

La TV Codificada

Métodos de Codificación y Decodificación

21

El Mundo de la Electrónica

Circuito Decodificador de Sonido



SABER
ELECTRONICA

EDICION ARGENTINA

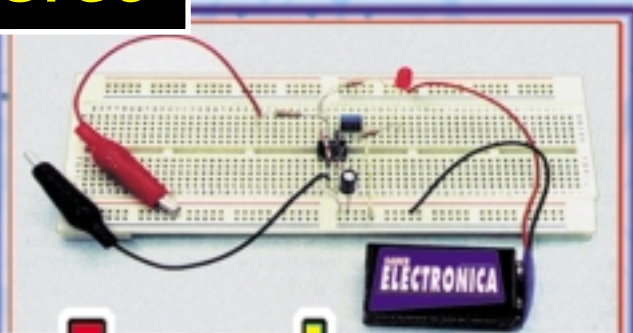
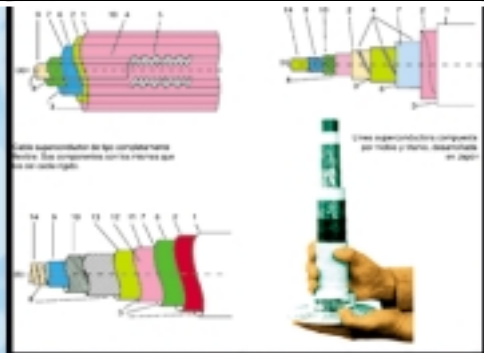
Los Circuitos de Conmutación



SABER
ELECTRONICA

EDICION ARGENTINA

Los Superconductores



Bricolage

Enciclopedia Visual de la Electrónica

INDICE DEL CAPITULO 21

LA TV CODIFICADA

Diagrama en bloques del modulador de sonido	323
Recuperación del audio en el decodificador	324
Circuito decodificador de sonido	325

CIRCUITOS DE CONMUTACION

Introducción	327
Circuitos de aplicación	327
Comportamiento de las	

cargas en un semiconductor	327
Dispositivos específicos de disparo	329
Rectificador controlado de silicio	329
Triac	330
Diac	331

LA SUPERCONDUCTIVIDAD Y SUS APLICACIONES

Qué se entiende por superconductividad	333
Características de los superconductores	333

Aplicaciones de los superconductores	334
Generación de energía eléctrica	335
Mejores dispositivos electrónicos	335
Transportación terrestre	335
Aplicaciones	336

Cupón Nº 21

Guarde 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.

La TV Codificada

NOTA: EL PRESENTE CAPITULO SE INCLUYE PARA FACILITAR LA INVESTIGACION SOBRE LAS TECNICAS DE CODIFICACION Y DECODIFICACION DE SEÑALES DE TV. TANTO LA EDITORIAL COMO EL AUTOR RECUERDAN A TODOS LOS LECTORES QUE LA FABRICACION Y COMERCIALIZACION DE DECODIFICADORES CLANDESTINOS ESTA SEVERAMENTE PENADA POR LA LEY. LO QUE SI ES PERFECTAMENTE LEGAL ES LA TAREA DE INVESTIGACION CONDUCTENTE AL DISEÑO DE CODIFICADORES Y SUS DECODIFICADORES OFICIALES PARA REALIZAR TRANSMISIONES Y RECEPCIONES CODIFICADAS DE TV CON LA CONSIGUIENTE AUTORIZACION DE LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES. MAS AUN, ESTA ACTIVIDAD DEBE SER PROMOVIDA COMO UNA FUENTE DE RECURSOS PARA NUESTRA VAPULEADA INDUSTRIA ELECTRONICA.

INTRODUCCIÓN

La Secretaría de Comunicaciones obliga a transmitir el sonido de los canales eróticos en forma codificada. Como en general la misma frecuencia (el mismo canal) es utilizada también para las emisiones deportivas, todas resultan codificadas del mismo modo para evitar que el sonido de las emisiones deportivas pueda ser recibido en un TV sin decodificador.

Si se trata de evitar que un TV normal reciba el sonido codificado, lo más adecuado es interponer un modulador de sonido con una subportadora fuera de la banda de audio. Esta subportadora puede estar modulada en amplitud o en frecuencia, pero

