la que se destinan. Tenemos, entonces, los inductores de pequeñas inductancias, formados por pocas espiras de alambre, con o sin un núcleo de material ferroso en su interior. La presencia del material ferroso aumenta la inductancia, multiplicada por un factor que puede ser bastante grande.

La unidad de inductancia es el henry, H en forma abreviada.

El múltiplo más usado es:

-El milihenre (mH) que vale 0,001 henry, o mil sima parte del Henry.

Los pequeños inductores para aplicaciones en frecuencias elevadas tienen inductancias que varían entre pocos microhenry y millihenry,

mientras que los que se usan para frecuencias medias y bajas pueden tener inductancias hasta de algunos henrys.

La oposición o inercia que presenta el inductor a las variaciones de intensidad de la corriente depende de la cantidad de líneas de fuerza que cortan el conductor o espiras de la bobina.

Denominamos flujo magnético, representado por Φ , al número de líneas de fuerza que atraviesan una cierta superficie (S). Calculamos el flujo en una espira de la bobina mediante la fórmula:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

En la que:

Φ es la intensidad del flujo magnético que se mide en weber, cuyo símbolo es Wb.

B es la intensidad de la inducción magnética medida en Tesla (T).

S es la superficie rodeada por la espira, en metros cuadrados.

Si tuviéramos una bobina con n espiras, basta multiplicar el segundo miembro de la fórmula por n:

$$\Phi = n \cdot B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Si en el interior del solenoide o bobina se colocara un núcleo de material ferroso, debemos multiplicar la permeabilidad del material por el resultado.

Partiendo de esta fórmula del flujo se puede, fácilmente, llegar a la fórmula de la inductancia propiamente dicha, que será válida para solenoides en los que la longitud no sea mucho mayor que el diámetro.

Tenemos, entonces:

$$L = \frac{1,257 \cdot n^2 \cdot S \cdot 10^{-8}}{l}$$

En la que:

L es la inductancia en henry (H).

n es el número de espiras del solenoide.

l es la longitud del solenoide en centímetros.

S es la superficie rodeada por una espira, en centímetros cuadrados.

Los valores 1,257 y 10^{-8} son constantes que dependen de la permeabilidad magnética del medio, en este caso del aire, además de las unidades de longitud y superficie que se utilicen.

Los Componentes en Corriente Alterna

La corriente que tomamos de la línea es alterna y es muy diferente de la que obtenemos de pilas o baterías. Pero *¿cuál es la diferencia y de qué modo influye en el comportamiento de los distintos componentes que estudiamos hasta el momento?*

Si conectamos un resistor, un cable conductor o una lámpara a una pila o batería, se establecerá una corriente que es un flujo de electrones libres. Esos electrones van a dirigirse del polo negativo (que los tiene en exceso) al polo positivo (que los tiene en defecto).

Suponiendo que la resistencia del resistor, conductor o lámpara no varíe en el transcurso del tiempo, el flujo de electrones será constante como ilustra el gráfico de la figura 1.

Esta es una corriente continua porque: **"Circula siempre en el mismo sentido y tiene intensidad constante"**. Una corriente continua se representa en forma abreviada por CC (corriente continua) o DC (direct current). Pero existe otro tipo de corriente.

Vamos a suponer que se establezca una corriente en un conductor, resistor u otra clase de carga, de manera que su intensidad no es constante sino que varía cíclicamente, es decir, siempre de la misma manera. Una corriente que cambia en forma constante su sentido de circulación

y varía su intensidad es una corriente alterna.

A nosotros va a interesarnos al principio la corriente alterna sinusoidal, que explicaremos enseguida.

Un conductor que corte las líneas de fuerza de un campo magnético, manifestará en sus extremos una fuerza electromotriz que puede calcularse mediante la expresión:



$$E = B \times L \times \text{sen } \alpha$$

Donde:

E es la fuerza electromotriz

B es el vector inducción magnética

L es la longitud del alambre

α es el ángulo en que el conductor corta las líneas del campo.

Vea que la inducción de una tensión será tanto mayor cuanto mayor sea el ángulo según el que el conductor corta las líneas de fuerza del campo magnético.

Partiendo de ese hecho, vamos a suponer que montamos una espira (una vuelta completa del alambre conductor) de manera de girar dentro del campo magnético uniforme, como se ve en la figura 2.

Un campo magnético uniforme se caracteriza por tener la misma intensidad en todos sus puntos, lo que nos lleva a representarlo por líneas de fuerza paralelas. Vamos a representar esta espira vista desde arriba para comprender con mayor facilidad los fenómenos que se producirán cuando la giramos, como muestra la figura 3.

Partiendo entonces de la posición de la figura 3, hacemos que la espira gire 90° en el sentido indicado, de modo que corte las líneas de fuerza del campo magnético.

En estas condiciones, a medida que la espira "entra" en el campo, el ángulo se va acentuando de manera que al llegar a 90, el valor va desde cero hasta el máximo.

En esta posición, la espira corta el campo en forma perpendicular aunque sólo sea por un instante. Como la tensión inducida depende del ángulo, vemos que en este arco de 90°, el valor va desde 0 hasta el máximo, lo que puede representarse mediante el gráfico de la figura 4. Continuando la rotación de la espira, vemos que entre 90° y 180° tiende a "salir" del campo y se va reduciendo el ángulo según el cual corta las líneas de fuerza del campo magnético. La tensión inducida en estas condiciones cae hasta el mínimo en este arco.

Vea que realmente la tensión cae a cero pues a 180°, aunque sólo por un instante, el movimiento de la espira es paralelo a las líneas de fuer-

za y entonces no hay inducción.

En la figura 5 se tiene la representación gráfica de lo que ocurre con el valor de la tensión en estos arcos de 90° (0° a 90° y 90° a 180°).

Recorriendo ahora 90° más, de 180 a 270°, la espira vuelve a "penetrar" en el campo magnético en forma más acentuada pero en sentido opuesto al del arco inicial. Así ocurre la inducción pero la polaridad de tensión en los extremos de la espira se ha invertido, es decir, si tomamos una referencia inicial que lleve a una representación positiva en los 180 grados iniciales, a partir de este punto la representación será negativa como muestra la figura 6.

Igualmente, la tensión asciende, pero hacia valores negativos máximos, hasta llegar en los 270 grados al punto de corte, prácticamente perpendicular aunque sea por un breve instante. En los 90° finales de la vuelta completa, de 270 a 360 grados, nuevamente el ángulo en el que la espira corta las líneas de fuerza, disminuye y la tensión inducida cae a cero.

El ciclo completo de representación de la tensión generada se ve en la figura 7.

Si tuviéramos un circuito externo para la circulación de la corriente y si la resistencia fuera constante, la intensidad dependerá exclusivamente de la tensión). La corriente circulante tendrá entonces las mismas características de la tensión, es decir, variará según la misma curva.

Como la tensión generada está regida por la función seno ($\text{sen } \alpha$) que determina el valor según el ángulo, ya que B y L son constantes, la forma de la onda recibe el nombre de senoide. Se trata, por lo tanto de

Fig. 2

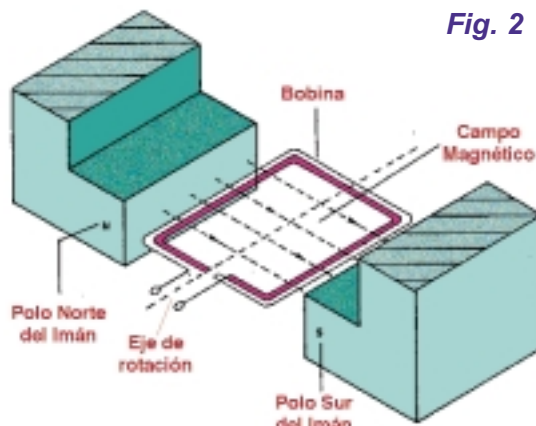


Fig. 3



Fig. 4

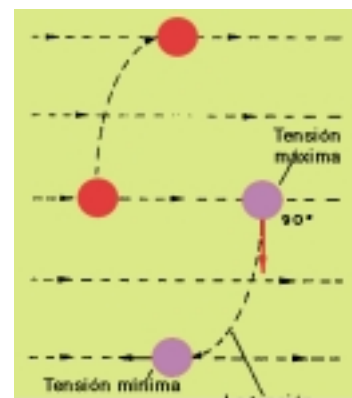
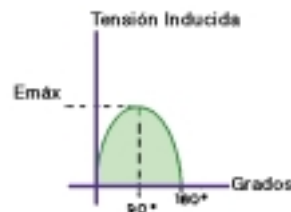


Fig. 5



Magnetismo e Inductancia Magnética

una corriente alterna sinusoidal. Para generar esta corriente alterna sinusoidal se establece una tensión también sinusoidal. Esa tensión, también alterna tiene la misma representación gráfica.

Podemos decir entonces:

"Una tensión alterna produce una corriente alterna que es aquella cuya intensidad varía en forma constante según una función periódica y su sentido se invierte constantemente."

Vea que una "función periódica" es la que se repite continuamente como la senoide que es la misma a cada vuelta de espira (figura 8).

Una corriente alterna se lo puede establecer por una tensión alterna.

El tiempo que la espira tarda en dar una vuelta completa determina un valor muy importante de la corriente alterna, que podemos medir. Este tiempo de una vuelta es el periodo que se representa con T y se mide en segundos.

El número de vueltas que da la espira en un segundo determina otra magnitud importante que es la frecuencia, representada por f y medida en hertz (Hz).

Numéricamente, la frecuencia es la inversa del periodo:

$$T = 1/f$$

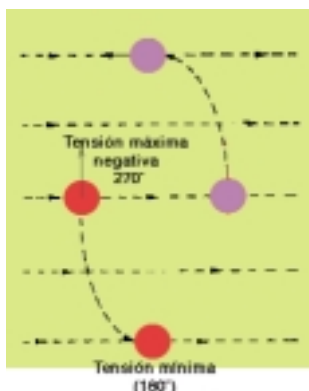
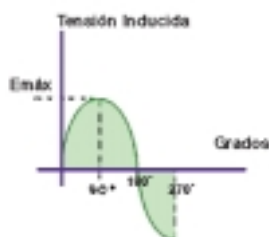


Fig. 6



Los alternadores de las usinas hidroeléctricas (y atómicas) que envían energía eléctrica a nuestras casas, operan con una frecuencia de 50 hertz (50Hz).

Decimos entonces que la corriente alterna obtenida en las tomas de energía tiene una frecuencia de 50 hertz.

Esto significa que en cada segundo, la corriente es forzada a circular 50 veces en un sentido y 50 veces en el opuesto, pues éste es el efecto de la inversión de la polaridad (vea nuevamente la figura 8).

Alimentando una lámpara incandescente común, en cada segundo existen 100 instantes en que la corriente se reduce a cero, pero la lámpara no llega a apagarse por la inercia del filamento que se mantiene caliente. La tensión producida puede variar y es de 220V. No podemos hablar de un valor fijo de tensión o de corriente pues el cambio de la polaridad y del valor es constante.

¿Qué significa entonces 220V?

Si tenemos en cuenta la tensión sinusoidal de la toma de energía de la red, vemos que lo cierto sería hablar de valores instantáneos, es decir: de la tensión que encontramos en cada instante, que depende del instante de cada ciclo considerado. Podemos encontrar tanto un mínimo negativo como un máximo positivo, o cero, según el instante dado.

Es claro que a los efectos prácticos, eso no tiene mucho sentido. Es así que, para medir tensiones y corrientes alternas es preciso establecer una manera que nos dé una idea del efecto promedio o real obtenido. Esto puede entenderse de la siguiente manera:

Si alimentamos una lámpara común con tensión alterna en los instantes en que la corriente circula por el filamento, en un sentido o en otro, se produce el calentamiento y la lámpara se enciende. El efecto es el mismo que tendríamos si la alimentáramos con una tensión continua de determinado valor.

¿Cuál sería ese valor?

Si comparamos el gráfico que representa la circulación de corriente continua por un circuito y el gráfico que representa la circulación de una corriente alterna, la superficie cu-

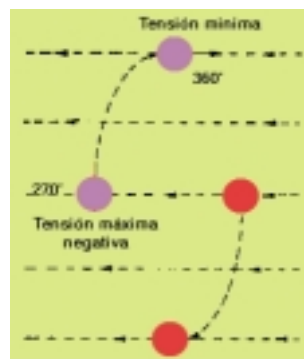
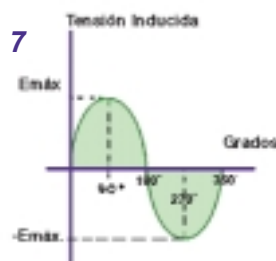


Fig. 7



bierta en un intervalo se relaciona con la cantidad de energía que tenemos a disposición. Entonces nos basta hacer la pregunta siguiente para tener la respuesta a nuestro problema:

¿Cuál debe ser el valor de la tensión continua que nos produce el mismo efecto que determinada tensión alterna?

En la figura 9 vemos que, si la tensión alterna llega a un valor máximo X, el valor que la tensión continua debe tener para producir el mismo efecto se consigue dividiendo X por la raíz cuadrada de 2, o sea: 1,4142. El valor máximo alcanzado en un ciclo (el mínimo también) se llama valor de pico, mientras que el valor que produce el mismo efecto, se llama **valor eficaz o r.m.s. ("root mean square")**. Para la red de 220V, los 220V representan el valor r.m.s. Existen instantes en que la tensión de la red llega a 220V multiplicados por 1,4142 y así obtenemos que el valor pico es 311,12V.

Este valor se logra dividiendo el promedio de todos los valores en cada instante del semiciclo, o sea la mitad del ciclo completo, pues si entran en el cálculo valores negativos, el resultado sería cero (figura 10). Podemos entonces resumir los "valores" en la forma siguiente:

VALOR PICO: es el valor máximo que alcanza la tensión o la corriente

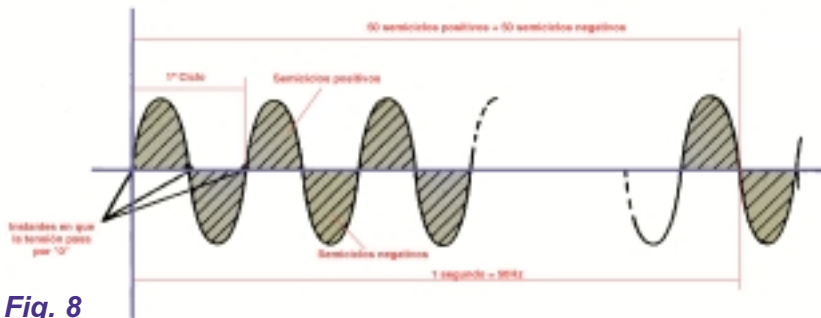


Fig. 8

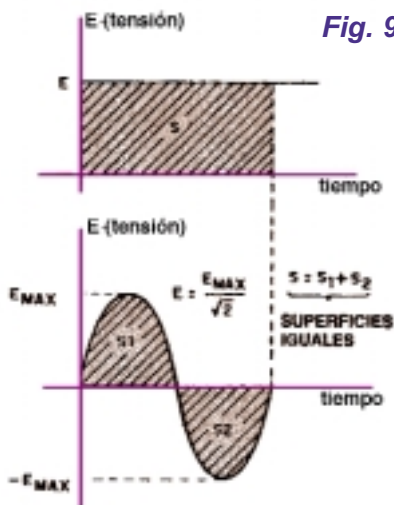


Fig. 9

VALOR MEDIO: obtenemos este valor dividiendo la suma de los valores instantáneos de un semiciclo por su cantidad, o sea: sacamos la media aritmética de los valores instantáneos en un semiciclo.

No podemos hablar de polaridad para una tensión alterna, ya que cambia constantemente. Una corriente de cualquier carga conectada a un generador de corriente alterna invierte su sentido en forma constante. En el caso de la red, sabemos que uno de los polos "produce shock" y el otro, no. Eso nos lleva a las denominaciones de polo vivo y polo neutro.

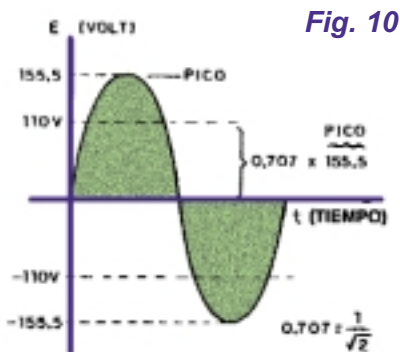


Fig. 10

¿Qué sucede entonces?

Si tenemos en cuenta que el generador de energía de las compañías tiene uno de los cables conectado a tierra, que se usa como conductor de energía, resulta fácil entender lo que ocurre.

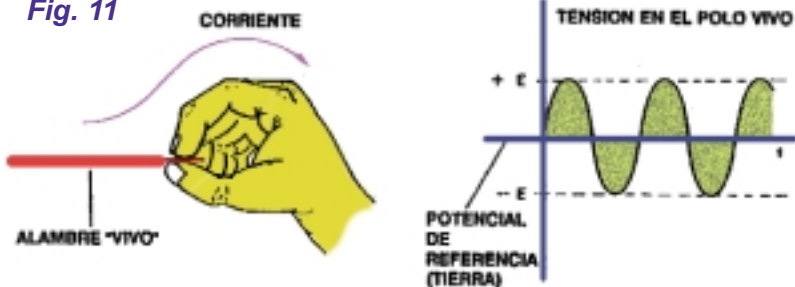
Al estar en contacto con la tierra, cualquier objeto, en cualquier instante, tendrá el mismo potencial del polo generador conectado a tierra que es entonces la referencia. Este es el polo neutro, que tocado por una persona no causa shock porque estando al mismo potencial no hay circulación de corriente.

La tensión varía alrededor del valor del polo de referencia según la sinusoides del otro polo. Es así que en relación al neutro, el otro polo, es decir el polo vivo, puede estar positivo o negativo, 50 veces por segundo. Al

en un ciclo, pudiendo ser tanto negativo como positivo. Es un valor instantáneo, es decir, aparece en un breve instante en cada ciclo de corriente o tensión alternada.

VALOR EFICAZ O R.M.S.: es el valor que debería tener la tensión o corriente si fuese continua para que se obtuvieran los mismos efectos de energía.

Fig. 11



tocar el polo vivo (figura 11), habrá una diferencia de potencial respecto de tierra (variará 50 veces por segundo), pero ella puede causar la circulación de una corriente eléctrica y producir el shock eléctrico.

REPRESENTACION GRÁFICA DE LA CORRIENTE ALTERNA

Los lectores deben acostumbrarse a la representación de fenómenos de naturaleza diversa mediante gráficos.

Cuando se tiene un fenómeno que ocurre de manera dinámica, una magnitud varía en función de otra; por ejemplo, en el caso de la corriente alterna, la intensidad de la corriente o la tensión son las que varían con el tiempo.

Para representar esas variaciones hacemos un gráfico de tensión versus tiempo (V x t) como muestra la figura 12. Colocamos, entonces, en el eje vertical (Y) los valores de tensión, graduamos este eje en la forma adecuada y en el eje horizontal (X) colocamos los valores del tiempo (t), graduamos también el eje en forma adecuada. Después definimos cada punto del gráfico como un par de valores (X e Y), dado por el valor de la tensión en un determinado instante. Para el caso de la tensión alterna, si dividimos el tiempo de un ciclo (1/50 de segundo) en 100 partes, por ejemplo, podemos determinar 100 puntos que unidos darán la curva que representa la forma de onda de esta tensión.

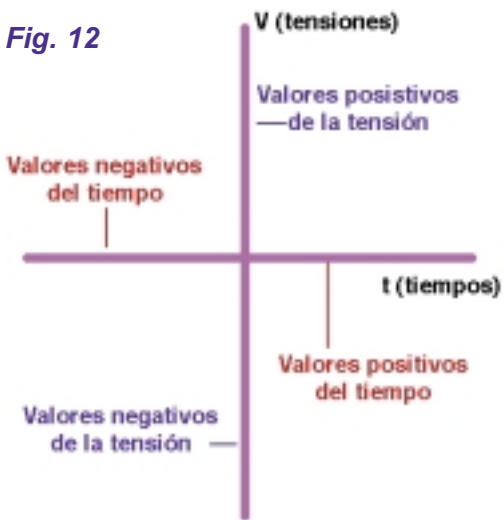
Es claro que el gráfico ideal se obtiene con infinitos puntos pero eso no siempre es posible.