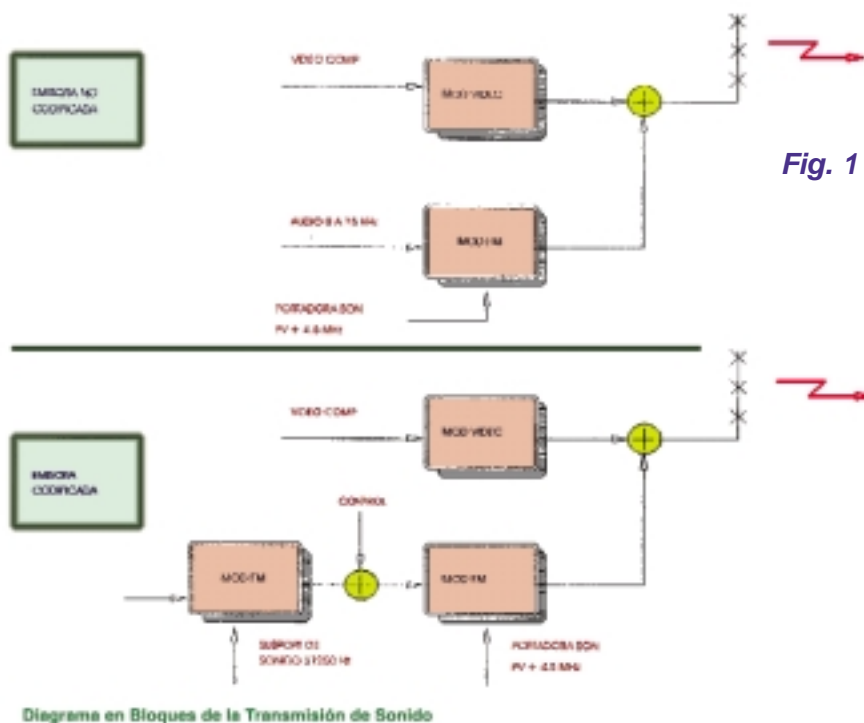


Fig. 1

siempre se elige la modulación de frecuencia para poder transmitir señales de control de codificación de video en la banda base de audio, es decir entre 0 y 15kHz.

DIAGRAMA EN BLOQUES DE UN MODULADOR DE SONIDO

En una transmisión normal, el modulador de sonido de la emisora es un modulador de frecuencia con una frecuencia portadora que se encuentra 4,5MHz por encima de la portadora de video. En un transmisor codificado se mantiene este mismo esquema, pero la señal modulante ya no es la señal de audio sino una subportadora con una frecuencia superior a 20kHz. Ver figura 1.

El camino de la transmisión de audio de un hipotético canal que emite la portadora de video en 300MHz, sería el siguiente: La señal de audio se envía a un mo-

dador de frecuencia que recibe además una subportadora de 31.250Hz (u otra frecuencia superior a 20kHz para que sea inaudible). La salida del primer modulador será entonces una portadora de 31.250Hz modulada en frecuencia por la señal de audio. Esta señal se envía a un sumador, en donde se agregan señales de control de la codificación de video comprendidas en la banda de frecuencias de 0 a 15kHz. El espectro de la señal compuesta de audio y control puede observarse en la figura 2.

A su vez, el espectro de la señal de nuestro canal hipotético de 300MHz se puede observar en la figura 3.

Observe que las portadoras se transmiten con diferente amplitud; la portadora de sonido se transmite con la mitad de energía que la de video en un canal sin codificar. En un canal codificado se suele aumentar el nivel de la portadora de sonido para que in-

terfiera con el video en un TV normal; luego se compensa esto con un filtro de superficie en la FI del decodificador.

El ancho de banda del sonido es también mayor para un canal codificado, ya que se transmiten frecuencias más altas, por lo general, llega hasta 50 kHz, siendo este detalle a considerar en el diseño de la FI de sonido del decodificador.

RECUPERACIÓN DE AUDIO EN EL DECODIFICADOR

Si se observa con un osciloscopio la salida de audio del detector de FI de sonido del decodificador, se observa una forma de señal como la indicada en la figura 4.

El oscilograma muestra una portadora de 31.250Hz modulada en frecuencia y, sumada a ella, una señal llamada puerta vertical y algunos pulsos que se presentan aleatoriamente. La puerta vertical es una señal rectangular que, en período de inactividad, coincide con el pulso de sincronismo vertical que dibujamos debajo de la señal de audio.