Mientras, por distintos procedimientos podemos tener una aproximación que haga continua la curva y se obtenga así un gráfico (curva) ideal. A partir de esta representación podemos entonces obtener el valor instantáneo de la tensión en cualquier momento y del mismo modo, dado el valor podemos encontrar el instante en que se produce.

REACTANCIA

Los capacitores e inductores presentarán una propiedad denominada

Fig. 12



cuando la corriente se desconecta. Ya estudiamos ampliamente los fenómenos que se producen en esos instantes.

Pero, ¿qué sucedería si se conectara el inductor o el capacitor a un circuito de corriente alterna en el que la tensión varía con rapidez, en forma repetitiva? ¿Qué fenómenos importantes se producirían?

REACTANCIA CAPACITIVA

da "reactancia" cuando se los somete al paso de una corriente alterna

Si se conecta un capacitor a un generador de corriente continua, como una pila, por ejemplo, una vez que cierta cantidad de cargas fluya a sus armaduras y se cargue, desaparece cualquier movimiento de esas cargas y la corriente en el circuito pasa a ser indefinidamente nula.

En esas condiciones, el capacitor está totalmente cargado, posee una resistencia infinita y no deja circular la corriente.

Por otra parte, si conectamos al mismo generador un inductor ideal (que no presenta resistencia en el alambre del cual está hecho) una vez que la corriente se haya establecido y el campo magnético adquiere la intensidad máxima, no encontramos efecto alguno de inductancia. Las cargas podrán fluir con la intensidad máxima como si el inductor no existiera.

La presencia del capacitor y del inductor en un circuito de corriente continua es importante sólo en el instante en que ocurren variaciones: cuando la corriente se establece o

Vamos a empezar con el capacitor, lo conectamos, por ejemplo, a un circuito de corriente alterna de 50 hertz, de la red. Durante el primer cuarto del ciclo, cuando la tensión aumenta de cero a su valor máximo, el capacitor se carga con la armadura A positiva y la B negativa. Eso sucede en un intervalo de 1/200 de segundo. En el segundo cuarto, cuando la tensión cae a cero desde el valor máximo, se invierte la corriente en el capacitor y se descarga. En el tercer cuarto se invierte la polaridad de la red de manera que la corriente de descarga continúa en el mismo sentido pero carga positivamente la armadura B. El capacitor invierte su carga hasta un valor máximo. En el último cuarto, cuando la tensión vuelve a caer a cero, la corriente se invierte y la carga del capacitor cae a cero.

En la figura 13 tenemos la representación del proceso que ocurre en un ciclo y que se repite indefinidamente en cada ciclo de alimentación. Como se tienen 50 ciclos en cada segundo, el capacitor se carga y descarga positivamente primero y luego negativamente, 50 veces por segundo.

Al revés de lo que ocurre cuando la alimentación es con corriente continua, en la que, una vez cargado, cesa la circulación de corriente; con corriente alterna esta queda en forma permanen-

te en circulación por el capacitor, carga y descarga con la misma frecuencia de la red. La intensidad de la corriente de carga y descarga va a depender del valor del capacitor y también de la frecuencia de la corriente alterna.

Cuanto mayor es la capacidad del capacitor, mayor será la intensidad de la corriente (la corriente es entonces directamente proporcional a la capacidad) y cuanto mayor sea la frecuencia, mayor será la intensidad de la corriente (la corriente también es proporcional a la frecuencia). Entonces se verifica que el capacitor, alimentado con corriente alterna, se comporta como si fuese una "resistencia" y permite mayor o menor circulación de corriente en función de los factores explicados antes.

Como el término "resistencia" no es el adecuado para el caso pues no se trata de un valor fijo, como en el caso de los resistores, sino que varía con la frecuencia y no es sólo inherente al componente, se prefiere decir que el capacitor presenta una "reactancia" y en el caso específico del capacitor, una "reactancia capacitiva" (abreviada Xc).

Podemos, entonces, redefinir la reactancia capacitiva así:

"Se denomina reactancia capacitiva (Xc) a la oposición que un capacitor ofrece a la circulación de una corriente alterna."

Para calcular la reactancia capacitiva, se tiene la fórmula siguiente:

$$X_C = \frac{1}{2.314 \cdot f \cdot C} \quad (1)$$

Donde,

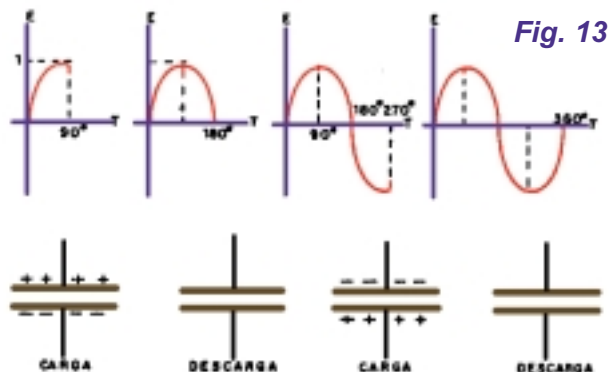
Xc es la reactancia medida en ohm.

3,14 es la constante pi (π)

f es la frecuencia de la corriente alterna en hertz.

C es la capacidad del capacitor en farad.

El valor "2 . 3,14 . f" puede representarse con la letra omega (ω) y este valor se llama "pulsación". La fórmula de la reactancia capacitiva



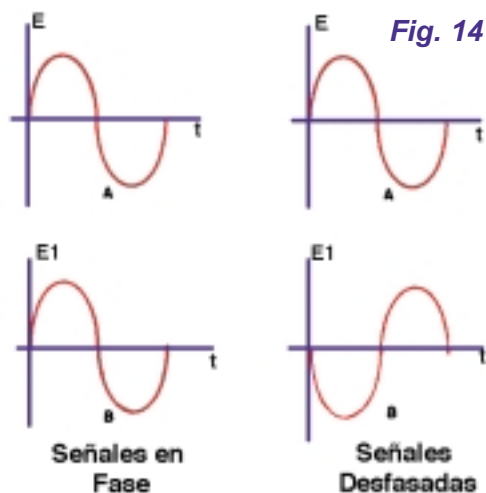


Fig. 14

queda entonces:

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (2)$$

* La reactancia capacitiva es menor cuanto más alta es la frecuencia, para un capacitor de valor fijo.

Puede decirse que los capacitores dejan pasar con más facilidad las señales de frecuencias más altas.

* La reactancia capacitiva es menor en los capacitores de mayor valor, para una frecuencia constante. Puede decirse que los capacitores mayores ofrecen menos oposición al pasaje de las corrientes alternas.

Fase en un Circuito Capacitivo=

Dos señales pueden estar en **fases diferentes** o en concordancia de fase, conforme sus formas de onda coincidan por superposición en un instante dado y siempre que tengan la misma frecuencia (figura 14).

Podemos hablar también de la diferencia de fase entre dos señales de corriente alterna y entre una corriente alterna y una tensión si llegaran a los puntos de máximo (o de mínimo) en distintos instantes.

Esta diferencia entre los instantes nos da la diferencia de fase que puede expresarse con un ángulo como muestra la figura 14.

Si dos señales estuvieran en concordancia de fase, es evidente que la diferencia sería cero. Si la diferencia fuera de 90 grados, diremos que las señales están en cuadratura y si fuera de 180 grados, diremos que las

señales están en oposición de fase.

Conectando un resistor en un circuito de corriente alterna, es evidente que siendo la tensión la causa y la corriente el efecto, deben estar en concordancia de fase, es decir, cuando la tensión aumenta, la corriente debe aumentar en la misma proporción. Pero si conectamos un capacitor en un circuito de corriente alterna, las cosas no suceden de este modo.

Si consideramos un capacitor de capacidad C conectado a un generador de corriente alterna cuya tensión esté dada por $E = E_o \text{ sen } \omega t$, veremos que la diferencia de potencial entre las placas del capacitor varía con el tiempo.

La corriente estar ADELANTADA 90 grados respecto de la tensi n .

REACTANCIA INDUCTIVA

Quando conectamos un inductor de inductancia L a un generador de corriente alterna, durante el primer cuarto del ciclo, la tensión sube a cero hasta el valor máximo que corresponde a una variación a la que el inductor se opone. En estas condiciones, comienza a circular una corriente por el inductor que crea el campo magnético, hasta su máximo. En el segundo cuarto, la tensión cae a cero lo que también es una variación a la que el inductor se opone. En estas condiciones, comienza a circular una corriente por el inductor que crea el campo magnético, hasta su máximo. En el segundo cuarto, la tensión cae a cero lo que también es una variación a la que el inductor se opone. Pero aun así, el campo magnético se contrae hasta desaparecer. En el tercer cuarto, la tensión invierte su polaridad y aumenta de valor hasta un máximo negativo; variación a la que el inductor se opone pero lo hace esta-

bleciendo un campo magnético que se expande. Finalmente, en el último cuarto, encontramos oposición del inductor a la circulación de la corriente. Las líneas de fuerza se contraen durante este cuarto de ciclo.

En realidad, según veremos va a existir un pequeño atraso en esta retracción de las líneas.

Lo importante es observar que mientras en el circuito de corriente continua, una vez establecido el campo, la resistencia (oposición) desaparecía y la corriente circulaba libremente, en este caso la oposición es permanente.

En la figura 15 se ve la representación de este proceso.

Vea entonces que se establece un campo magnético alterno en el inductor que varía constantemente en intensidad y polarización.

La oposición constante manifestada por el inductor a las variaciones de la tensión va a depender tanto de la inductancia como de la frecuencia de la corriente.

Cuanto mayor sea la inductancia, mayor será la oposición a la circulación de la corriente.

El inductor también se comporta como una "resistencia" a la circulación de la corriente alterna, pero el término resistencia tampoco cabe en este caso pues no es algo inherente sólo al componente sino también a las características de la tensión aplicada.

Nos referimos entonces a **reactancia inductiva**, representada por XL, como la oposición que un inductor presenta a la circulación de una corriente alterna. La reactancia inductiva se mide en ohms como la reactancia capacitiva y puede calcularse mediante la siguiente fórmula

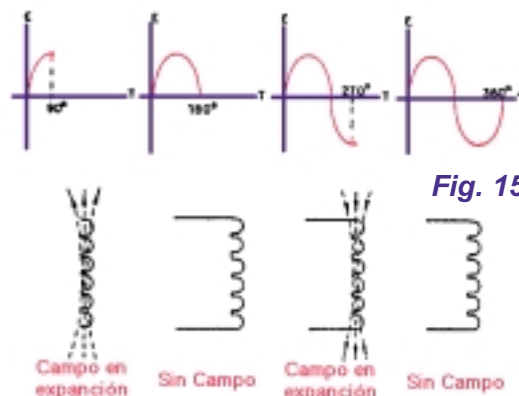


Fig. 15

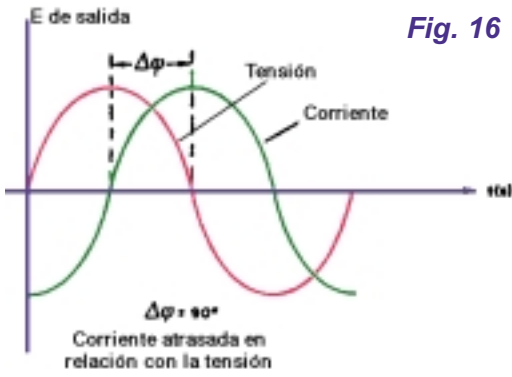


Fig. 16

cuencia. Puede decirse que los inductores ofrecen una oposición mayor a las corrientes de frecuencias más altas.

* la reactancia inductiva es mayor para los inductores de mayor valor para una frecuencia determinada. Los inductores de mayor valor ofrecen una oposición mayor a la circulación de corrientes alternas.

continuas puras, continuas pulsantes y alternas con diversas formas de onda. En el caso específico de los aparatos de sonido, por ejemplo, las formas de onda son "retrasos" del sonido que debe reproducirse y que aparecen en una amplia variedad de formas de onda y de frecuencias.

Las corrientes con que trabajan los circuitos —amplificadoras, productoras, reproductoras o captadoras— se denominan señales. Encontramos, en los circuitos electrónicos, señales que pueden ser desde simples corrientes continuas hasta señales cuyas frecuencias pueden llegar a centenas de millones de hertz.

¿Es importante conocer las fórmulas solamente o saber deducirlas?

La deducción de una fórmula se hace para demostrar su validez, mediante la descripción de un fenómeno y de un raciocinio lógico. En la deducción de algunas de las fórmulas que presentamos, utilizamos el cálculo diferencial e integral, que el lector no necesita conocer. En estos casos, aunque la deducción no se comprenda bien, bastará que el lector sepa la fórmula pues le será de utilidad en cálculos futuros.

Sugerimos que los lectores que

la:

$$X_L = 2 \cdot 3,14 \cdot f \cdot L \quad (3)$$

Donde:

X_L es la reactancia inductiva en ohms

3,14 es la constante pi (π)

f es la frecuencia de la corriente alterna en hertz.

L es la inductancia en henry.

Como la expresión " $2 \cdot 3,14 \cdot f$ " puede expresarse como " ω " (pulsación), podemos escribir:

$$X_L = \omega \cdot L \quad (4)$$

Tenemos finalmente las propiedades de los inductores en los circuitos de corriente alterna:

* La reactancia inductiva es tanto mayor cuanto mayor sea la fre-

Fase en el Circuito Inductivo

Si conectamos un inductor a un circuito de corriente alterna, la corriente no estará en fase con la tensión.

* La corriente tiene la misma frecuencia que la tensión.

* La corriente tiene su fase atrasada 90 grados ($\pi/2$) en relación a la tensión.

El gráfico de la figura 16 muestra lo que ocurre con la tensión respecto de la corriente .

QUE ES UNA SE AL?

En los circuitos electrónicos aparecen corrientes de distintos tipos:

Tiristores y Otros Dispositivos de Disparo

tengan dificultades con matemáticas y que deseen profundizar sus estudios de electrónica, estudien algo más de esa ciencia importante.

LOS TIRISTORES

Los tiristores funcionan como una especie de interruptor del control electrónico y se emplean precisamente para controlar grandes corrientes de carga en motores, calentadores, sistemas de iluminación y demás circuitos similares. Internamente están conformados por cuatro capas de material semiconductor; algunas de sus secciones se conectan de manera externa a terminales conductoras.

RECTIFICADOR CONTROLADO DE SILICIO

CIO

El SCR o Rectificador Controlado de Silicio, es un dispositivo semiconductor de cuatro capas con tres terminales externas llamadas **c todo , nodo y compuerta** ; cada una de éstas se encuentra conectada a una sección del semiconductor.

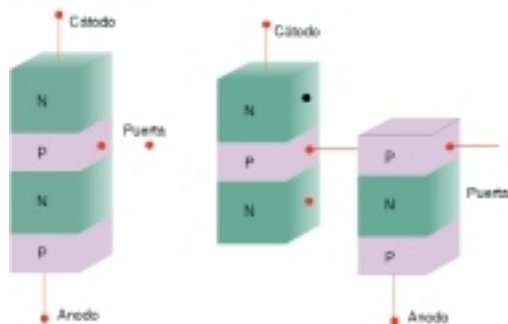
Un SCR se comporta como un interruptor; al aplicarle la alimentación por primera vez, se encontrará abierto; pero si se aplica un pulso de disparo a la terminal compuerta, se cerrará (permitiendo así que la corriente eléctrica lo atraviese). Esto es, si el SCR se conecta en serie con una batería y un resistor, el dispositivo resultante será considerado como un diodo en

polarización directa; esto significa que se mantiene en estado de no-conducción. Para que el dispositivo inicie la conducción, es necesario un pequeño pulso de tensión en el terminal **compuerta**; esto lo mantendrá en conducción, a menos que la corriente que lo atraviesa disminuya por debajo de un cierto valor crítico (figura 1).

El circuito equivalente del SCR se comporta como un interruptor abierto, cuando se polariza con una batería VCC y en serie con una resistencia de carga RC. Como los transistores no están polarizados correctamente, no conducen; en consecuencia, no circula corriente eléctrica a través del circuito. Para que la corriente fluya, se necesita aplicar un pulso de dis-

Para comprender mejor el funcionamiento del SCR, lo podemos dividir en dos partes; el circuito parece estar formado por dos transistores: un PNP y un NPN. Por lo que el circuito equivalente para un SCR se forma con dos transistores.

Estructura básica



Circuito equivalente del SCR en estado de no-conducción

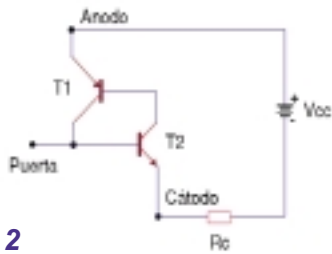


Fig. 2

Y su polarización del disparo a la terminal compuerta



para a la terminal compuerta; puede ser aplicado por medio de una batería VP. La batería polariza di-

rectamente la unión Base-Emisor del transistor T2, poniéndolo así en estado de saturación. La corriente de colector de T2 ingresa a la base del transistor T1, polarizando también la unión Emisor-Base; esto provoca que T1 esté en saturación (figura 2).

Si se dan las condiciones arriba señaladas, el voltaje de VP ya no será necesario; por lo que al retirar éste, el circuito se mantendrá en conducción. La corriente de colector de T2 mantiene polarizada directamente la unión Base-Emisor de T1; a su vez, la corriente de colector de T1 mantiene la polarización directa de la unión Base-Emisor de T2. Cuando esto sucede, el dispositivo se comporta como un interruptor cerrado. Desconectando la alimentación de la fuente Vcc el SCR

va al estado de corte. Otra forma de hacer que el circuito se "abra", consiste en aplicar un pulso negativo a la compuerta (base de T2).

INTERRUPTOR CONTROLADO DE SILICIO

El interruptor controlado de silicio o SCS (**Silicon Controlled Switch**), es una versión modificada del SCR; está formado por cuatro capas de material semiconductor dopado, donde cada una de las secciones se conecta a una terminal. Este dispositivo se comporta de manera similar al SCR, con la diferencia de que puede ser disparado por medio de cualquiera de las dos compuertas (ánodo y cátodo); además, está diseñado para trabajar con corrientes eléctricas pequeñas del orden de los miliampers (figura 3).

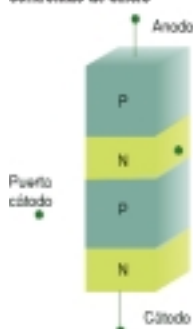
FotoSCR (fig. 4a)

Es un dispositivo con tres terminales; su encapsulado en la parte superior dispone de una lente que permite el paso de la luz, para iluminar el semiconductor que forma al fotoSCR. La luz incidente en el semiconductor provoca la liberación de los electrones en la compuerta. Estos electrones forman una corriente eléctrica suficiente para lograr que el fotoSCR conmute al estado de conducción, si es que el dispositivo se encuentra en polarización directa.

Diodo de Cuatro Capas (fig. 4b)

El **diodo Shockley** o diodo de cuatro capas conduce la corriente cuando se le aplica una tensión de polarización en sentido directo. La estructura de este dispositivo es de cuatro capas de material semiconductor, en cuyos extremos se ha colocado un par de terminales externas. Se considera un diodo, porque dispone de dos terminales (no confundir con el diodo Schottky); también se le conoce como diodo PNPN. La única forma de hacer que el diodo deje de conducir, es reduciendo la corriente que lo atraviesa hasta un valor inferior a la corriente de mantenimiento (valor mínimo de corriente requerido para que el dispositivo se mantenga en estado de

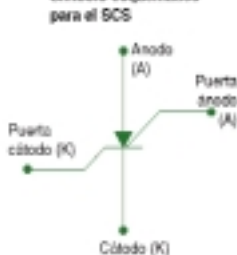
Estructura interna de un interruptor controlado de silicio



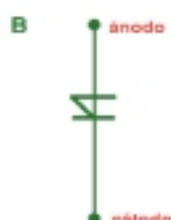
Símbolo del FotoSCR



Símbolo esquemático para el SCS



Símbolo del Diodo de 4 Capas



Circuito equivalente del SCS a transistores

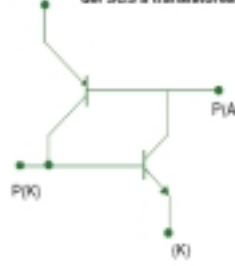


Fig. 3

Símbolo del SUS



Fig. 4

Magnetismo e Inductancia Magnética

conducción).

SUS (fig. 4.c)

El interruptor unilateral de silicio o SUS (**Silicon Unilateral Switch**), es un dispositivo que permite el paso de la corriente eléctrica en un solo sentido cuando la tensión aplicada a sus terminales en sentido directo supera cierto valor. Es muy parecido al diodo *Shockley*, con la diferencia que posee un terminal extra de disparo con la que se controla la condición de disparo en la que opera. Un SUS opera con valores de tensión y corriente eléctrica bajos.

TRIAC

El TRIAC es un dispositivo semiconductor bidireccional con tres terminales; o sea, puede conducir la corriente eléctrica en ambos sentidos. Las terminales ánodo y cátodo se han cambiado por MT1 y MT2, que es la abreviatura de Terminal Principal 1 y Terminal Principal 2.

El circuito equivalente para el TRIAC se puede formar con dos SCR en paralelo, pero con sus polaridades invertidas (figura 5). Cuando se aplica el pulso de activación en el terminal compuerta, no importa la polaridad aplicada a las terminales MT; la razón, es que uno de los dos SCR se encontrará polarizado directamente y conducirá.

Si el SCR1 se encuentra polarizado en forma inversa y el SCR2 en forma directa cuando se aplica el pulso a la compuerta G, solamente este último conducirá. Si se invierte la polaridad de la batería y se aplica el pulso de disparo nuevamente en la compuerta G, sólo el SCR1 conducirá.

El efecto total del dispositivo es el de permitir el paso de la corriente eléctrica, independientemente de la polaridad de la tensión apli-

cada en las terminales MT.

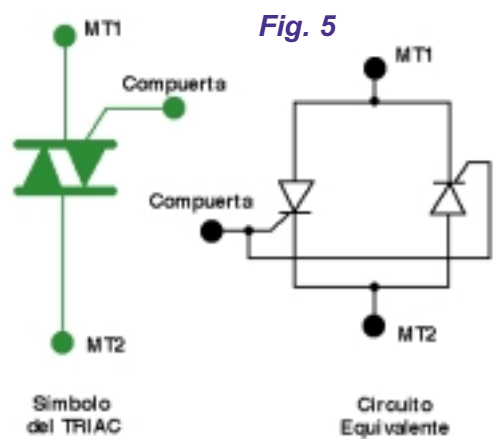
Los parámetros a considerar cuando se elige un TRIAC, son iguales a los utilizados para el SCR; la única diferencia es que el VRRM o voltaje inverso no existe en el caso de los TRIAC's, debido a que no importa la polaridad en sus extremos.

DIAC

El DIAC o diodo bidireccional de disparo (Diodo de Corriente Alterna, por su nombre en inglés) es un dispositivo semiconductor muy parecido al diodo *Shockley*, con la diferencia de que permite el paso de la corriente eléctrica en ambos sentidos; también tiene un valor de voltaje de conducción (*breakover*) que es el mismo en ambos sentidos. El circuito equivalente del DIAC es un par de diodos *Shockley* en paralelo, pero con polaridades opuestas. Cuando se aplica una tensión en los extremos del DIAC, éste se mantiene en estado de noconducción mientras no se supere la tensión nominal de conducción. Por ser un dispositivo de tipo bidireccional, es utilizado como disparador de compuerta en los TRIAC's.

SBS

Es un dispositivo de control para el disparo de la compuerta en TRIAC's. Tiene la propiedad de conducir la corriente eléctrica en ambos sentidos; cuando la tensión alcanza el valor de conducción, a diferencia de un DIAC, el SBS adquiere un voltaje de conducción mucho más pequeño. Está formado por un conjunto de dispositivos discretos, y se fabrica más bien como un circuito integrado; además, cuenta con una terminal extra llamada **compuerta** que proporciona mayor fle-



xibilidad en el disparo.

SIDAC

El disparador bilateral de alto voltaje o SIDAC, es un dispositivo electrónico de reciente aparición. Permite la manipulación de voltajes altos de disparo, lo que amplía la gama de aplicaciones de los dispositivos disparadores; de esta manera, se ahorran gastos en componentes extras que serían necesarios para ciertas clases de circuitos.

UJT

El UJT o transistor uniunión (*Unijunction Transistor*), es utilizado como dispositivo de disparo. Se trata de un elemento semiconductor de conmutación por ruptura, muy utilizado en circuitos industriales, temporizadores, osciladores, generadores de onda y como circuitos de control de compuerta para TRIAC y SCR. La zona P del emisor está altamente dopada, mientras que la zona N del semiconductor tiene un dopado pequeño. Cuando el emisor del transistor no se encuentra conectado a ningún circuito externo, la resistencia entre las terminales Base 1 y Base 2 es de unos 4,000 a 10,000Ω. Este dispositivo tiene la característica de presentar resistencia negativa; es decir, a un aumento de corriente se sucede una disminución de voltaje en las terminales del mismo. *****

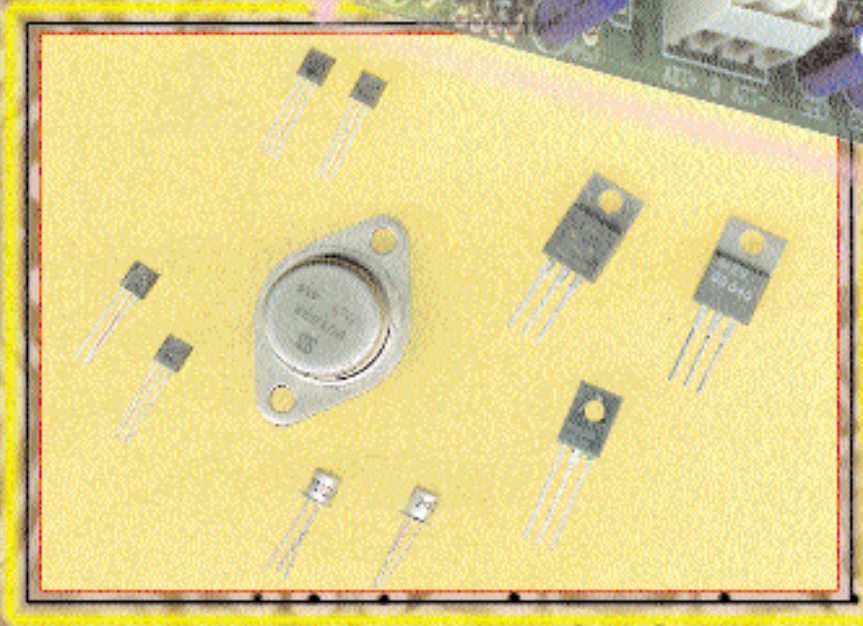
Amplificadores

con transistores

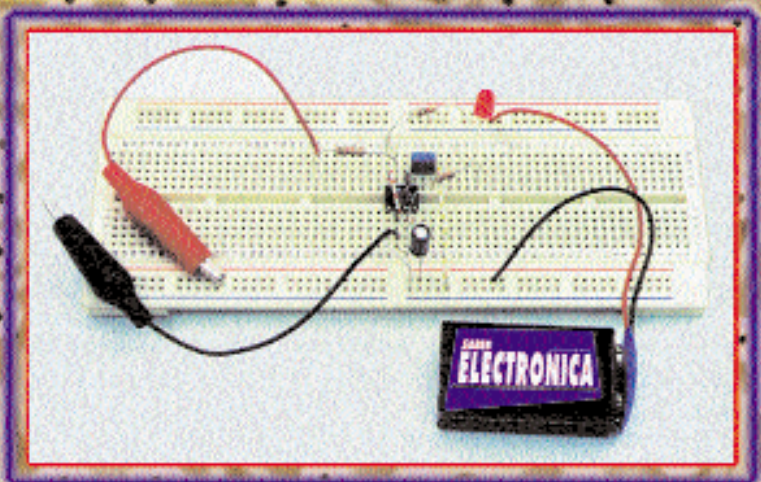
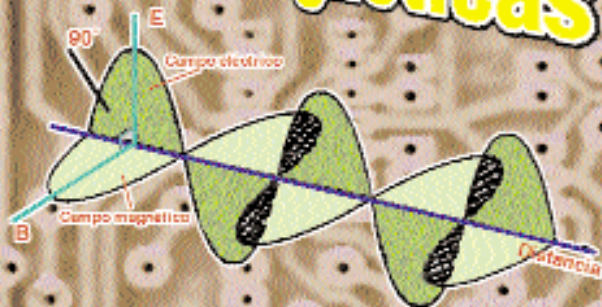
6

El Mundo de la Electrónica

TV
AUDIO
VIDEO
MICROPROCESADORES



Las Ondas Electromagnéticas



Fundamentos Físicos de la Reproducción del Sonido

Enciclopedia Visual de la Electrónica

INDICE DEL CAPITULO 6

LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS

La naturaleza de las ondas electromagnéticas	83
Polarización.....	84
Frecuencia y longitud de onda	84
El espectro electromagnético y las ondas de radio.....	85
Espectro electromagnético.....	85

EL TRANSISTOR COMO AMPLIFICADOR AMPLIFICADORES CON TRANSISTORES

Configuraciones circuitales básicas.....	87
El amplificador base común	87
El amplificador emisor común.....	87
El amplificador colector común	90
Recta estática de carga	91
Recta dinámica de carga	92
Cálculo de los capacitores de paso	92
Acoplamientos interetapas.....	93

a) Acoplamiento RC.....	93
b) Acoplamiento a transformador.....	93
c) Acoplamiento directo.....	94

FUNDAMENTOS FISICOS DE LA REPRODUCCION DEL SONIDO

Propagación de las vibraciones u ondas	94
La onda de sonido	95
Características físicas	95
Frecuencia o tono.....	95
Amplitud	95
Intensidad.....	95
Timbre.....	95
Velocidad del sonido	96
Reproducción del sonido	96
Tipos de reproductores acústicos	96

Capítulo 6

Las Ondas Electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas fueron previstas antes de ser descubiertas. En verdad, las ecuaciones de Maxwell que describían los campos magnéticos preveían también la existencia de radiaciones, de la misma naturaleza que la luz, y que se propagaban en el espacio con una velocidad de 300.000 kilómetros por segundo.

Las ecuaciones de Maxwell fueron presentadas en 1865, pero solamente en 1887 Hertz consiguió comprobar la existencia de "ondas electromagnéticas" según las ya previstas y las produjo en su laboratorio.

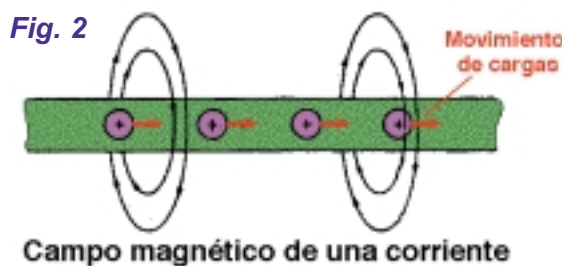
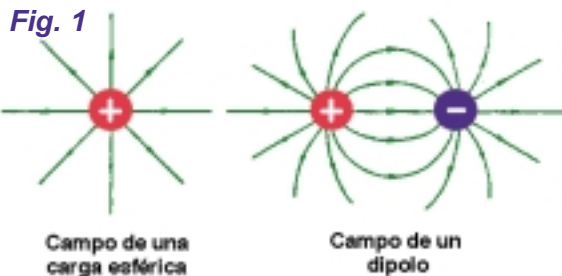
No nos preocuparemos tanto del aspecto histórico del descubrimiento, como del estudio de su naturaleza, pero también añadiremos algunos datos importantes del pasado relacionados con la investigación y su utilización.

LA NATURALEZA DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Una carga eléctrica, o un cuerpo cargado, es responsable por una perturbación en el espacio que lo rodea y que denominamos "**campo eléctrico**", como muestra la figura 1.

Vimos que podríamos representar esta "influencia" por medio de líneas imaginarias, denominadas líneas de fuerza. (El uso de las líneas de fuerza fue propuesto por Faraday).

Las líneas de fuerza realmente no existen, pero pueden ayudar a evaluar el comportamiento de la "influencia" de la carga en el espacio. La influencia es mayor en los puntos en que las líneas son más concentradas.



Del mismo modo, estudiamos otro tipo de influencia causado por cargas en movimiento, o sea, por las corrientes eléctricas, que difiere mucho del campo eléctrico, y que fue denominado "**campo magnético**".

También representábamos el campo magnético por medio de líneas de fuerza pero de una forma bien diferente: las líneas eran concéntricas, envolviendo la trayectoria de las cargas (figura 2).

El tipo de influencia para los dos campos también se diferencia: el campo eléctrico actúa sobre cualquier cuerpo cargado, atraen o repelen conforme a la polaridad, mientras que el campo magnético actúa sobre determinados materiales, independientemente de su carga, atraen (materiales ferrosos) o repelen (materiales diamagnéticos).

¿Qué ocurriría con una carga eléctrica que, al mismo tiempo, pudiera producir un campo eléctrico y un campo magnético?

Para explicar este fenómeno importante, vamos a imaginar una carga eléctrica que pueda entrar en vibración alrededor de un punto, o sea que pueda "**oscilar**" como

muestra la figura 3.

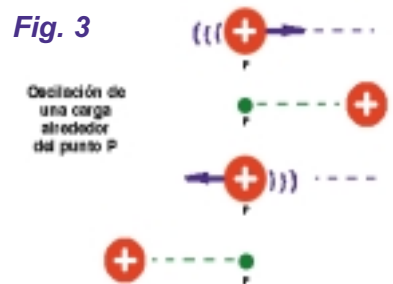
Partiendo entonces de una posición inicial en que la misma se encuentre detenida, sólo existe campo eléctrico a su alrededor, como muestra la figura 4.

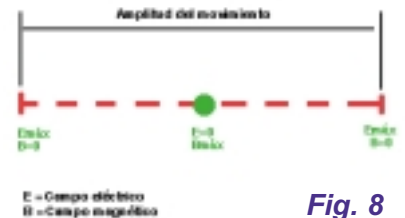
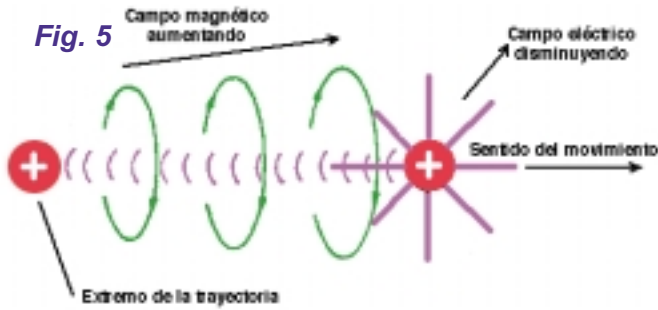
El campo magnético es nulo, pues la carga se encuentra en reposo. El campo eléctrico, a su vez, es máximo.

A medida que la carga se desplaza hacia la posición central, el campo eléctrico se reduce, mientras que el campo magnético aumenta. En el medio de la trayectoria,

cuando la velocidad es máxima, el campo magnético también es máximo, mientras que el campo eléctrico se reduce a cero (mínimo, figura 5).

En dirección al otro extremo de la trayectoria, la velocidad se reduce gradualmente, con lo que se reduce también el campo magnético. El campo eléctrico vuelve a aumentar de intensidad (figura 6).





Cuando la carga llega al extremo de la trayectoria, por algunos instantes se detiene para invertir el movimiento. En este instante, el campo eléctrico nuevamente es máximo y el campo magnético se reduce a cero (figura 7).

En la inversión del movimiento, tenemos nuevamente el crecimiento de la intensidad del campo magnético hasta el medio de la trayectoria y la reducción al mínimo del campo eléctrico y después, hasta el extremo, el aumento del campo eléctrico y la disminución del campo magnético. Vea entonces que, en esta "oscilación", el campo magnético y el eléctrico se alternan (figura 8).

Hay un desfase de 90 grados entre los dos campos.

Fig. 6 existe un tiempo determinado de contracción de las líneas de fuerza tanto del campo eléctrico como del magnético, así como para la expansión.

Así, independientemente de la velocidad con que la carga oscile, o sea, de su frecuencia, la velocidad con que la perturbación se propaga es bien definida y constante.

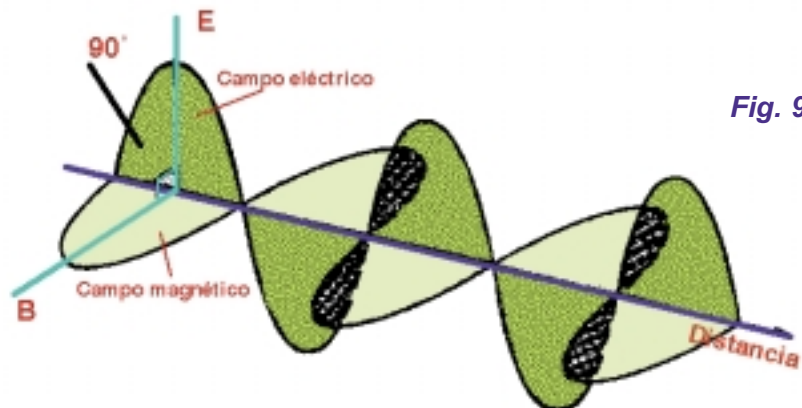
Se puede demostrar que esta perturbación se propaga en el vacío a una velocidad de $2,997793 \times 10^{10}$ centímetros por segundo, o, redondeando hacia arriba, ¡300.000 kilómetros por segundo!

Esta perturbación da origen a lo que denominamos "onda electromagnética".

Polarización

Para representar una onda electromagnética precisamos tener en cuenta tanto su componente eléctrica como magnética, pues, como vimos, la misma corresponde a una "alternancia" entre los dos campos.

Para esta finalidad, hacemos uso de la representación mostrada en la figura 9. El campo eléctrico varía según el eje E con semiciclos tanto positivos como negativos, mientras que



El resultado de este fenómeno es la producción de una perturbación única que se propaga por el espacio con velocidad finita.

Vea que el campo magnético varía según el eje H, también como semiciclos positivos y negativos.

el campo magnético varía según el eje H, también como semiciclos positivos y negativos.

Cuando deseamos recibir una onda electromagnética, lo que tenemos que hacer es interceptarla de modo de tener una corriente en un conductor que pueda ser amplificada y trabajada por circuitos especiales. Esto se hace, por ejemplo, mediante una antena que no es más que un alambre conductor colocado en el camino de la onda (figura 10).

Para que ocurra la inducción de una corriente en esta antena, la misma debe ser colocada de determinada forma. Si los lectores observaran las antenas de televisión de su localidad, podrán tener una idea de la necesidad de esta colocación.

¿Por qué las antenas no se ponen en posición tal que las varillas estén en forma vertical como muestra la figura (B) 11, y sí como en (A) figura 11?

¡Esto ocurre porque la polarización de las ondas se hace horizontalmente, no verticalmente!