Olvidemos por un momento la señal de puerta vertical y pense-

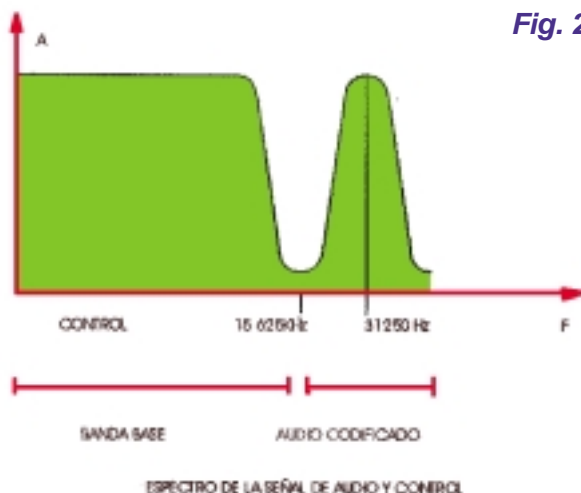
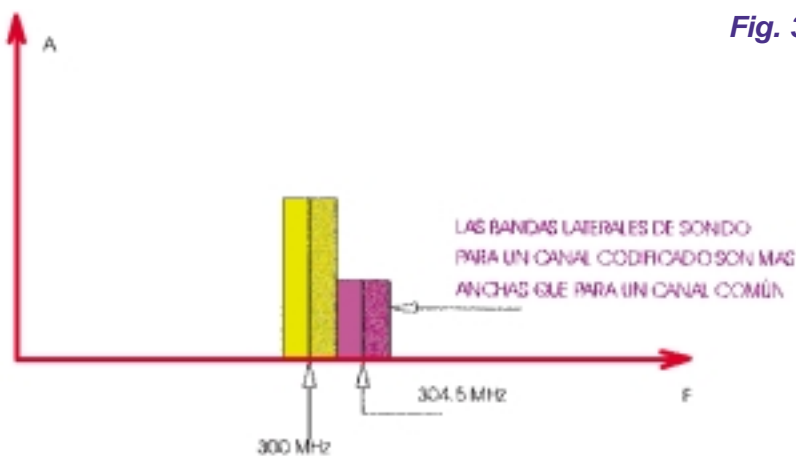


Fig. 2

Fig. 3

mos sólo en la señal de 31.250Hz modulada en frecuencia. La manera más sencilla de recuperar el audio es con un circuito integrado PLL cuya teoría de funcionamiento se encuentra en un apéndice del libro *TV Codificada II*. Sin embargo, en ese apéndice se trata a los circuitos integrados PLLs más desde el punto de vista de la recuperación de los pulsos horizontales, en tanto que aquí los usaremos como detectores de FM. De cualquier manera se trata de los mismos integrados pero conectados de otro modo. Aquí vamos a utilizar el circuito integrado de **NATIONAL LM565CN** o sus reemplazos (por ejemplo, el **SIGNETICS NE565** y otros que llamaremos 565 genéricos). En la figura 5 mostramos el diagrama en blo-