FRECUENCIA Y LONGITUD DE ONDA

Para una corriente alterna, la frecuencia se define como el número

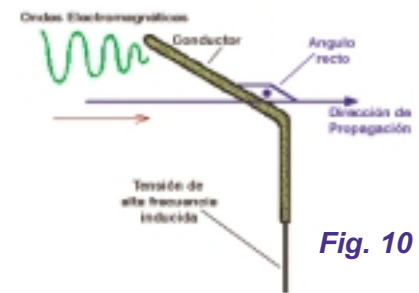
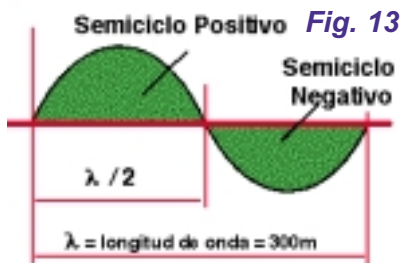
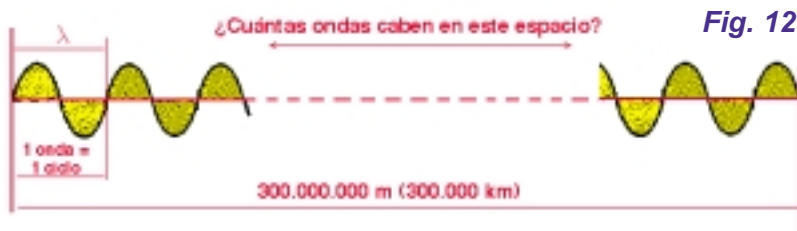
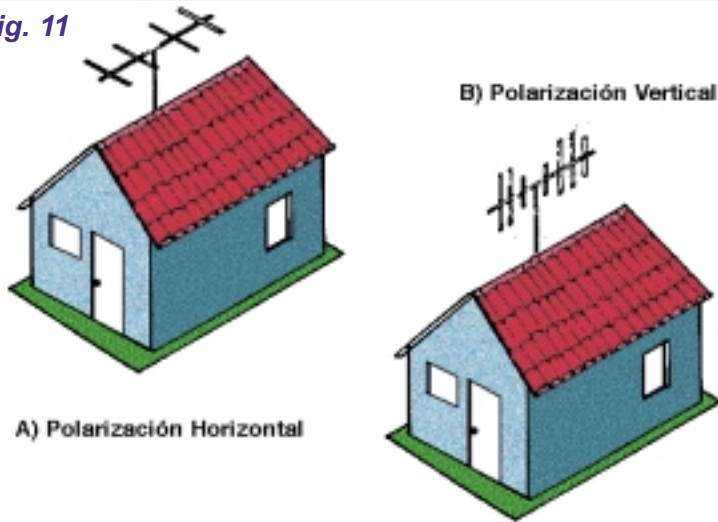


Fig. 11



de veces en que ocurre la inversión de su sentido de circulación. La frecuencia es numéricamente igual a este valor y es dada en hertz, cuya abreviatura es Hz. En el caso de una onda electromagnética, su frecuencia es dada por el número de vibraciones por segundo de la carga (o cargas) que la producen, siendo numéricamente igual a este valor y también medida en hertz.

Si una onda electromagnética fuera producida por una carga que vibra a razón de 1.000.000 de veces por segundo, la frecuencia de esta radiación será de 1MHz.

El espectro electromagnético es el conjunto de frecuencias en que puede haber radiaciones electromagnéticas y es muy extenso, se analizará más adelante. Para una determinada radiación electromagnética, además de la frecuencia, podemos definir otra magnitud, que es la longitud de onda.

Tomemos como ejemplo una radiación electromagnética cuya frecuencia sea de 1MHz, o sea, 1.000.000Hz.

En un segundo, partiendo de la fuente emisora, o sea, las cargas que oscilan, las ondas recorren un espacio de 300.000 kilómetros, pues ésta es su velocidad, como muestra la figura 12. Podemos percibir entonces que las ondas individualmente, o cada oscilación divide el "espacio" de 300.000 kilómetros o 300.000.000 metros. Cada onda, entonces, "se quedará" con un espacio de 300 metros, o sea, tendrá una "longitud" que equivale a 300 metros (figura 13).

Para las ondas electromagnéticas es común expresar su naturaleza tanto por la frecuencia como por su longitud de onda. Hablar de una radiación de 1 MHz es, pues, lo mismo que hablar de una radiación de 300 metros. Podemos fácilmente calcular la longitud de onda de cualquier radiación, conocida su frecuencia por la fórmula:

$$v = L \times f \quad (2)$$

Donde: v es la velocidad de propagación (300.000.000 m/s); L es la longitud de onda en metros; f es la frecuencia en Hertz.

¿Cuáles son las frecuencias que dan origen a las ondas electromagnéticas?

¿Qué tipo de naturaleza tiene cada radiación en función de su frecuencia?

Si distribuimos las ondas electromagnéticas de acuerdo con su frecuencia o longitud de onda, veremos que, para cada sector de esta distribución, tendremos comportamientos diferentes. Las radiaciones de longitudes de ondas menores tienen comportamientos bien diferentes de las de mayores longitudes. Su propia utilización es distinta.

Llamamos espectro a la distribución de las diversas frecuencias de radiaciones electromagnéticas, y en el caso es un espectro continuo, pues no existen saltos entre los valores que las mismas pueden asumir.

El espectro de las radiaciones electromagnéticas, en verdad, se extiende de 0 a infinito, ¡ya que se conocen fuentes que emiten "señales" de frecuencias tan elevadas como 10^{23} Hertz, o sea 1 seguido de 23 ceros!

Vamos al análisis del espectro:

Espectro electromagnético

Frecuencia: 0 a 20kHz

Denominación: ondas eléctricas acústicas

La longitud de onda varía entre el infinito y 15.000 metros. En verdad, estas ondas no tienen mucha "penetración" en el espacio, siendo usadas para la transmisión de energía por cable, o en la producción de sonidos.

Frecuencia: 20kHz a 30kHz

Denominación: VLF (Very Low Frequency = frecuencia muy baja)

Las ondas electromagnéticas de esta banda, de 15.000 a 10.000 metros, pueden ser usadas en los servicios de telecomunicaciones a larga distancia, pues siendo muy estables, no están influenciadas por la hora del día ni por las estaciones del año.

Vea el lector que el Sol es un "enemigo" de las ondas electromagnéticas, pues la radiación que él emite también puede influenciar su propagación y dificultar el uso de determinados tipos de ondas de radio, como ésta, en mayor o menor intensidad.

Las Ondas Electromagnéticas

Frecuencia: 30kHz a 300kHz

Denominación: LF (Low Frequency = baja frecuencia)

Pueden ser usadas en servicios de radiocomunicaciones de larga distancia, como por ejemplo en comunicación naval, o incluso para ayudar en navegación al orientar naves y aviones. Estas ondas ya son más afectadas en su propagación que las de la banda anterior, pues, según la hora del día y la estación del año, pueden ocurrir pequeñas atenuaciones.

Frecuencia: 300kHz a 3.000kHz

Denominación: MF (Medium Frequency = frecuencia media)

Las ondas de esta banda, que son ondas de radio, tienen longitudes entre 1.000 y 100 metros, pudiendo ser usadas en diversos tipos de servicios de comunicación, como por ejemplo, la propia radiodifusión (AM), comunicaciones entre aeronaves, barcos, policía, etc. Estas radiaciones son influenciadas por la hora del día: su alcance es mayor durante la noche y menor durante el día. Igualmente, en invierno la atenuación es menor que en verano.

Frecuencia: 3.000 kHz a 30 MHz

Denominación: HF (High Frequency = alta frecuencia)

También tenemos aquí ondas de radio cuya longitud de onda estará entre 100 metros y 10 metros. Estas ondas pueden usarse en comunicaciones de larga distancia, en determinados horarios del día y en dependencia de las estaciones del año.

Lo que ocurre es que estas ondas pueden ser reflejadas por las capas altas de la atmósfera (la ionosfera), así vencen el problema de la curvatura de la Tierra. Las ondas de esta banda son utilizadas por las estaciones de radiodifusión, radioaficionados, y servicios diversos de comunicación a distancias largas y medianas.

Frecuencia: 30MHz a 300MHz

Denominación: VHF (Very High Frequency = frecuencia muy alta)

Son también ondas de radio cuya longitud de onda estará entre 10 metros y 1 metro. Estas ondas se propagan en línea recta, como las demás, pero son influenciadas fuertemente por la presencia de obstáculos. Así, no podemos usarlas en servicios que sobrepasen la línea visual o línea del horizonte. Las ondas de esta banda son usadas en servicios de radiodifusión (FM), televisión, comunicaciones a distancias cortas y medianas como por ejemplo policía, aviación, etc.

Frecuencia: 300MHz a 3.000MHz

Denominación: UHF (Ultra High Frequency = frecuencia ultra alta)

Estas ondas de radio tienen longitudes de onda entre 1 metro y 10 centímetros. Son pues ondas muy cortas de comportamiento semejante al VHF, con la diferencia que son mucho más afectadas por obstáculos. Estas ondas son usadas en TV, radar, comunicaciones a distancia corta y mediana.

Frecuencia: 3GHz a 30.000MHz

Denominación: SHF (Super High Frequency = frecuencia super alta)

Estas ondas tienen longitud de onda entre la banda de 10 centímetros a 1 centímetro. Estamos en el dominio de las llamadas microondas, usadas en servicios de comunicaciones en línea visual, radar, etc.

Las mismas no pueden sobrepasar obstáculos, incluso de pequeño tamaño, son pues usadas en las comunicaciones visuales, o sea, en aquéllas en que el transmisor prácticamente "ve" el receptor.

Frecuencia: 30GHz a 300GHz

Denominación: Microondas

No hay realmente una sigla para las ondas de radio en esta banda. Su longitud está entre 1 mm y 10 mm y aquí el comportamiento de las radiaciones comienza a sufrir una transición. Podemos agrupar las radiaciones de esta banda en ondas centimétricas, milimétricas, e incluso submilimétricas. Su uso es el radar; las comunicaciones por microondas también son producidas por cuerpos calentados como las lámparas de vapor de mercurio. Se trata pues de radiación cuya naturaleza comienza a estar próxima a la de la luz.

Frecuencia: 300GHz (3×10^{11}) a 3×10^{14} Hz

Denominación: Radiación infrarroja o simplemente infrarrojo. Ya tenemos aquí un tipo de radiación de comportamiento bastante semejante al de la luz visible. La radiación infrarroja es producida por cuerpos calientes. Cuando acercamos la mano a un hierro caliente, "sentimos" esta radiación a la distancia en forma de calor. Las longitudes de onda son medidas en esta banda en micrones (μ), o millonésimas de metro, o bien en otra unidad que es el Angston (Å) que equivale a 10^{-8} metros o a la millonésima parte del milímetro.

Frecuencia: 3×10^{14} Hz.

Denominación: Luz visible

En este punto del espectro electromagnético tenemos una forma de radiación

muy importante para nosotros que es la luz que podemos ver, o luz visible. Su longitud de onda está entre 4.000 Angstroms y 7.000 Angstroms. El color de la luz que percibimos está relacionada con su frecuencia, conforme a la siguiente tabla aproximada:

Violeta - 4.000 a 4.500 Angstrom

Azul - 4.500 a 5.000 Angstrom

Verde - 5.000 a 5.700 Angstrom

Amarillo - 5.700 a 5.900 Angstrom

Anaranjado - 5.900 a 6.100 Angstrom

Rojo - 6.100 a 7.000 Angstrom

La particularidad más importante de esta banda del espectro está, entonces, en el hecho de que poseemos "sensores" sensibles capaces de percibir las radiaciones, que son justamente nuestros ojos.

Frecuencia: 3×10^{14} a 3×10^{17}

Denominación: radiación ultravioleta o simplemente ultravioleta.

Tenemos aquí una penetrante forma de radiación electromagnética del tipo de la luz cuyas longitudes de onda están entre 4.000 Angstrom y 10^7 centímetros. Este tipo de radiación es producida por la vibración molecular y atómica y encuentra aplicaciones industriales de diversos tipos.

Frecuencia: 3×10^{17} a 3×10^{20} Hz

Denominación: Rayos X

Tenemos aquí una forma muy penetrante de radiación electromagnética que puede, por su longitud de onda muy pequeña, penetrar en los cuerpos materiales de diversos tipos. Esta forma de radiación es usada en medicina y en la industria de diversas formas. Cuanto menor es la longitud de onda de los rayos X, mayor es su penetración.

Frecuencia: 3×10^{20} Hz a 3×10^{24} Hz

Denominación: Rayos Gamma

Esta forma peligrosa de radiación electromagnética es producida tanto por vibraciones atómicas y moleculares como también por las reacciones nucleares. Los rayos gamma tienen enorme penetración, por lo que pueden atravesar obstáculos de concreto o plomo de bastante espesor.

Frecuencia: 3×10^{21} Hz y más

Denominación: rayos cósmicos

Son partículas de increíble penetración producidas por reacciones nucleares o aceleración en campos magnéticos de partículas cargadas y pueden atravesar toda la masa de la Tierra como si no existiera. Estas partículas son detectadas con dificultad, y felizmente llegan en poca cantidad a nuestro planeta.

El Transistor como Amplificador

Amplificadores con Transistores

Existen distintas configuraciones y existen varias formas de polarizar un transistor, cada una con sus ventajas y desventajas.

Se dice que un amplificador de audio es aquel que incrementa el nivel de una determinada señal que posee una frecuencia comprendida dentro del espectro audible (20Hz a 20kHz). Para el diseño de un amplificador interesan características tales como la potencia de salida, impedancia de carga, impedancia de entrada, nivel de la señal de entrada, tensión de alimentación, etc.

CONFIGURACIONES CIRCUITALES BASICAS

Básicamente, a un transistor se lo puede utilizar en tres configuraciones distintas a saber:

- a- Configuración Base Común
- b- Configuración Emisor Común
- c- Configuración Colector Común

EL AMPLIFICADOR BASE COMÚN

Las principales características son:

- Baja impedancia de entrada (entre 50 ohm y 300 ohm)
- Alta impedancia de salida (entre 100 kilohm y 1 Megohm).
- Posee alta ganancia de tensión.
- No posee ganancia de corriente.
- La señal de salida no está desfasada respecto de la de entrada.

En la figura 1 vemos el circuito de un amplificador base común.

Si observamos el circuito, la polarización del emisor es tal que la juntura base-emisor queda en directa, constituye así un circuito de muy baja resistencia de entrada (diodo en directa) que oscila entre 50 y 300Ω, mientras que el colector queda polarizado en inversa, lo que hace que la salida tenga una resistencia elevada que oscila entre 100kΩ y 1MΩ.

La ganancia de corriente:

$$\alpha = \frac{I_c}{I_e} < 1$$

α es menor que la unidad pero se asemeja a 1; varía entre 0,98 y 0,999, pero lo que aquí importa es que la ganancia de resistencia es muy grande (aproximadamente $R_s/R_e = 1500$) con lo cual la etapa posee gran ganancia de tensión. Existe una familia de curvas que caracterizan el funcionamiento de cada transistor en la configuración base común, y se llaman curvas características para conexión base común (o base a tierra, o base a masa).

Muchas veces es cómodo trabajar con una sola batería y para ello se polariza al transistor (figura 2). Los resistores de base R_b y R_a dan a la base una polarización positiva respecto de emisor a los fines de que la juntura BE quede polarizada en directa mientras que el colector es positivo respecto del emisor. C1 es un camino a masa para la señal alterna a los fines de obtener máxima señal sobre la resistencia de carga R_c . La señal a la salida está en fase con la señal de entrada, pues un aumento de la tensión de base provocará un incremento de la corriente de colector y, a su vez, aumentará la señal sobre R_c que es la carga (salida) del circuito. Observe que C1 es un cortocircuito para corriente alterna; anula los resistores R_a y R_b ya que no hay caída de tensión de señal alterna sobre éstos.

EL AMPLIFICADOR EMISOR COMÚN

En este tipo de circuito, la señal de entrada se aplica entre base y emisor del transistor. Aquí también la polarización del transistor es tal que el emisor queda polarizado en directa, condiciones imprescindibles para que el transistor funcione como tal.

Se trata de un amplificador de impedancia de entrada moderada, no muy alta impedancia de salida, posee ganancia de tensión y corriente y la señal de salida está des-

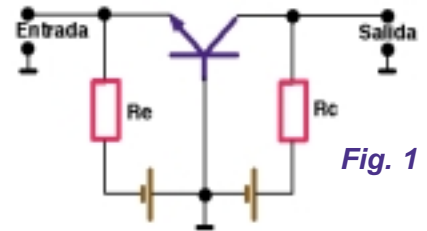


Fig. 1

fasada 180° respecto de la señal aplicada a la entrada.

Tensión de entrada = Tensión Base-emisor

Tensión de salida = Tensión Colector-Emisor

Corriente de entrada = Corriente de Base

Corriente de salida = Corriente de Colector

Desarrollemos este tema analizando el circuito de un amplificador emisor común (figura 3).

La resistencia de entrada varía con la polarización, siendo un valor normal 5.000Ω, aunque puede variar entre 100Ω y 10.000Ω, según la polarización. La resistencia de salida es moderada, es decir, unos 50.000Ω según el transistor y su polarización.

Aquí la corriente de colector se controla con la corriente de base, de aquí que con pequeñas variaciones de la corriente de base se obtengan grandes variaciones de la corriente de colector, razón por la cual, actuando como amplificador de corriente, se define lo que se llama factor β .

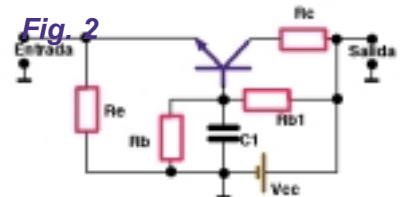


Fig. 2

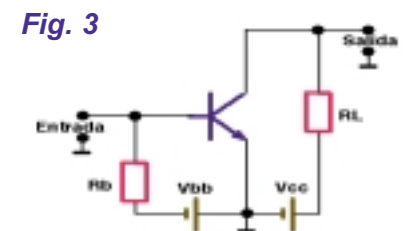


Fig. 3

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}$$

β = Ganancia de corriente del transistor en la configuración emisor común

Por lo dicho, en un amplificador base común se utiliza el parámetro:

$$\alpha = \frac{I_c}{I_e}$$

y aquí se usa:

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}$$

Pero la diferencia fundamental es que este circuito (emisor común) tiene ganancia de corriente y también ganancia de tensión, por lo cual se puede tener una ganancia de potencia que puede llegar a 10.000 veces (40dB), lo que lo hace muy popular. Nótese que, si al aplicar una señal de entrada aumenta la tensión de base, aumentará la I_b , lo que hará aumentar la I_c ; si esto ocurre, aumentará la caída de tensión sobre R_L y, por ley de Kirchhoff (que veremos en la próxima lección), disminuirá la tensión colector-emisor (tensión de salida) pues:

$$V_{cc} = V_{RL} + V_{ce}$$

Como V_{cc} es constante, si aumenta V_{RL} deberá disminuir V_{ce} . En síntesis, un aumento de la señal de entrada provocará una disminución (mayor) de la tensión de salida por lo cual hay una inversión de fase entre entrada y salida, al revés de lo que ocurría en un circuito Base-Común. Aquí también es necesario, a los fines de simplificar la construcción del circuito, polarizar al transistor con una sola batería o fuente de alimentación y para ello hay muchas formas de hacerlo; una de ellas es la denominada polarización fija, que consiste en colocar un resistor entre base y batería con el fin de polarizar la juntura base-emisor en directa (figura 4).

Para calcular el valor de la resistencia de base, basta con fijar un valor de corriente de base. Sabemos que habrá además una caída de tensión sobre R_L que no debe ser demasiado alta para que el colector siga siendo positivo respecto de

la base. Para hacer el cálculo de R_b se emplea la malla formada por V_{cc} , R_b y la juntura BE del transistor (figura 5).

Ejemplo

Si consideramos la $V_{be} = 0,6V$ y queremos una corriente de base de $50\mu A$ con una $V_{cc} = 6V$, la R_b debe ser de:

$$R_b = \frac{6V - 0,6V}{50 \times 10^{-6} A} = 108.000\Omega$$

Un valor comercial que se asemeje a este valor es $100k\Omega$: por lo tanto, adoptamos una $R_b = 100k\Omega$.

Es fácil notar que, pase lo que pase, la I_b permanece constante frente a variaciones de temperatura o por cambios de transistor pues para todos los transistores $V_{be} = 0,6V$ (Si) o $V_{be} = 0,2V$ (Ge) aproximadamente.

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}$$

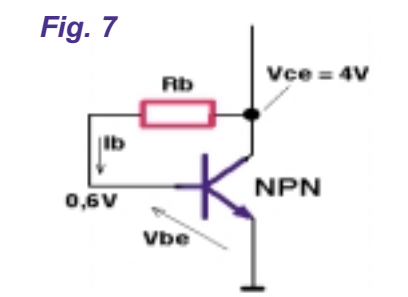
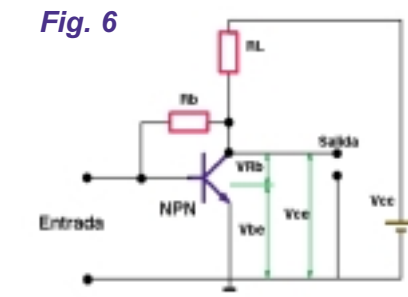
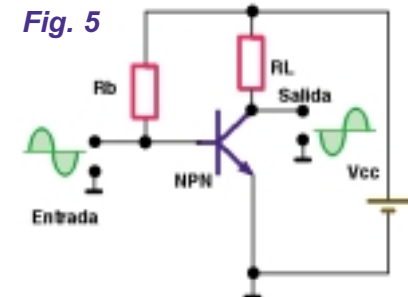
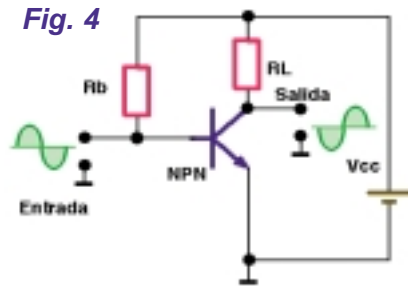
Con lo cual:

$$I_c = \beta \cdot I_b$$

Ocurre que todos los transistores "no" son iguales y su β puede variar por cambios de temperatura (además de variar entre transistores), con lo cual, si es fundamental que I_c no varíe, tendría que cambiar el valor de R_b cada vez que se cambia de transistor, lo que complica el análisis.

Esto hace que la polarización fija no sea la más adecuada, ya que es inestable frente a cambios de transistores y frente a variaciones de temperatura, por lo que resulta imposible mantener fija la corriente típica de colector.

Para solucionar en parte este problema, se utiliza la polarización automática que consiste en conectar el resistor R_b entre base y colector, que cumple la función de "sen-sar" la tensión entre colector y base para polarizar a ésta. Es decir, existe una realimentación desde el colector hacia la base (realimentar significa tomar una muestra de alguna parte del circuito y enviarla a otra parte del circuito con el fin de variar alguna característica del mismo). La polarización automática, aunque tiene la desventaja de disminuir la



ganancia del amplificador, mejora algunas fallas de la polarización fija (figura 6). Para calcular el valor de R_b debemos saber cuál es el valor de tensión que pretendemos que exista en colector y cuál es la corriente que circulará por la base.

Analizando el circuito y aplicando Kirchhoff puede deducirse que:

$$R_b = \frac{V_{ce} - V_{be}}{I_b}$$

Si se desea tener una tensión entre colector y emisor $V_{ce} = 4V$ con una corriente de base de $I_b = 50\mu A$, debemos colocar una R_b (figura 7), que se calcula:

$$R_b = \frac{4V - 0,6V}{50 \times 10^{-6} A} = 68.000\Omega$$

Casualmente, esta vez el valor calculado para $R_b = 68k\Omega$ coincide con un valor comercial.

Para calcular la polarización de un circuito con polarización automática se debe recurrir al circuito de entrada (figura 8). Se deduce que:

$$V_{cc} = V_{Rc} + V_{Rb} + V_{be}$$

Si consideramos que I_c es mucho mayor que I_b se puede decir que:

$$V_{Rc} = I_c \cdot R_c ; \quad V_{Rb} = I_b \cdot R_b$$

Luego:

$$V_{cc} = I_c \cdot R_c + I_b \cdot R_b + V_{be}$$

Reemplazando la relación:

$$I_b = \frac{I_c}{\beta} \quad V_{cc} = I_c \cdot R_c + \frac{I_c}{\beta} \cdot R_b + V_{be}$$

Si se trabaja matemáticamente, se llega a:

$$I_c = \frac{V_{cc} - V_{be}}{R_c + \frac{R_b}{\beta}} \quad (1)$$

En la fórmula de cálculo de I_c se ve que ahora el β no influye tanto sobre el valor de la corriente de colector, razón por la cual no hay grandes variaciones de I_c con la temperatura o por cambios del transistor.

Aunque la variación de β sea grande debido a que se cambió el transistor o hubo una variación de temperatura, el circuito no se verá afectado, dado que I_c permanece casi constante.

Sea el caso ahora, del circuito de la figura 9. Q es un transistor de silicio ($V_{be} = 0,6 V$) que posee un $\beta = 200$. Aplicando la fórmula (1), obtenemos:

$$I_c = \frac{12V - 0,6V}{\frac{22.000\Omega}{200} + 1.200\Omega} =$$

$$I_c = \frac{12V - 0,6V}{110\Omega + 1.200\Omega} =$$

$$I_c = \frac{11,4V}{1310\Omega} = 8,7mA$$

Supongamos que hay una variación del 50% del β por cualquier causa, lo que lo lleva a un valor $\beta' = 300$, nos preguntamos, *¿variará mucho la corriente de colector?* Para aplacar dudas, calculemos el nuevo

valor de I_c .

$$I_c = \frac{V_{cc} - V_{be}}{R_c + \frac{R_b}{\beta}}$$

$$I_c = \frac{12V - 0,6V}{1200\Omega + \frac{22.000\Omega}{300}}$$

$$I_c = \frac{11,4V}{1.200\Omega + 73,3\Omega} = 8,95mA$$

Se puede comprobar entonces que una variación del 50% en el valor del β provoca en este caso una variación inferior al 5% en la corriente del colector, lo que indica que ha aumentado la estabilidad del circuito. En este circuito la realimentación negativa también estará presente para la señal alterna que deseamos amplificar; es decir, existe una disminución en la ganancia del circuito, pero la estabilidad lograda compensa ampliamente esta pequeña desventaja ya que, con el precio actual de los transistores, si necesitamos mayor ganancia, siempre podemos recurrir a más etapas en amplificación. Como vemos, logramos estabilidad térmica bajando la ganancia del sistema.

Si consideramos despreciable la corriente de base frente a la corriente de colector, podemos calcular la tensión colector-emisor de la siguiente manera (figura 10):

$$V_{cc} = V_{Rc} + V_{ce}$$

Como $I_c \gg I_b$; trabajando matemáticamente:

$$V_{ce} = V_{cc} - I_c \cdot R_c$$

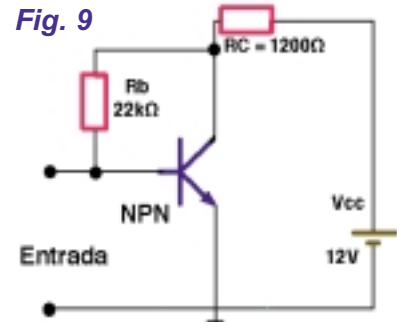
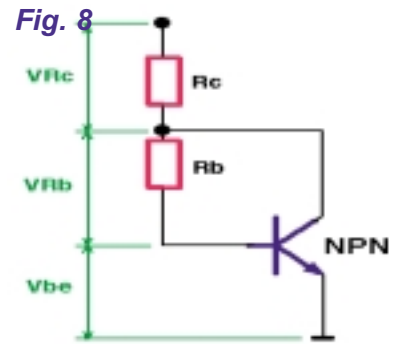
$$V_{ce} = V_{cc} - \frac{V_{cc} - V_{be}}{R_c + \frac{R_b}{\beta}} \cdot R_c$$

Aplicando esta fórmula al ejemplo que hemos analizado, podremos conocer cuánto vale la tensión colector-emisor.

$$V_{ce} = 12V - 8,7mA \cdot 1,2k\Omega = 1,56V$$

La baja tensión V_{ce} indica que el transistor está operando cerca de la zona de saturación. Recordemos que esta zona tiene su límite para una $V_{ce} \approx 1V$.

Para otras aplicaciones resulta



necesario graduar la ganancia de la etapa a voluntad (ganancia de tensión) y además que el circuito sea térmicamente estable; para ello suele utilizarse una realimentación de corriente en el circuito de polarización, por medio de la colocación de un resistor en el emisor del transistor. En el circuito así constituido cualquier aumento en la corriente de colector por alguna causa, desarrollará una tensión sobre el resistor de emisor tal que, si la tensión de base permanece constante, polariza en forma inversa la juntura Base-Emisor que compensará la variación de la corriente de colector.

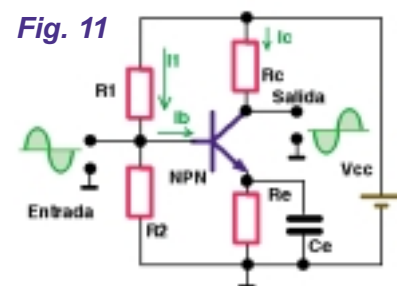
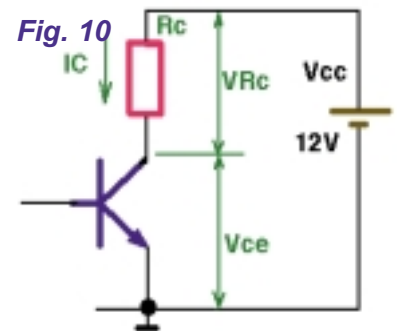


Fig. 12

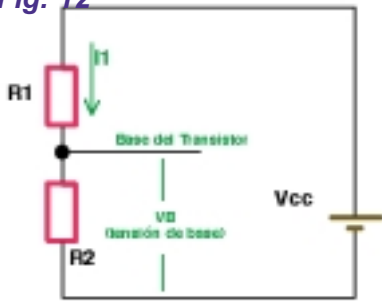
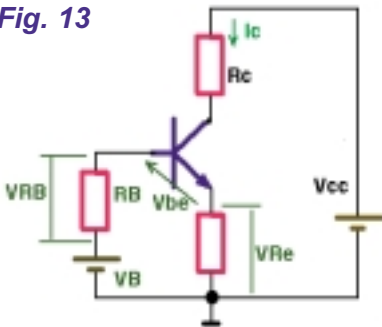


Fig. 13



La polarización "fija" de la base se consigue por medio de un divisor resistivo.

Veamos lo siguiente, la polarización de la base es $V_{cc} \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$ o sea no depende de ningún parámetro del transistor. Un aumento de I_c aumenta V_{Re} que es la caída sobre R_e (ver figura 11). Para calcular la corriente de colector es necesario conocer el valor de la tensión de la base respecto de masa y la resistencia que "ve" la base.

El cálculo se facilita si consideramos que I_1 es mucho mayor que I_b .

Dibujando la batería del otro lado se comprenderá mejor el circuito de entrada (figura 12) :

$$I_1 = \frac{V_{cc}}{R_1 + R_2}$$

$$V_B = I_1 \cdot R_2$$

Reemplazando:

$$V_B = \frac{V_{cc}}{R_1 + R_2} \cdot R_2 \quad (2)$$

El desarrollo que estamos haciendo es una aplicación del teorema de Thevenin que dice que cualquier circuito puede ser reemplazado por un generador de tensión en serie con una resistencia. Aplicando este teorema al circuito que está conectado entre base y masa del transistor, tenemos que R_2 está conectada a la base junto con R_1 y V_{cc} .

Ahora bien, el generador de ten-

sión V_B se calcula como la tensión que cae entre base y masa del transistor cuando éste ha sido desconectado; esta tensión es la que cae sobre R_2 y es la V_B , fórmula (2).

En tanto la resistencia de Thevenin R_B la calculamos con el transistor desconectado y cortocircuitando la fuente de alimentación (I_1). Observe el circuito de la figura recién vista, donde al cortocircuitar la fuente de continua (V_{cc}) R_1 y R_2 quedan conectados en paralelo.

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

En la figura 13 vemos qué ocurre si reemplazamos V_B y R_B en el circuito de la figura 11. Lo hecho no es más que una aplicación del teorema de Thevenin para simplificar el cálculo de la corriente de colector.

Aplicando Kirchhoff en el circuito de la figura, se tiene:

$$V_B = V_{RB} + V_{be} + V_{Re}$$

$$V_B = I_b \cdot R_B + V_{be} + I_e \cdot R_e$$

Como $I_c \approx I_e$

$$V_B = I_b \cdot R_B + V_{be} + I_c \cdot R_e$$

$$\text{También } I_b = \frac{I_c}{\beta}$$

$$V_B = \frac{I_c}{\beta} \cdot R_B + V_{be} + I_c \cdot R_e$$

$$V_B = I_c \cdot \left(\frac{R_B}{\beta} + R_e \right) + V_{be}$$

Despejando:

$$I_c = \frac{V_B - V_{be}}{\frac{R_B}{\beta} + R_e}$$

Donde:

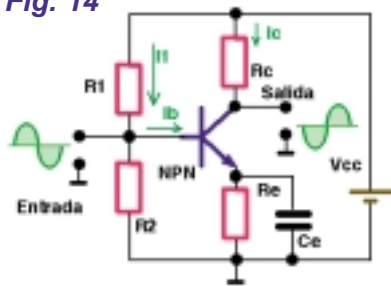
V_B y R_B se calculan por medio de las fórmulas (2) y (3).

$V_{be} = 0,2V$ para el germanio y $0,7V$ para el silicio.

β ganancia de corriente en emisor común dado por el fabricante.

Para que la señal alterna no desarrolle una tensión sobre el resistor R_e , se coloca un capacitor de desacople entre emisor y masa. De esta forma el capacitor en paralelo con R_e deriva la señal de CA a masa pa-

Fig. 14



ra impedir pérdidas de ganancia. En síntesis, el agregado de R_e tiende a estabilizar la corriente de colector.

Dado que generalmente $R_e \gg R_b/b$, si varía el b , I_c se mantiene constante, entonces hay mayor estabilidad (figura 14). De la misma forma que hemos procedido anteriormente, podemos calcular la tensión Colector-Emisor aplicando Kirchhoff en el circuito de salida.

$$\begin{aligned} V_{cc} &= V_{Rc} + V_{ce} + V_{Re} \\ V_{cc} &= I_c \cdot R_c + V_{ce} + I_c \cdot R_e \\ V_{cc} &= I_c (R_c + R_e) + V_{ce} \\ V_{ce} &= V_{cc} - I_c (R_c + R_e) \end{aligned}$$

En síntesis, el agregado de R_e proporciona una estabilidad adicional al circuito ya que permite sensar la corriente de emisor.

Se conecta un capacitor en paralelo para que la corriente alterna se derive a masa por él sin producir caída de tensión alterna sobre R_e , lo que disminuiría la ganancia.

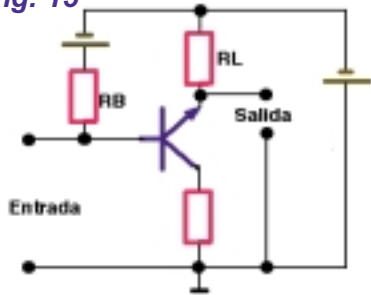
Existen otras polarizaciones para la configuración emisor común pero todas ellas buscan mayor ganancia de tensión y aumento en la estabilidad del circuito que son los factores determinantes para la elección del circuito adoptado para cada caso.

EL AMPLIFICADOR COLECTOR COM N

En este circuito la señal de entrada se aplica entre colector y base que, como sabemos, es una juntura polarizada en inversa para que el transistor trabaje correctamente: de esta manera se logra que la impedancia de entrada de un transistor en esta configuración sea muy alta (resistencia elevada), mientras que la salida se toma entre colector y emisor, siendo la impedancia de salida bastante baja.

Esta etapa posee una ganancia de potencia bastante baja compa-

Fig. 15



rada con la que se puede obtener en una etapa emisor común.

La tensión de salida es siempre menor que la tensión de entrada: por lo tanto, la ganancia de tensión es menor que la unidad. Este circuito se utiliza como elemento adaptador de impedancias (figura 15).

Acomodamos el circuito para poder verlo como comúnmente se utiliza (figura 16). Si aumenta la señal de entrada, aumenta la corriente de emisor y por lo tanto la señal sobre la RC con lo cual, como ocurre en la configuración base común, aquí no hay inversión de fase.

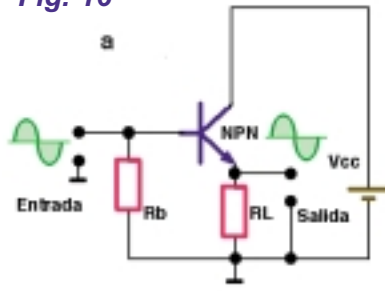
RECTA ESTÁTICA DE CARGA

Los transistores pueden ubicar su funcionamiento en una zona de trabajo donde su respuesta es lineal, una zona denominada "ZONA DE CORTE" y una tercera zona que determina la "SATURACION" del transistor. Se debe establecer un punto de funcionamiento del transistor dentro de su región activa (zona lineal) con el objeto de obtener a la salida del amplificador una señal réplica de la de entrada pero de mayor amplitud. El punto de reposo del transistor, que hemos aprendido a calcular para las distintas polarizaciones, se debe hallar sin aplicar señal externa y se lo llama punto "Q" de funcionamiento, punto de reposo o simplemente punto de trabajo.

Ubicando este punto Q sobre las curvas características de salida del transistor y aplicando métodos gráficos se puede predecir el comportamiento del amplificador cuando se le aplica una señal a la entrada. Si la señal de salida no es fiel a la ingresa, lo más probable es que no se haya elegido correctamente el punto de reposo.

Al polarizar un transistor se debe

Fig. 16



elegir los componentes asociados (resistores, alimentación, etc.) con sumo cuidado, ya que el punto Q no debe quedar en cualquier parte de la zona activa del transistor. Se debe tener en cuenta las especificaciones dadas por el fabricante, tales como Potencia Máxima de Disipación (**Pc max**), Tensión Máxima de Colector (**Vc max**), Corriente Máxima de Colector (**Ic max**), Factor β de Amplificación, etc (figura 17).

Para pequeñas señales, si el transistor está bien polarizado se puede asegurar que la tensión de salida no será distorsionada, "pero no es la misma la tensión de colector que la señal de salida", ya que esta última no debe poseer generalmente una componente de continua, razón por la cual se colocan capacitores de desacople a la salida del circuito (y también a la entrada) lo que obliga a analizar el circuito sin componente continua y con componente continua (figura 18). En este circuito, la tensión de continua del colector del transistor no aparece sobre la resistencia de carga RL a causa del bloqueo impuesto por Cb2 pero la señal sobre RL es una réplica amplificada de la señal de entrada.

Los valores de los capacitores deben ser tales que a la frecuencia mínima de trabajo no ofrezcan resistencia apreciable al paso de la señal. Para la ubicación del punto de trabajo se recurre generalmente a métodos gráficos, se usan las curvas de salida del transistor en la configuración en que se esté utilizando el dispositivo.

Si se conocen los elementos asociados a la salida del transistor pueden calcularse los resistores de polarización de

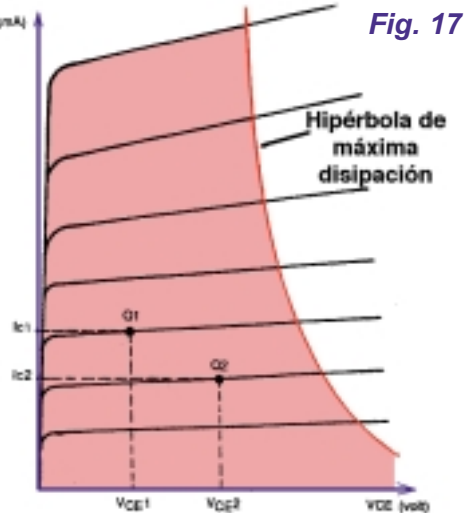
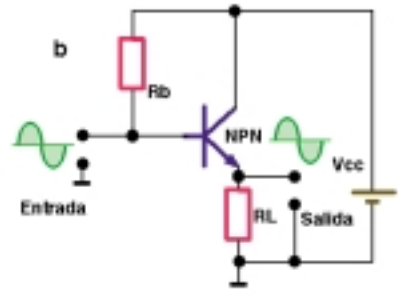


Fig. 17

base, previa ubicación del punto de reposo del transistor, partiendo de la denominada **RECTA ESTÁTICA DE CARGA** del transistor (figura 19). Para trazar esta recta sobre la familia de curvas, se obtiene la ecuación de la malla de salida del circuito. Por ejemplo, en el circuito de un transistor en emisor común con polarización por divisor resistivo se tiene que:

$$V_{cc} = V_{ce} + I_c (R_c + R_e) \quad (4)$$

En esta ecuación, V_{cc} , R_c y R_e son valores conocidos mientras que V_{ce} e I_c son variables.