ESPECTRO DE RF

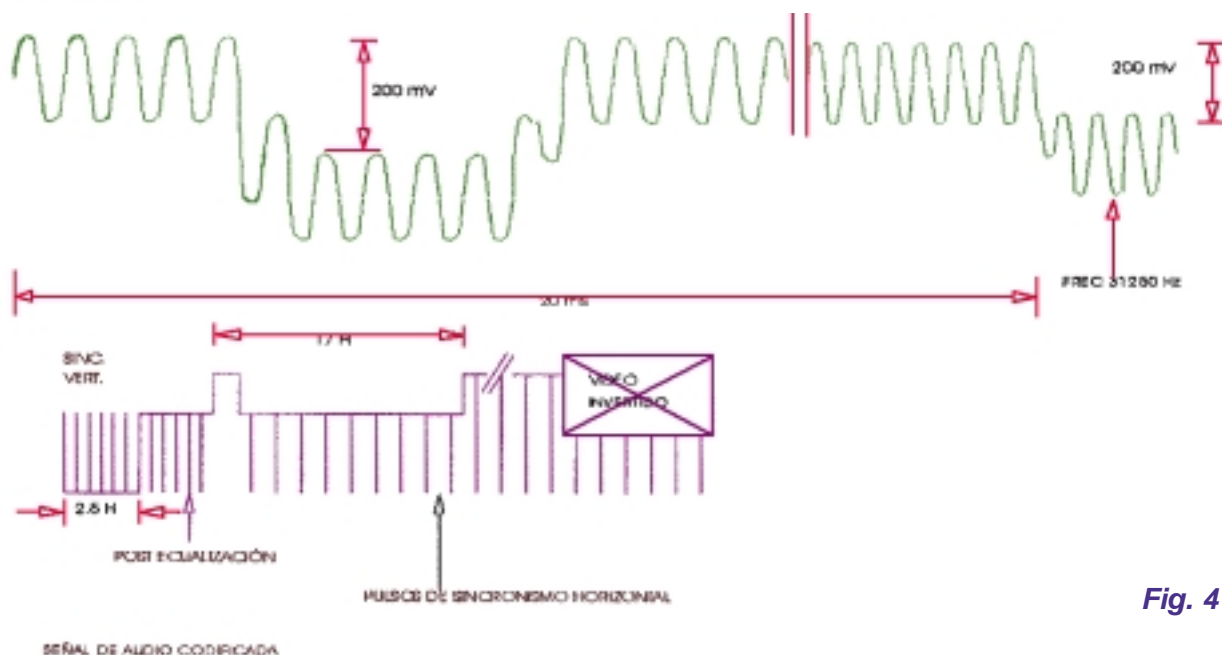


Fig. 4

Fig. 5

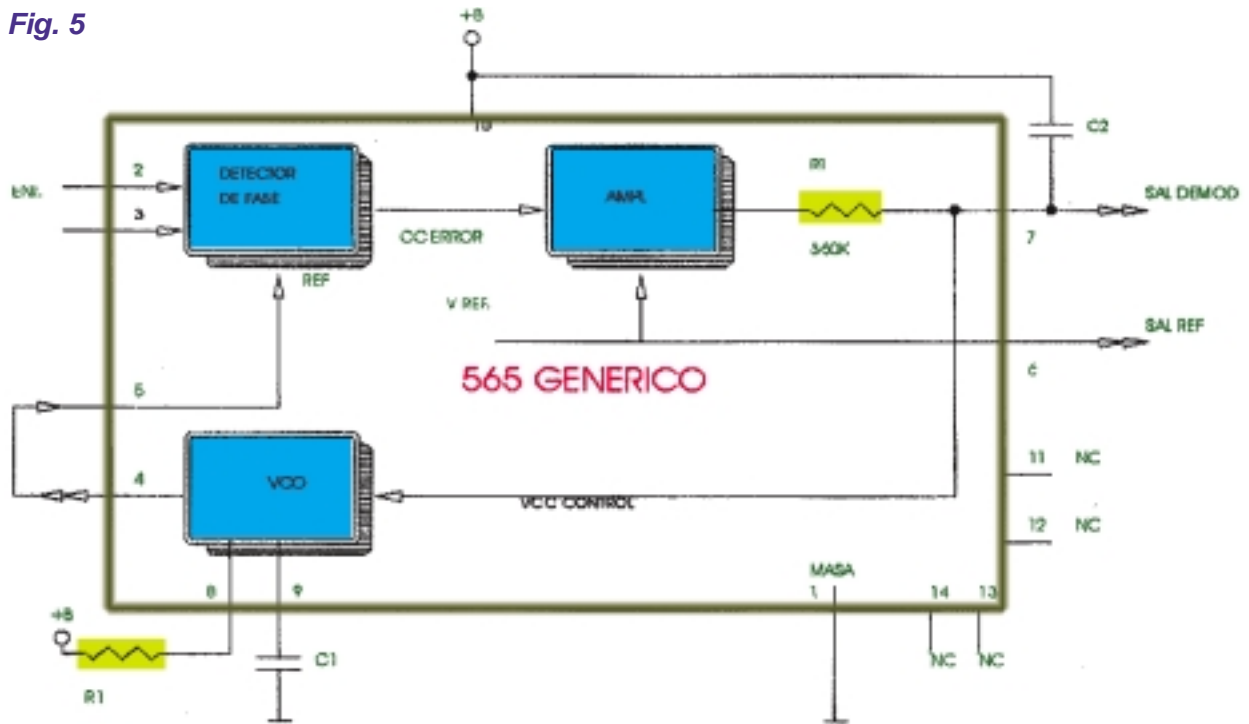


DIAGRAMA EN BLOQUES DEL 555 GENÉRICO

ques. Expliquemos el funcionamiento como detector de FM con fuente única. Si queremos detectar una señal de 31.250Hz modulada en frecuencia se requiere que el VCO oscile libre en esa frecuencia.

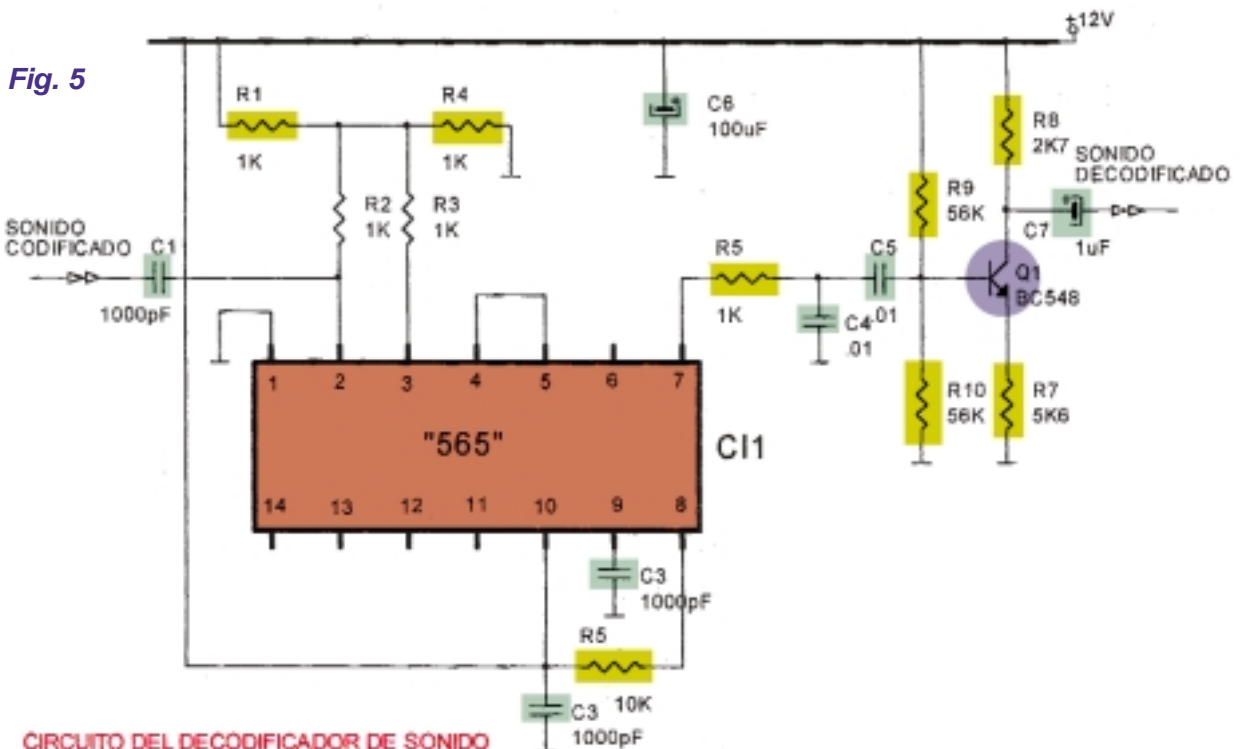
El fabricante indica que la frecuencia se puede calcular con la fórmula $F_o = 1,2 / (4 \times R2 \times C1)$ y en