En geometría se estudia que la ecuación (4) representa una recta y para trazarla hace falta conocer dos puntos de dicha recta. Los puntos elegidos serán:

a) para $V_{ce} = 0$ debemos calcular el valor de I_c . De la fórmula (4):

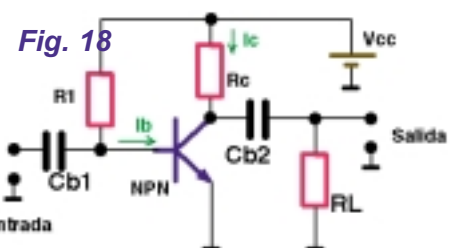


Fig. 18

$$V_{cc} = 0 + I_c (R_c + R_e)$$

despejando:

$$I_c = \frac{V_{cc}}{R_c + R_e}$$

b) Cuando $I_c = 0$, de la fórmula (4):

$$V_{cc} = V_{ce} + 0 (R_c + R_e)$$

$$V_{cc} = V_{ce}$$

Es decir, los dos puntos elegidos para trazar la recta serán:

a) $(I_c; V_{ce}) \Rightarrow \left(\frac{V_{cc}}{R_c + R_e}; 0 \right)$

b) $(I_c; V_{ce}) \Rightarrow (0; V_{cc})$

Si ubicamos estos puntos sobre las curvas de salida del transistor y trazamos una recta que pase por ellos, encontraremos la recta estática de carga del circuito (figura 20).

Esta recta es útil porque no importa que varíe la corriente de base como consecuencia de la aplicación de una señal, los valores de I_c y V_{ce} se ubicarán sobre dicha recta. Además, conociendo los valores máximos de la señal a aplicar y trasladándolos al gráfico se podrá calcular cuáles son los valores correspondientes de la corriente de colector.

RECTA DINÁMICA DE CARGA

Se ha visto que por métodos gráficos se pueden predecir los distintos valores de I_c y V_{ce} que puede tomar un transistor polarizado cuando se le aplica una señal de entrada, pero en el razonamiento no se ha tenido en cuenta la carga que se le aplica al circuito a través de un capacitor.

La Recta Estática de Carga es muy útil para analizar el funcionamiento del circuito sin que a éste se le aplique señal, es decir, donde se ubicaría el punto de reposo si hubiese algún corrimiento de algún parámetro a causa de determinados factores, como por ejemplo la temperatura. Analicemos el circuito de la figura 21. Cuando se aplica una señal de corriente alterna, C_2 es un corto circuito; lo mismo ocurre con el capacitor de desacople de emisor C_E y la fuente de alimentación (por consi-

derarla como un capacitor cargado de alta capacidad). De esta manera el emisor estará conectado a masa y R_c estará en paralelo con la carga R_L . Para analizar el comportamiento del circuito para señales alternas gráficamente es necesario construir una **RECTA DINÁMICA DE CARGA** que contemple el paralelo entre R_c y R_L y ahora $R_E = 0$ a causa de la muy baja impedancia que pasa a tener C_E .

Para trazar la Recta Dinámica de Carga se tiene en cuenta el punto de reposo del transistor ya que sin señal se ubicará sobre dicho punto. La técnica consiste en trazar una recta que pase por el punto Q con pendiente $1/R_d$, siendo R_d el paralelo entre R_c y R_L (figura 22).

$$R_d = \frac{R_c \cdot R_L}{R_c + R_L}$$

CÁLCULO DE LOS CAPACITORES DE PASO

Hemos dicho que tanto los capacitores de acoplamiento de entrada y salida, como el capacitor de desacople de emisor, se deben comportar como un cortocircuito para la señal de trabajo. La forma de cálculo de estos capacitores está íntimamente ligada con la impedancia del circuito "que ven estos elementos" ya que el efecto resistivo debe ser mucho menor que dicha impedancia para todas las señales que se desean amplificar.

La reactancia de un capacitor se calcula como:

$$X_C = \frac{L}{2 \pi \cdot f \cdot C}$$

De aquí se deduce que, en la medida que aumenta la frecuencia de la señal tratada, menor será el efecto de oposición del capacitor al paso de las señales. Por lo tanto, el peor caso se presenta con las señales de menor fre-

cuencia, donde el capacitor puede que no se comporte como un cortocircuito. Para calcular el valor del

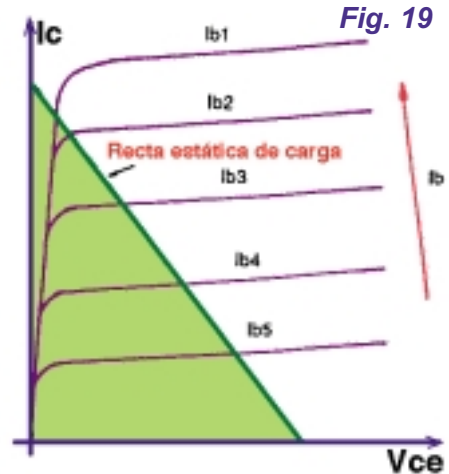


Fig. 19

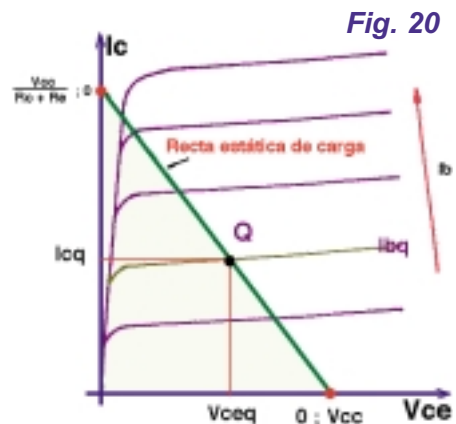


Fig. 20

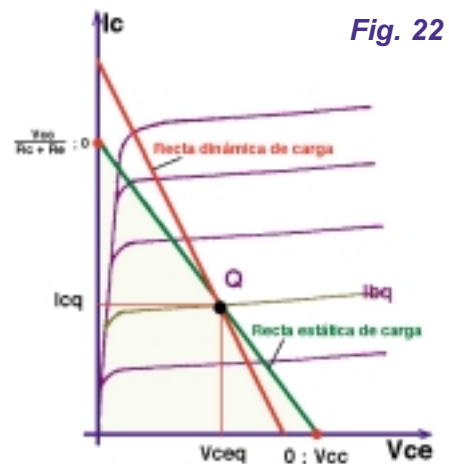


Fig. 22

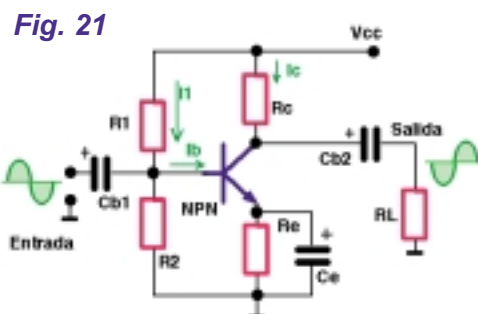


Fig. 21

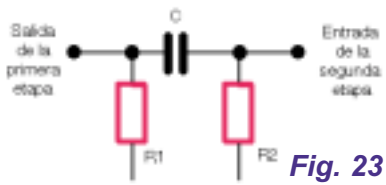


Fig. 23

capacitor necesario, éste debe tener una “resistencia” (en realidad reactancia) 10 veces menor que el valor de la impedancia que él verá a la mínima frecuencia de trabajo del amplificador. Por ejemplo, si la impedancia de entrada de un amplificador es de 5.000Ω , el capacitor de paso de entrada no debe presentar una reactancia superior a 500Ω para la frecuencia mínima de operación.

Para explicar esto mejor con un ejemplo, podemos calcular el valor del capacitor de desacople de una resistencia de emisor de 100Ω si la mínima frecuencia de operación del transistor será de 20Hz.

Sabemos que:

$$X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

y que:

$$X_c = \frac{R_e}{10}$$

luego:

$$\frac{R_e}{10} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

despejando:

$$C_e = \frac{10}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_e}$$

Si queremos dar el valor del capacitor en μF multiplicamos el segundo término por 10^6 , luego:

$$C_e [\mu F] = \frac{10^7}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_e}$$

Reemplazando valores:

$$C_e [\mu F] = \frac{10^7}{6,28 \cdot 20\text{Hz} \cdot 100\Omega} =$$

$$C_e [F] = \frac{10^7}{12,56 \cdot 10^3} = 796 F$$

En general el valor de R_e es mayor, al igual que la frecuencia mini-

ma de operación, con lo cual el valor C_e disminuye bastante. Valores normales están comprendidos entre $50\mu F$ y $220\mu F$.

Del mismo modo se pueden calcular los capacitores de paso (CB1 y CB2) obteniéndose valores normales que oscilan entre $10\mu F$ y $100\mu F$.

Acoplamientos Interetapas

Para conectar el transductor de entrada al amplificador, o la carga u otra etapa es necesario un medio de adaptar impedancias para que exista máxima transferencia de energía. Los acoplamientos interetapas más utilizados son:

- a) Acoplamiento RC
- b) Acoplamiento a transformador
- c) Acoplamiento directo

a) Acoplamiento RC:

Este tipo de acoplamiento es muy utilizado aunque con él no se produce una perfecta adaptación de impedancias y por lo tanto, no habrá máxima transferencia de energía. Separa totalmente la señal de los circuitos de polarización (figura 23). El resistor R1 puede ser el resistor de carga (o polarización) de la primera etapa mientras que R2 puede ser el resistor de polarización de base, si la segunda etapa es un transistor. El capacitor C deja pasar las señales alternas provenientes de la primera etapa y evita que la tensión de polarización quede aplicada en la entrada de la segunda etapa. La capacidad del capacitor C tiene que ser la adecuada a las frecuencias de las señales que se desean amplificar; por ejemplo, para acoplar etapas de audio su valor debe ser elevado (algunos microfarad) para que su reactancia sea pequeña a la menor frecuencia que se desea amplificar. Una capacidad pequeña ofrecería una reactancia elevada al paso de las bajas frecuencias, por lo que éstas quedarían atenuadas. Si se desea acoplar etapas amplificadoras con transistores usando capacitores electrolíticos, la posición del capacitor dependerá de la polaridad de los transistores. Veamos

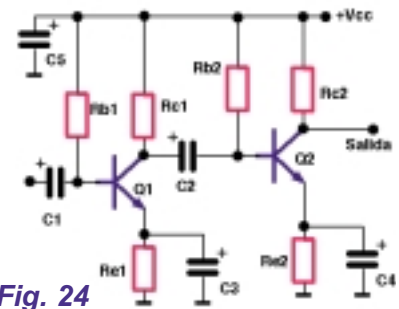


Fig. 24

un ejemplo en la figura 24. Con transistores NPN la base es menos positiva que el colector; por lo tanto, el capacitor electrolítico se conecta con el positivo del lado del colector de la primera etapa. Generalmente se utiliza un acoplamiento con resistor y capacitor en etapas amplificadoras de audio de bajo nivel.

b) Acoplamiento por Transformador

El acoplamiento a transformador se utiliza con el fin de obtener máxima ganancia de potencia; para ello deben adaptarse las impedancias de entrada y de salida del transistor.

En la figura 25 vemos un circuito acoplado a transformador:

Se emplea un transformador reductor T1 para acoplar la entrada del transistor con lo cual, si bien hay una disminución de la tensión aplicada (por ser un transformador reductor), hay un mayor suministro de potencia ya que, por el teorema de máxima transferencia de potencia, se logrará transferir máxima energía cuando las partes están perfectamente adaptadas (igual impedancia). Para adaptar la salida también usamos un transformador reductor ya que el parlante posee baja impedancia, en contraposición con la alta impedancia del colector del transistor. Este T2 adapta las impedancias de colector y parlante, así permite que la potencia entregada al

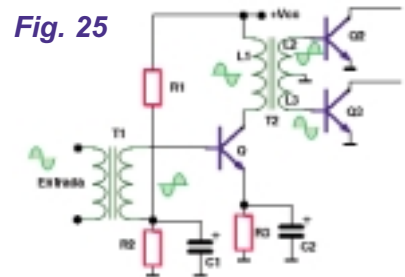
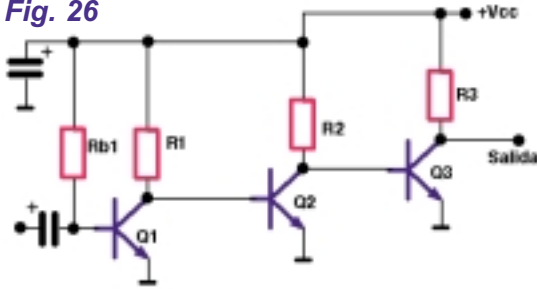


Fig. 25

Fig. 26



parlante sea máxima. En este circuito se tiene una polarización por divisor de tensión, donde R1 y R2 dan la polarización adecuada a la base, y Re da la estabilización necesaria para evitar problemas por cambios en los parámetros del transistor; C1 se coloca para evitar que la señal se atenue sobre R1, y C2 para impedir que la señal se desarrolle sobre Re, así el rendimiento del circuito aumenta. En síntesis, un acoplamiento a transformador permite adaptar impedancias y aísla niveles de continua, pero posee la desventaja fundamental de que sus características varían con la frecuencia, razón por la cual suele distorsionar (aunque muy poco) a todas aquellas señales

que no están compuestas por una sola frecuencia. Además, es pesado y de gran tamaño; si se quiere disminuir las pérdidas, el costo aumenta considerablemente.

c) Acoplamiento Directo

Este tipo de acoplamiento consiste en unir dos etapas por medio de un cable. En principio, este método es ideal porque resulta económico y no sufre las atenuaciones que introduce todo capacitor en bajas frecuencias. En sistemas amplificadores, el método consiste en conectar el colector de un transistor con la base del siguiente (figura 26). El principal problema de este circuito radica en que los niveles de continua del colector de un transistor y de la base del transistor siguiente son iguales, razón por la cual la tensión de colector de los transistores es bajísima limitando así su funcionamiento. Para solucionar este problema se puede polarizar el primer transistor

en configuración colector común, lo que significa que la señal ingresa por la base y sale por el emisor. Para ello se conecta el emisor de la primera etapa a la base de la etapa siguiente.

Podemos conectar dos etapas amplificadoras en emisor común a través de un resistor, considerando este acoplamiento como directo; permite trabajar con distintos niveles de continua entre colector del primer transistor y base del segundo, pero presenta el inconveniente de disminuir el rendimiento.

Las ventajas del acoplamiento directo son aprovechadas en la mayoría de los equipos de audio, ya sea en aquellos que utilizan circuitos integrados o en circuitos de excelente diseño. En la actualidad son muy pocos los equipos de buenas características que no utilizan este acoplamiento. Otra forma de acoplamiento muy difundido en la actualidad es el "Acoplamiento complementario" que se basa en el uso de un transistor NPN y otro PNP, tema del que nos ocuparemos más adelante.

Fundamentos Físicos de la Reproducción del Sonido

El dispositivo universal que se utiliza para la reproducción del sonido, son los parlantes, que son elementos terminales que convierten en ondas sonoras las señales resultantes de los procesos electrónicos previos. Para entender el principio de operación de los parlantes, primero se requiere definir qué son estos elementos y qué es el sonido.

El parlante es **un transductor capaz de transformar una señal de corriente eléctrica en una onda de sonido audible**. Por su parte, el sonido es un fenómeno físico que estimula el sentido del oído mediante cambios en la presión del aire. En los seres humanos, esto ocurre siempre que una vibración con frecuencia comprendida entre los 20 y los 20,000Hz llega al oído interno.

Para llegar al oído interno, las vibraciones viajan por el aire. A veces, el término **sonido** se emplea

únicamente para las vibraciones que se transmiten de este modo; sin embargo, los físicos modernos también suelen utilizarlo para designar a las vibraciones similares que se desplazan a través de medios líquidos o sólidos. A las ondas que se encuentran por debajo del límite audible de 20Hz se les conoce como **infrasónicas**, mientras que los sonidos con frecuencias superiores a 20,000Hz se denominan **ultrasonidos**.

PROPAGACIÓN DE LAS VIBRACIONES U ONDAS

En general, las vibraciones u ondas del sonido se propagan de forma transversal o longitudinal. En ambos casos, la energía y el ritmo del movimiento ondulatorio sólo se propagan a través del medio en

cuestión; es decir, ninguna parte de éste se desplaza físicamente en la dirección de propagación para permitir el viaje de la onda. Por ejemplo, si atamos una cuerda a un punto fijo (un poste), la estiramos sin aplicar demasiada fuerza y la sacudimos, una onda se desplazará del extremo que estamos sujetando hasta su otro extremo; al llegar al punto fijo, la onda se reflejará y viajará de regreso hasta nuestra mano.

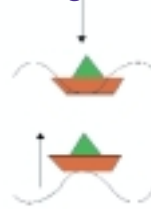
Este tipo de movimiento ondulatorio se denomina "**onda transversal**". Del mismo modo, si tiramos una piedra a un estanque, una serie de ondas transversales se propagará desde el punto de impacto.

Entonces, cualquier objeto que flote cerca de este punto se moverá hacia arriba y hacia abajo, de acuerdo con la dirección y fuerza del movimiento ondulatorio; pero apenas mostrará movimiento longi-

Al caer en el agua, la piedra genera ondas transversales



Fig. 1



las moléculas permanecen más o menos en la misma posición (figura 2).

Características Físicas

Una nota musical, por ejemplo, puede ser definida en su totalidad, mediante

tres características con que se percibe: **el tono, la intensidad y el timbre**. Estos atributos corresponden exactamente a tres características físicas: **la frecuencia, la amplitud y la composición armónica o forma de onda**.

Frecuencia o tono

Por frecuencia del sonido se entiende el número de ciclos de una onda por segundo. Conforme mayor sea la frecuencia de una onda, más agudo se escuchará el sonido; y al contrario, conforme menor sea la frecuencia de la misma, más grave se escuchará el sonido. Un fenómeno interesante es el que se produce cuando se tocan dos instrumentos distintos en la misma nota. Ambos sonidos pueden tener la misma frecuencia, pero no necesariamente se percibirán igual; la diferencia radica en el timbre característico de cada instrumento..

Amplitud

La amplitud de una onda de sonido es el grado de movimiento de las moléculas de aire que la transportan. Dicho movimiento corresponde a la intensidad de expansión y compresión de la propia onda. Cuanto mayor es la amplitud de la onda, más intensamente golpea ésta a las moléculas del tímpano y más fuerte es el sonido percibido. La amplitud de una onda de sonido puede expresarse en unidades absolutas, mediante la medición de la distancia de desplazamiento de las moléculas del aire, la medición de la diferencia de presiones entre la compresión y la expansión, o la medición de la energía transportada. Para expresar la intensidad de los sonidos, éstos se comparan con un sonido patrón; en tal caso, la intensidad se expresa en decibeles (dB).

Intensidad

La distancia a la que se puede escuchar un sonido, depende de la intensidad de éste; la intensidad es el flujo promedio de energía que atraviesa cada unidad de área perpendicular a la dirección de propagación. En el caso de ondas esféricas que se propagan desde una fuente puntual, la intensidad medida en un punto es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia; esto, suponiendo que no se produzca ninguna pérdida de energía debido a la viscosidad, la conducción térmica u otros efectos de absorción.

En la propagación real del sonido en la atmósfera, los cambios físicos que el aire experimenta dan lugar a la amortiguación y dispersión de las ondas sonoras.

Timbre

Vamos a suponer que tenemos un violín, un piano y un diapasón, y que con la misma intensidad se toca en los tres una nota **La** -situada sobre el **Do** central. Los sonidos resultantes serán idénticos en frecuencia y amplitud, pero muy diferentes en timbre. De las tres fuentes, el diapasón es el que produce el tono más sencillo, conformado casi exclusivamente por vibraciones de tipo senoidal con frecuencias de 440 Hz.

Debido a las propiedades acústicas del oído y a las propiedades de resonancia de su membrana vibrante, es dudoso que un tono llegue en estado puro al mecanismo interno del oído. La componente principal de la nota producida por el piano o el violín también tiene una frecuencia de 440 Hz; sin embargo, ambas notas contienen a su vez componentes cuyas frecuencias son múltiplos exactos de 440 Hz: los llamadas **frecuencias armónicas**. Las intensidades y el defasamiento que exist

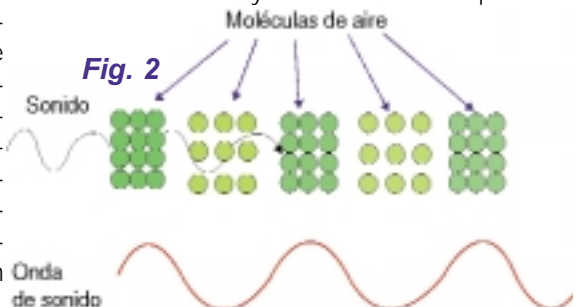
tudinal, o sea un desplazamiento (figura 1).

LA ONDA DE SONIDO

Una onda de sonido es una onda longitudinal. A medida que la energía del movimiento ondulatorio se propaga alejándose del centro de la perturbación, las moléculas de aire individuales que transportan al sonido se mueven hacia delante y hacia atrás, de forma paralela a la dirección de dicho movimiento.

Si un cuerpo se desplaza ligeramente hacia adelante, momentáneamente el aire frente a él se comprime, pero de forma instantánea trata de recuperar su densidad normal; por lo que la compresión comienza a viajar en la misma dirección del movimiento inicial, pero con la distancia se va diluyendo poco a poco. Exactamente esto sucede cuando el mismo cuerpo retrocede a su sitio original, pero ahora generando una pequeña porción de baja densidad, que viaja con las mismas características de la anterior.

Combinando ambos efectos, cuando un objeto está vibrando rápidamente, frente a él se genera una serie de zonas donde la densidad del aire varía dependiendo del grado de desplazamiento original del cuerpo, formando una serie de ondas que se van alejando del punto de origen. Estas sucesivas zonas de aire comprimido y enrarecido son captadas por el tímpano, el cual reproduce en escala pequeña los desplazamientos originales del cuerpo vibrante, y transmite al oído interno esta información, donde el cerebro lo interpreta como sonido. Quiere decir que una onda de sonido es una serie de compresiones y rarefacciones sucesivas del aire. Cada molécula transmite la energía a la molécula que le sigue; una vez que la onda de sonido termina de pasar,



Las Ondas Electromagnéticas

ten entre esas otras componentes, determinan el timbre de la nota.

VELOCIDAD DEL SONIDO

La frecuencia de una onda de sonido, es una medida del número de vibraciones por segundo de un punto determinado; a la distancia entre dos crestas (cimas) adyacentes de la onda, se le denomina **longitud de onda**. Al multiplicar el valor de la longitud de onda por el de la frecuencia, se obtiene la velocidad de propagación de la onda. Esta velocidad es igual para todos los sonidos sin importar su frecuencia, siempre y cuando se propaguen a través del mismo medio y a la misma temperatura. Por ejemplo, mientras la longitud de onda de la nota "La" situada sobre el "Do" central es de unos 78,20 cm, la de la nota "La" situada abajo del mismo es de 156,40 cm. En aire seco y a una temperatura de 0° C, la velocidad de propagación del sonido es de 331,6 m/s. Al aumentar la temperatura, aumenta la velocidad del sonido; por ejemplo, a 20° C la velocidad es de 344 m/s. Por lo general, el sonido viaja más rápido a través de líquidos y de sólidos que a través de gases. Tanto en los líquidos como en los sólidos, la densidad tiene el mismo efecto que en los gases.

REPRODUCCION DEL SONIDO

Para la reproducción del sonido se emplean parlantes. Existen diferentes tipos, pero la mayoría de los actuales son dinámicos. Estos altavoces incluyen una bobina de ca-

ble muy ligero, sumergida dentro del campo magnético de un potente imán permanente o de un electroimán (figura 3).

Una corriente eléctrica variable, procedente de los circuitos electrónicos de algún amplificador, atraviesa la bobina y modifica la fuerza magnética entre ésta y el campo magnético del parlante. Al producirse cambios de corriente, la bobina vibra y entonces hace que un diafragma o un gran cono vibrante (unido mecánicamente a ella) se mueva para generar en el aire ondas sonoras; a su vez, este movimiento impulsa a las moléculas de aire en la forma del sonido que se desea reproducir.

Tipos de Parlantes

Para aumentar la potencia y la calidad del sonido, pueden utilizarse conjuntos especiales de parlantes de diferente tamaño: los pequeños son para notas agudas y los grandes para notas graves.

La forma o diseño de los parlantes, es también factor que incide en la calidad del sonido que se reproduce. Existen básicamente tres tipos: circulares, cuadrados y elípticos (figura 4). Los primeros ofrecen una muy buena reproducción de sonido; los cuadrados, sólo una regular o buena reproducción; los elípticos son las mejores, pues permiten una

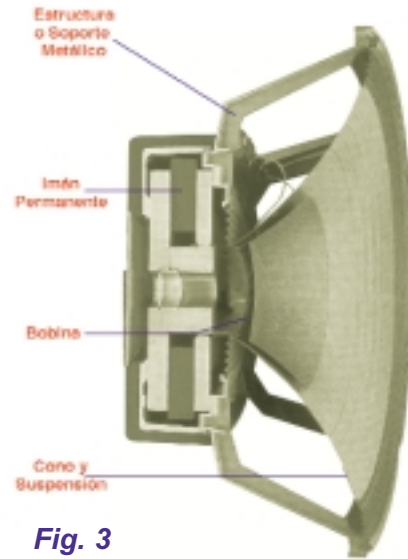


Fig. 3

excelente reproducción. La razón, es que el uso de los parlantes elípticos equivale a tener un parlante circular pequeño para tonos medios y otro circular grande para tonos bajos.

En todo sistema reproductor de audio, siempre será necesario instalar dos o más tipos de altavoces. La fidelidad del sonido mejora cuando para cada frecuencia y amplitud de la señal de audio se usa un tipo diferente de parlante; es decir, para tener un buen sistema de sonido se requieren reproductores de agudos (llamados *tweeters*), parlantes que reproduzcan los medios (*midrange*) y los graves (conocidos como *woofers*). Obviamente, el tema es amplio, por lo que lo analizaremos más adelante. *****

Fig. 4



Parlante Circular

Parlante Elíptico

Parlante Cuadrado

El Surgimiento de

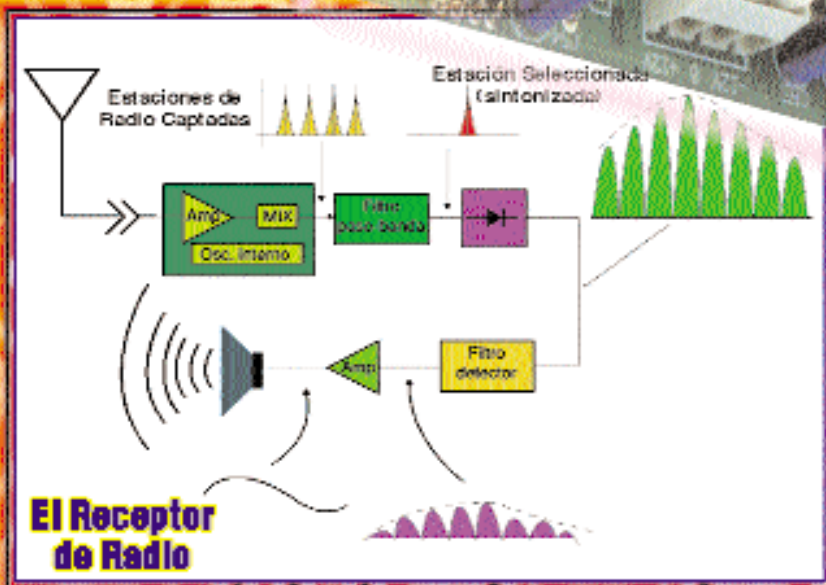
La Radio

7

El Mundo de la

Electrónica

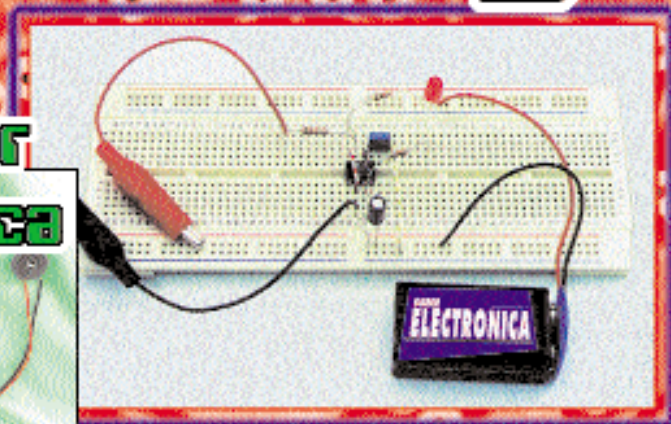
TV
AUDIO
VIDEO
MICROPROCESADORES



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 tensi n** (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.

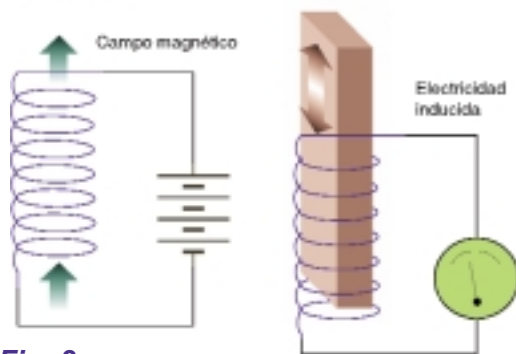


Fig. 2

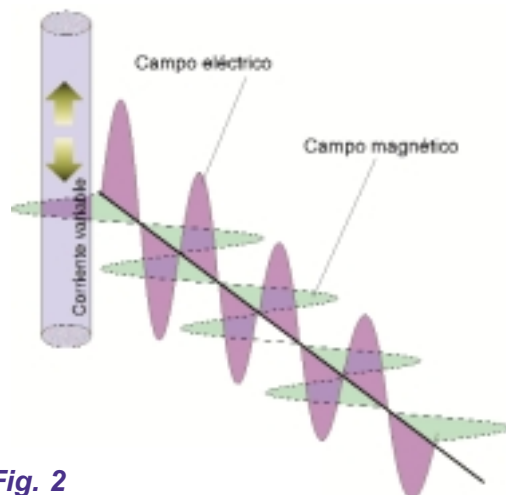


Fig. 2

Fig. 4

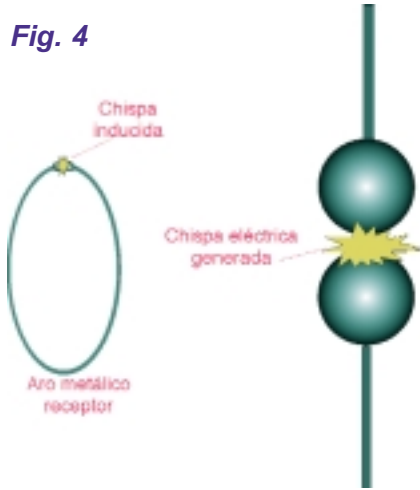
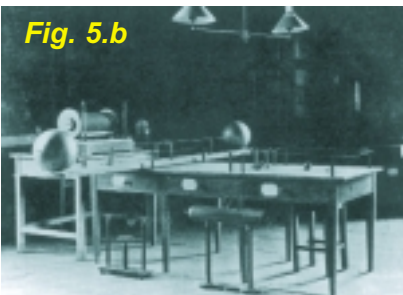


Fig. 5.a



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-

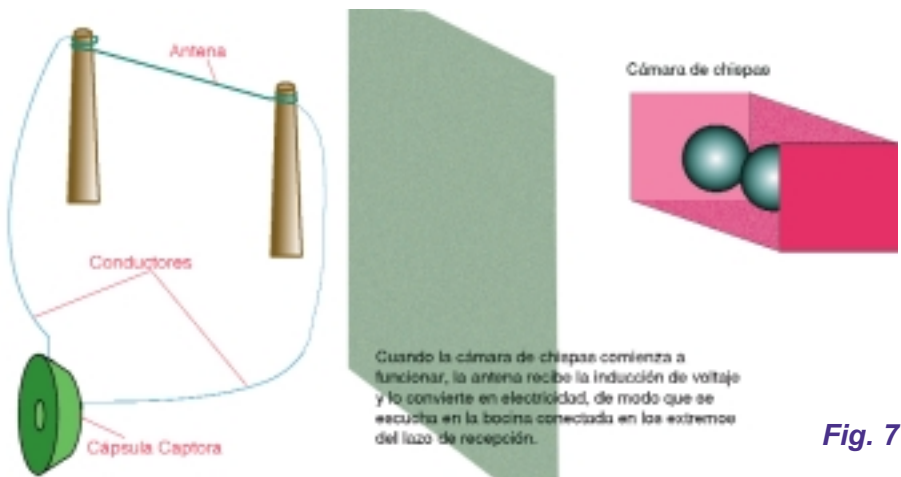


Fig. 7

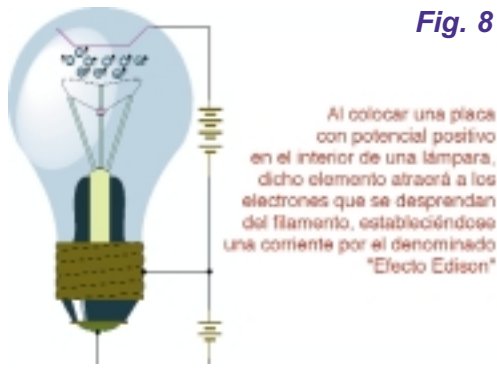


Fig. 8

Al colocar una placa con potencial positivo en el interior de una lámpara, dicho elemento atraerá a los electrones que se desprendan del filamento, estableciéndose una corriente por el denominado "Efecto Edison"

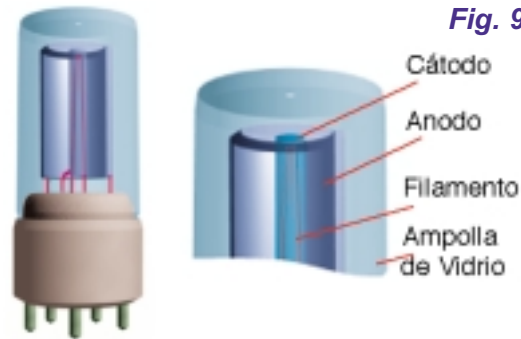


Fig. 9

Cátodo
Anodo
Filamento
Ampolla de Vidrio

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).

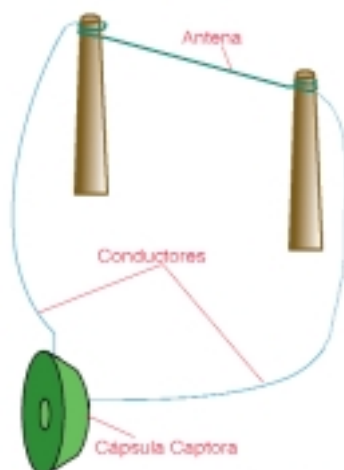
Este fenómeno, conocido y patentado como efecto Edison, inspiró al ingeniero el físico inglés John Ambrose Fleming a desarrollar la primera válvula electrónica del mundo:

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.

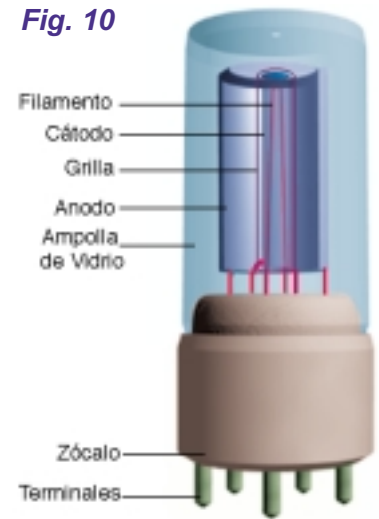


Cuando se emplean dos cámaras de chispas tradicionales, es imposible que el receptor distinga cuál es la que está transmitiendo

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

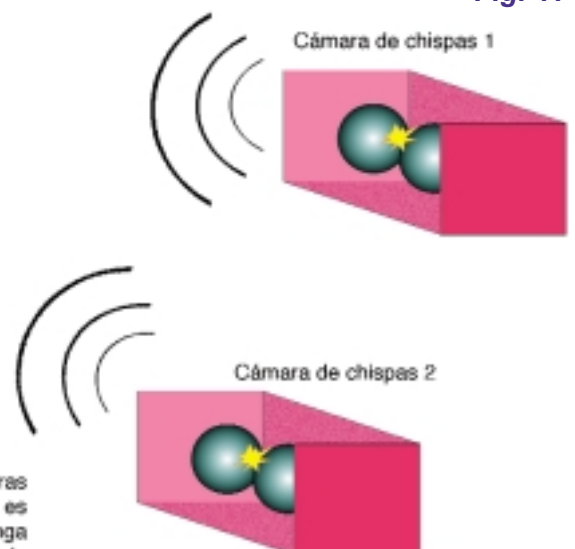


PRINCIPIO BÁSICO DE OPERACIÓN DE UN RECEPTOR DE RADIO

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: suponíamos 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



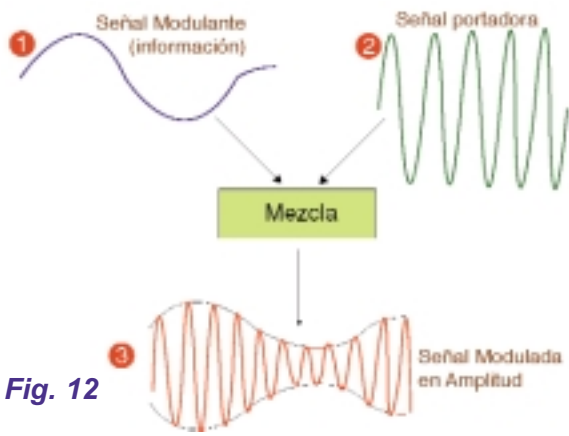


Fig. 12

amplitud consiste en **montar** sobre una señal de frecuencia superior la señal de audio que se va a transmitir (figura 12); y como es posible asignar frecuencias de portadora distintas a cada una de las estaciones radiales que lo soliciten, puede haber varias de éstas en una comunidad sin que se interfieran una con otra.

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.)

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.

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 pasabanda, 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).

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.

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.