donde el valor óptimo de R2 es de 4000 ohm pero puede variar entre 1K y 20K sin mayores problemas. Adoptando $R2 = 10k\Omega$ se obtiene un valor de $C1 = 1,2 / 4 \times R2 \times F_o = 1,2 / 4 \times 10.000 \times 31.250 = 960pF$. Se adopta entonces un valor de 1000 pF $\pm 5\%$ NP0 del tipo cerámico disco.

En estas condiciones y con

sólo conectar una tensión de fuente en la pata 10 de 12V, el VCO oscila en las cercanías de 31.250Hz. Conectando la pata 4, que es la salida del VCO, a la 5 que es la entrada de referencia, el circuito queda preparado para recibir la señal de muestra por la pata 2 o la 3. Lo que llamamos OmuestraO no es otra cosa que

Fig. 5



CIRCUITO DEL DECODIFICADOR DE SONIDO

la entrada de audio codificada. Tanto la pata 2 como la 3 son entradas, porque el circuito integrado tiene entrada diferencial. Como nosotros tenemos una señal de entrada referida a masa basta con conectar la pata 3 a masa e ingresar la señal por la pata 2. Pero esa masa que mencionamos debe ser, en realidad, una masa virtual debido a que vamos a alimentar al integrado sólo con tensión positiva de 12 V (si Ud. realiza pruebas con fuente partida de +

6 V entonces debe realizar el circuito con la pata 3 conectada a la unión de las fuentes).

Y eso es todo, por la pata 7 obtendrá audio decodificado porque el detector de fase va a generar una tensión continua de error que, debidamente amplificada y filtrada por R1 (interno) y C2 externo, queda aplicada al VCO corrigiendo su frecuencia, de modo que se enganche con la frecuencia de entrada. Si el VCO está enganchado en fase

por la portadora de 31.250Hz modulada en frecuencia, es porque la tensión continua de control tiene la misma forma que la señal de modulación de audio utilizada en el transmisor.

En la figura 6 le ofrecemos el circuito completo del decodificador de audio en donde observará que se ha agregado un transistor que opera como separador para obtener baja impedancia de salida y poder cargar una entrada de audio de un TV.

Circuitos de Conmutación

Cuando se estudia el comportamiento del transistor como parte componente de un circuito electrónico, debe realizarse el análisis, ya sea para señales débiles (pequeñas) o para señales fuertes, que hagan que el semiconductor trabaje en la zona de corte o en la zona de saturación de sus curvas características.

Se dice, en este último caso, que el transistor actúa como un interruptor (cuando pasa desde la región de corte a la de saturación y vuelve luego al corte).

Los circuitos "interruptores" con transistores o de conmutación se usan en sistemas de radar, televisión, instrumentación electrónica, telefonía, circuitos digitales, etc.

El circuito característico de un transistor conmutador no difiere de los ya estudiados, tal como se puede ver en la figura 1, dado que lo que varía es el nivel de la señal aplicada a la entrada.

En la figura 2 se representa cómo varía la corriente de emisor, detallando los tiempos de

"encendido" y "apagado" del transistor, debido a que la respuesta a la señal de entrada no es inmediata, sino que sufre un cierto retraso, que quedan definidos por dos tiempos, uno de conexión (TON) y otro de desconexión (TOFF). La falta de respuesta de un transistor a los tiempos reales de conmutación se debe a que, en la saturación, existen cargas en exceso, de portadores minoritarios almacenados en la base. Por esta razón, cuando se emplean transistores en conmutación, se debe reducir el tiempo de almacenamiento.