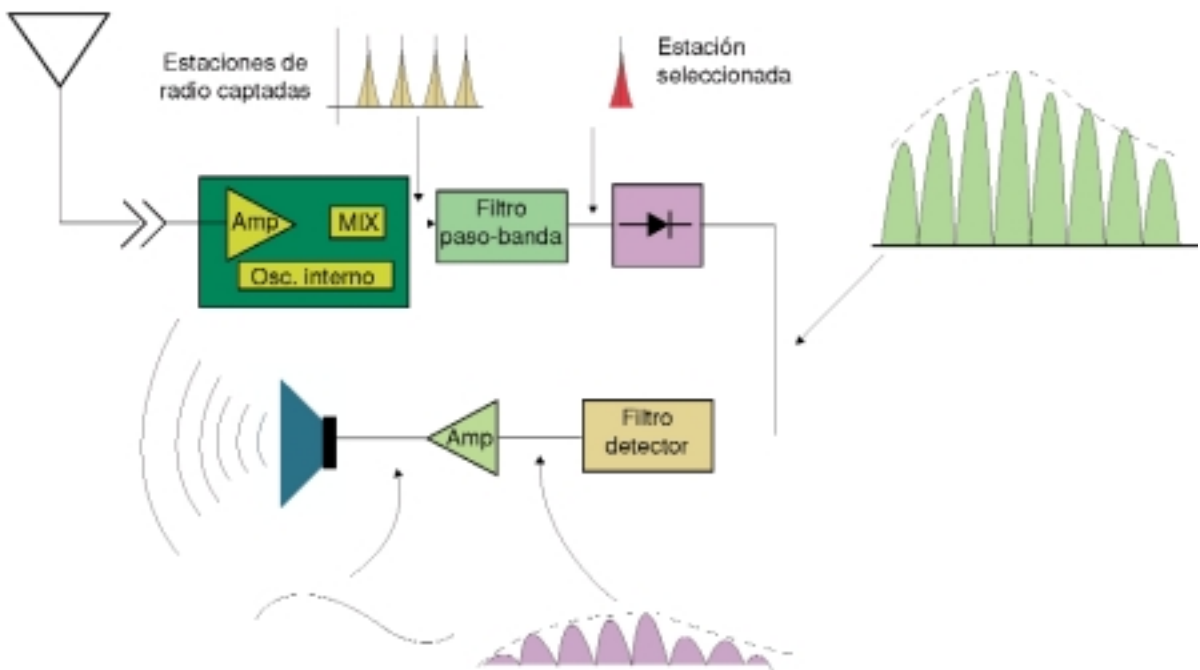
LAS PRIMERAS TRANSMISIONES

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

Oficialmente, la primera estación en forma que inició transmisio-

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

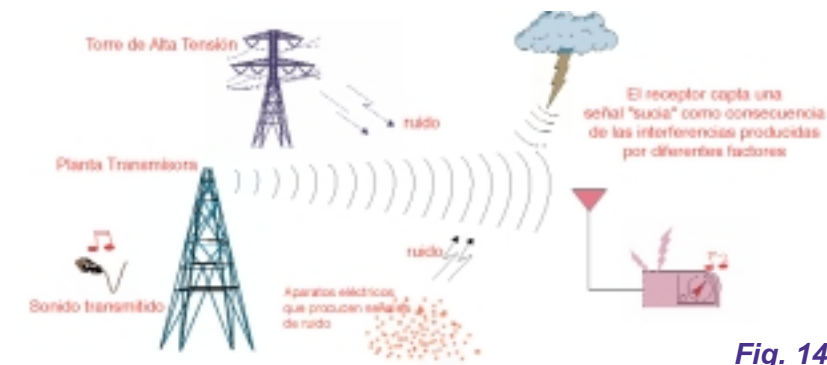


Fig. 14

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 ESTREO**

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-

El Surgimiento de la Radio

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

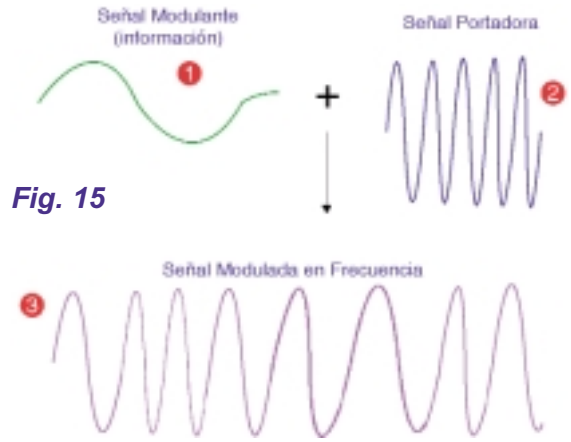


Fig. 15

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-

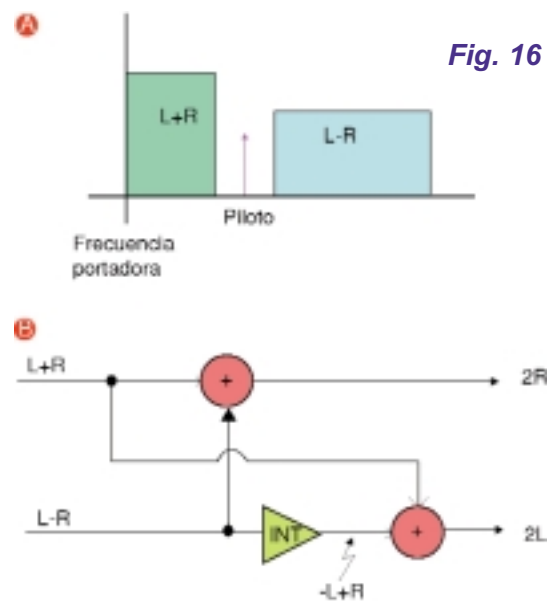


Fig. 16

Transistores de Efecto de Campo

ciones.

Los FETs

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 FETs 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 semiconductor; 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

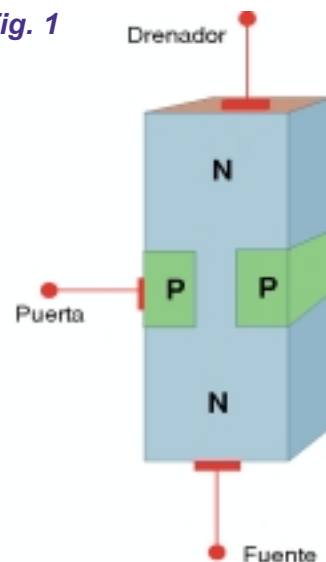
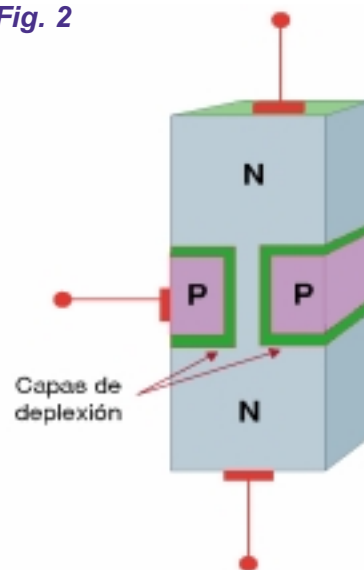


Fig. 2



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

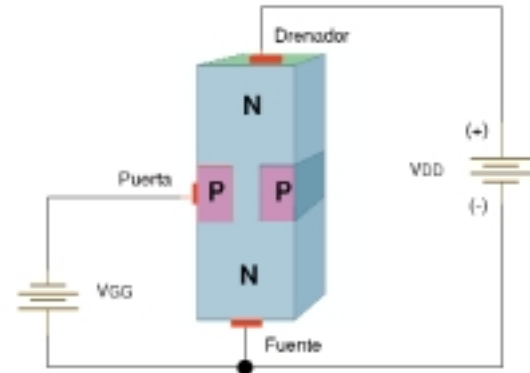
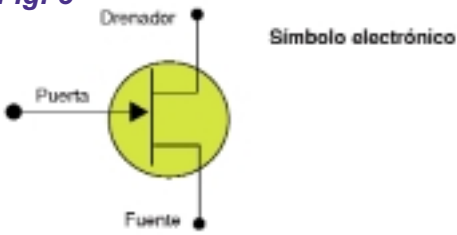


Fig. 4

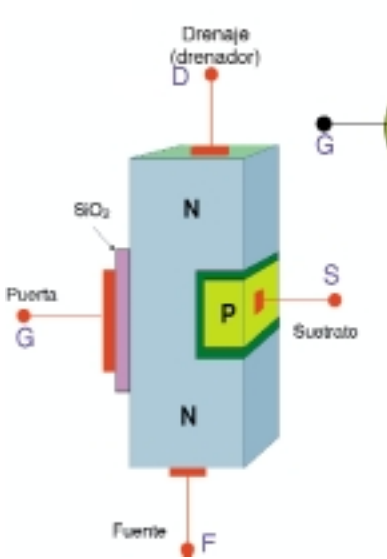
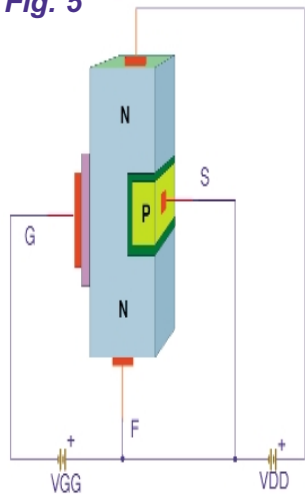


Fig. 5



Un MOSFET de empobrecimiento de canal N, también denominado MOSFET de deplexión, 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.

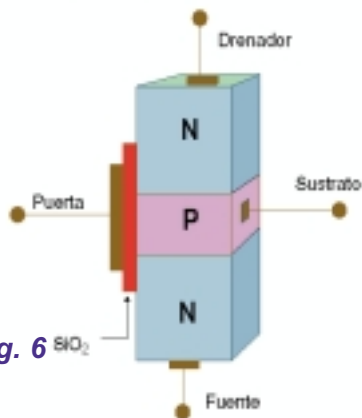
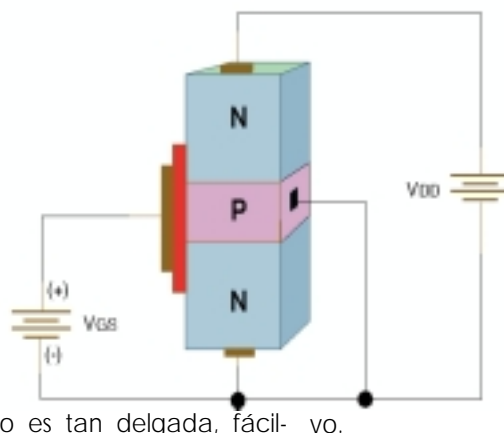


Fig. 6 SiO₂

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 deplexión. 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 FET S

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

conectada. Y antes de sujetar cualquier dispositivo MOSFET, es necesario conectar nuestro cuerpo al chasis del equipo con el que se está trabajando; así podrá eliminarse la carga electrostática acumulada en nosotros, a fin de evitar posibles daños al dispositi-

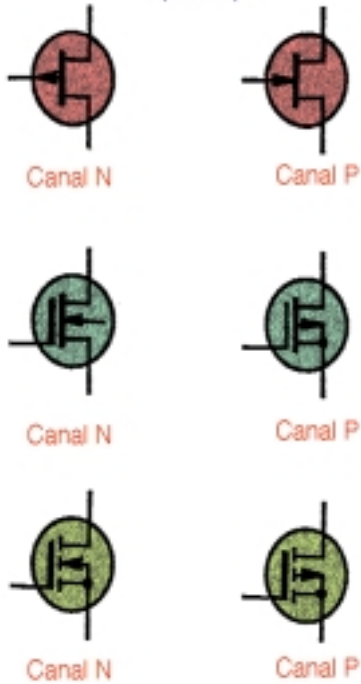
FUNCIONAMIENTO DEL TRANSISTOR DE EFECTO DE CAMPO

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:

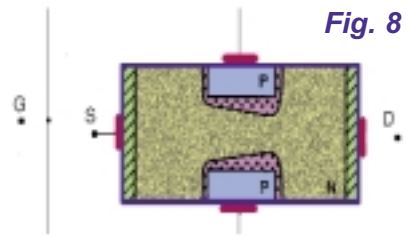
$$V_{DS} \geq V_p - V_{GS}$$

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:

- VDD = 12 V
- RD = 1kΩ
- VGG = 2V
- IDSS = 10mA
- Vp = -4V

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

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

luego:

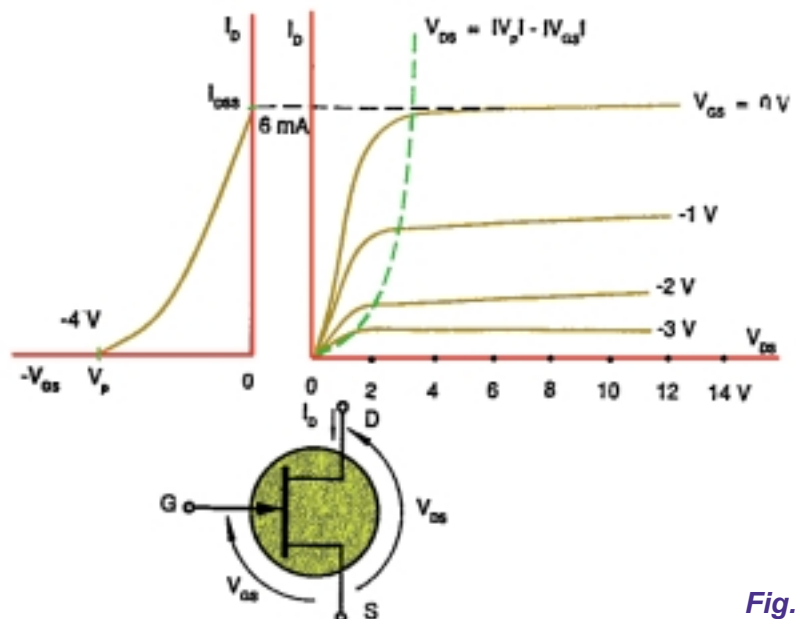
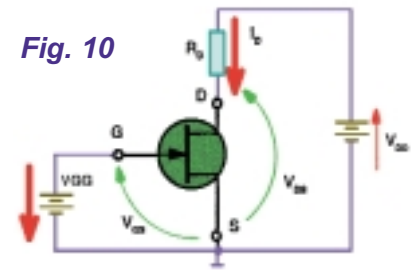
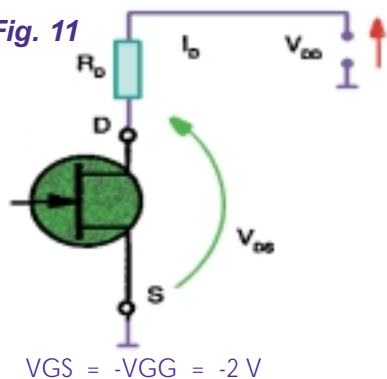


Fig. 9

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:

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

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

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:

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

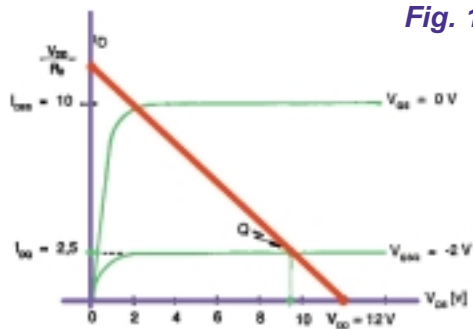
por lo tanto:

$9,5V \geq 2V$

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.

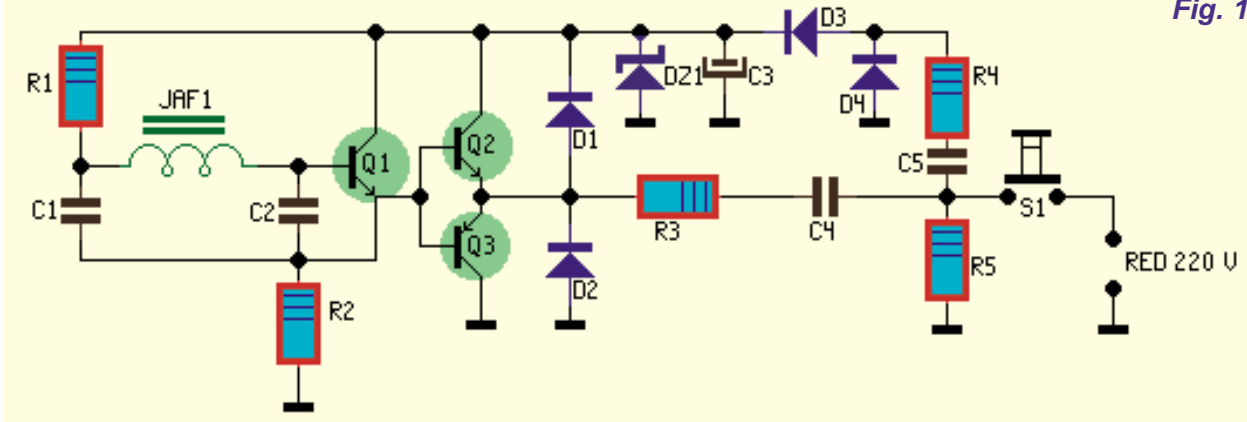
EL CIRCUITO TRANSMISOR

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 rectificad 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 corriente 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.

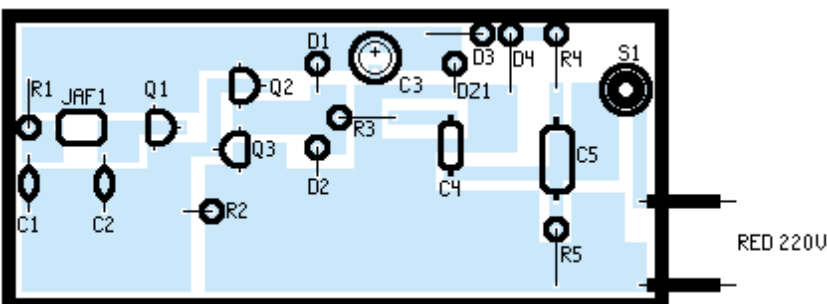
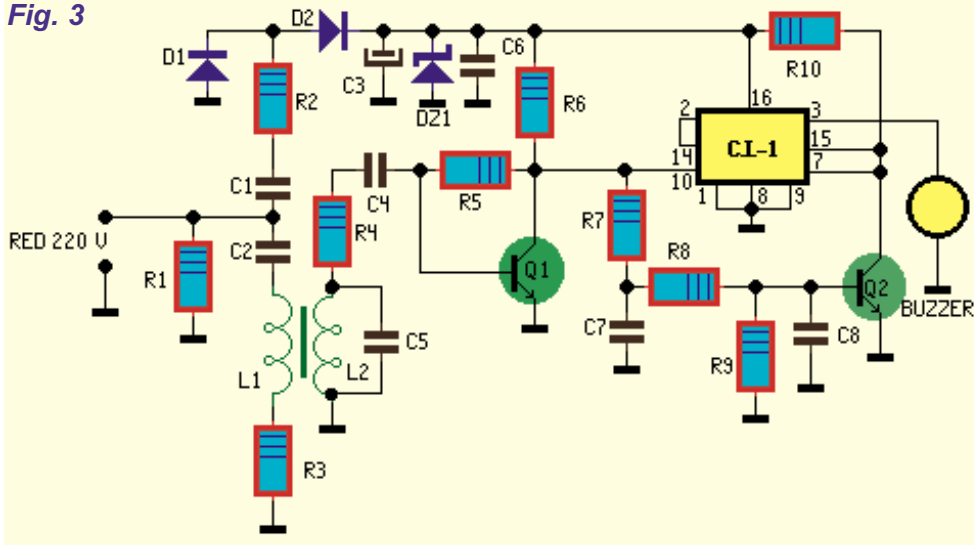


Fig. 2

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

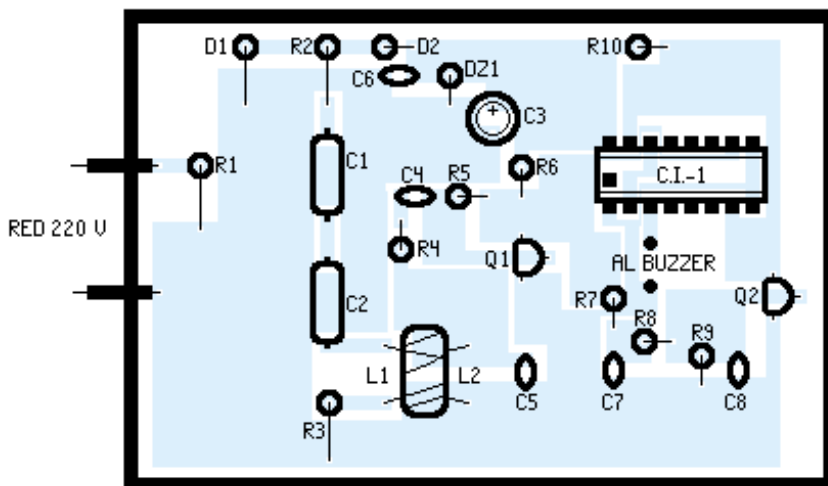


Fig. 4

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.

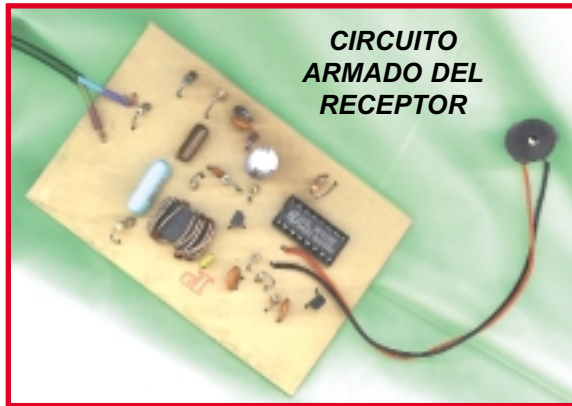
Para efectuar el arrollamiento se usará cable recubierto de plástico, o alambre esmaltado de 1 mm de diámetro. Para la bobina L1 se darán 6 vueltas alrededor del núcleo, para la L2, 16 vueltas alrededor del núcleo. Se aconseja montar IC1 en un zócalo.

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-



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 impresa 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

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. *****