Ahora bien, si se desean componentes más rápidos, se deben utilizar componentes con estructuras distintas. Para ello, es preciso dar algunos conceptos.

En la superficie de los semiconductores y de los metales existen estados de energía adicionales, que surgen de la rotura de la continuidad de la estructura cristalina.

En la figura 3 se reproduce la estructura de un componente, que permite el movimiento de cargas con mayor facilidad y disminuye, de esta manera,

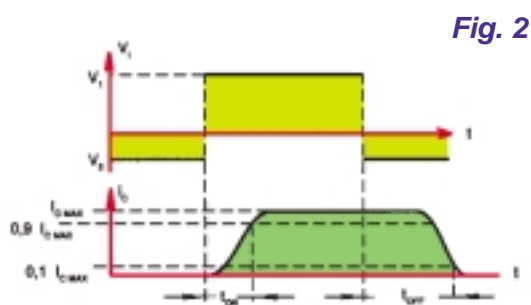
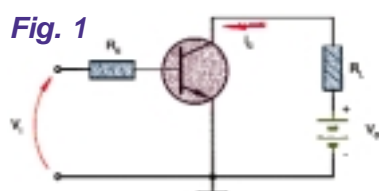


Fig. 3

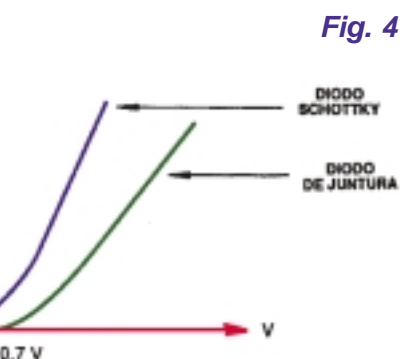
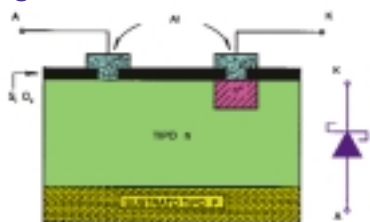
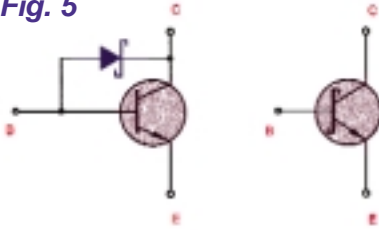


Fig. 5



te está producida principalmente por portadores mayoritarios, ya que los electrones entran desde el lado **N** hacia el aluminio y, por consiguiente, no pueden diferenciarse de los electrones del metal, con lo que no se produce almacenamiento en la proximidad de la unión.

De la misma manera que se puede reducir el tiempo de retardo de un diodo, se podría reducir el tiempo de establecimiento de un transistor.

El componente así formado recibe el nombre de transistor Schottky, y su símbolo, tanto como el modelo equivalente, se muestran en la figura 5.

Si se intenta saturar el transistor aumentando la corriente de base, la tensión del colector disminuirá, por lo cual el diodo Schottky conducirá y, como la unión del colector está polarizada en sentido directo a una tensión menor que la de umbral ($V < 0,7 \text{ V}$), el transistor no entrará en saturación.

CIRCUITO DE APLICACIÓN

Se puede reducir el retardo de una compuerta lógica **TTL** (transistor, transistor, lógico), si se elimina el tiempo de almacenamiento o establecimiento de todos los semiconductores que la integran. Como se ha visto, esto se consigue evitando que los transistores estén totalmente saturados.

La mayoría de los circuitos integrados digitales de la familia de los llamados de "alta velocidad", emplean semiconductores Schottky con el objeto de aumentar la velocidad de operación, lo que es altamente beneficioso en componentes, tales como las memorias.

En la figura 6 se da el circuito

eléctrico de una compuerta **NAND** de dos entradas fabricada con tecnología **Schottky**.

Los circuitos integrados que emplean esta tecnología son los más rápidos dentro de los **TTL** y utilizan diodos Schottky que resultan fáciles de fabricar y, como ya se ha estudiado, son muy rápidos. La subfamilia de circuitos integrados con esta tecnología, se denomina **HTTL** y con ella se tienen tiempos de propagación inferiores a los 3 nanosegundos, lo que permite operar con frecuencias de oscilación superiores a los 100MHz. El consumo suele ser bajo y la disipación de potencia rara vez supera los 20mW.

Los fabricantes de circuitos integrados se esfuerzan para conseguir componentes rápidos de muy baja disipación; con esta filosofía se tiene otra subfamilia **TTL** Schottky de baja potencia, denominada **LSTTL**, que posee resistores internos de mayor valor con el objeto de reducir la corriente de circulación interna.

Suelen emplear una configuración diferente a la entrada, reemplazando el transistor multietapado por un sistema más veloz, con lo cual se consiguen tiempos de propagación típicos de unos 10 nanosegundos y un consumo por compuerta de tan sólo 2mW. Como puede observar, el consumo se ha reducido considerablemente, pero como contrapartida, la frecuencia máxima de reloj sólo alcanza los 35MHz, lo cual es bastante importante si se lo compara con la frecuencia máxima que se obtiene con otras familias.

Volviendo al análisis del transistor en conmutación, conectar una juntura significa que por ella circule una corriente superior a la de mantenimiento, lo cual demandará un tiempo para que la tensión y la corriente se estabilicen. A este tiempo se lo denomina régimen transitorio de conexión.

Del mismo modo, cuando el transistor conduce, para bloquear la tensión y anular la corriente, será necesario un tiempo denominado régimen transitorio de desconexión.

En una juntura ideal, los tiempos de conexión y desconexión son nulos, lo que implica una resistencia nula durante la conducción e infinita cuando se quiere practicar el bloqueo.

Dicho de otra manera, no existiría en este caso almacenamiento de cargas en el material que forma la juntura (en la zona neutra). Si se realizara el análisis que permita explicar el comportamiento de la juntura, podríamos asemejar la misma a un circuito **rc** paralelo, dado que haría falta que el capacitor se cargue completamente para que la juntura entre en un régimen permanente. El tiempo de establecimiento de la corriente de colector dependerá del tiempo que precise la base para almacenar una carga determinada.

De aquí que adquiere vital importancia tanto la resistencia de entrada como la capacidad base-emisor de un transistor, a la hora de establecer el comportamiento del semiconductor en alta frecuencia. El mismo procedimiento se puede seguir para estudiar a los transistores de efecto de campo, unijuntura, Schottky, etc, procedimiento del cual nos ocuparemos en lecciones futuras.

COMPORTAMIENTO DE LAS CARGAS EN UN SEMICONDUCTOR

Para "conectar" una juntura **PN** se debe hacer circular por ella una corriente, teniendo un

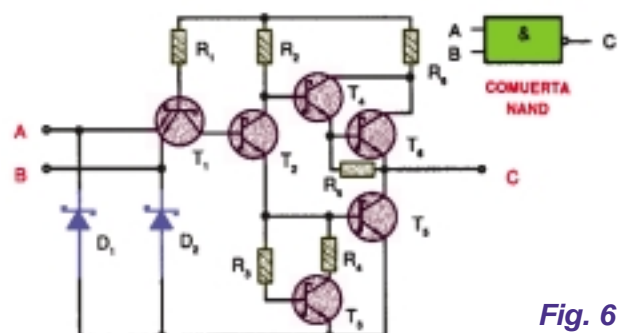
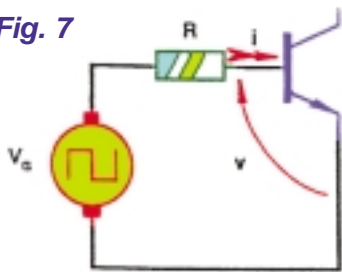


Fig. 6

Fig. 7



régimen transitorio de conexión, que representará el tiempo necesario para que la tensión y la corriente se estabilicen, permitirá llevar el sistema a un régimen permanente.

Para "desconectar" la juntura, se debe disminuir la tensión con el objeto de anular la corriente circulante por el circuito.

Entonces, el régimen transitorio de la desconexión representa el tiempo necesario para que en la juntura se anule la corriente y el sistema permanezca en régimen permanente.

En la figura 7 se reproduce un esquema circuital que utilizaremos como base para explicar este tema, consideraremos al transistor en conmutación.

El generador **VG** suministra una tensión de forma de onda cuadrada. En el tiempo "0" el generador entrega la tensión +V. luego, en el tiempo "01" se establece una tensión -V y así sucesivamente. Se busca que la juntura base-emisor del transistor permita el paso de la corriente, a partir del tiempo $t = 0$, y que la corriente sea nula durante el tiempo $t = 01$, tal como se muestra en la figura 8.

En dicha figura se ha supuesto una juntura de comportamiento ideal, en la cual se tendría una resistencia nula, en el sentido directo de conducción, e infinita, en el sentido inverso, y no existiría en ella el almacenamiento de cargas en las zonas neutras del material que forma parte de la juntura, ni en la zona de "carga espacial" de la misma.

Lógicamente, existen tiempos de demora para que se produzca el establecimiento de las cargas, con lo cual la situación real es diferente, tal como muestra la gráfica de respuesta de la figura 8.

Se observa que a partir del tiempo $t = 0$ comienza el proceso de conexión. Si suponemos que la resistencia R del circuito es muy superior a la resistencia de la juntura base-emisor y que la tensión aplicada a la juntura es muy superior a la tensión de conducción (0,7V para el silicio), puede decirse que la corriente será:

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

Para explicar el proceso de almacenamiento de cargas, supondremos que la juntura P-N está compuesta por una zona P, fuertemente dosificada, y una zona N de dosificación más débil.

Por lo tanto, la inyección de portadores en la juntura consistirá, casi exclusivamente, en lagunas o huecos que irán de la zona P+ hacia la zona N. Además, los electrones que se inyectan en sentido contrario serán muy pocos, debido a la baja contaminación de la zona N.

Para calcular la corriente circulante, sabemos que la misma estará dada por la cantidad de cargas inyectada en la juntura N por unidad de tiempo; matemáticamente se tiene:

$$I = \frac{Qp}{Tp}$$

Es fácil deducir que la juntura se comporta como un circuito RC paralelo, tal como se muestra en la figura 9. En base a la fórmula anterior y a la asociación recién hecha, se deduce que:

$$I = \frac{Q}{C}$$

y

$$T = RC$$

En la figura 10 se ha

reemplazado el efecto de almacenamiento de cargas en la juntura por el equivalente RC, por lo cual el tiempo de establecimiento

Fig. 9

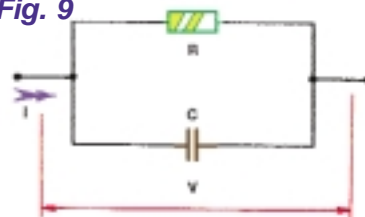


Fig. 10

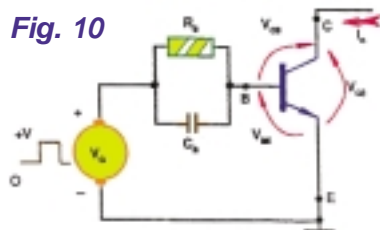
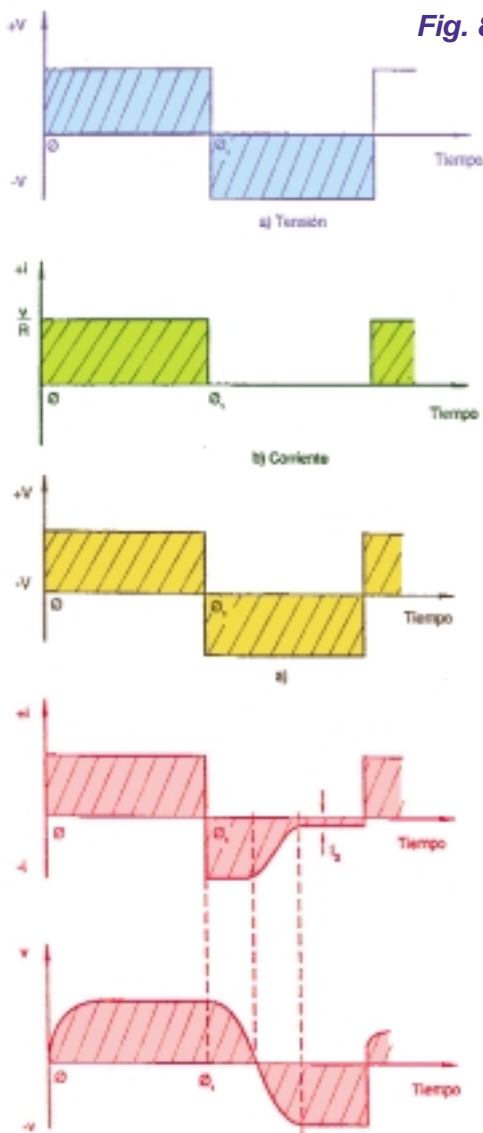
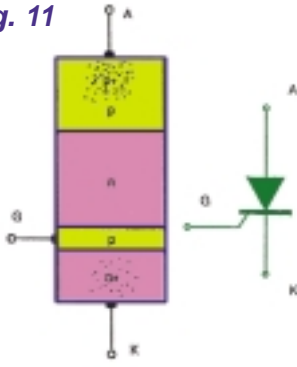


Fig. 8



b) y c) Crecimiento de la tensión y corriente en la juntura B-E

Fig. 11



to de la corriente de colector dependerá del tiempo necesario para almacenar en la base una carga Q_B , lo cual podemos escribir como:

$$I_c = \frac{Q_B}{T_b}$$

Como $V_G \gg V_{BE}$, puede considerarse que el capacitor C_b soporta la totalidad de la tensión "escalón +V" en forma casi instantánea.

La carga almacenada en el capacitor está dada por:

$$Q_B = C_b \cdot V$$

La base del transistor, que está en serie con el capacitor C_b , almacena una carga igual, como se esperaría de dos capacitores conectados en serie.

Para este análisis, consideramos la entrada del transistor (entre base y emisor), de naturaleza puramente capacitiva, por lo que:

$$T_b = C_b \cdot R_b$$

Quiere decir que el tiempo T_b es el mínimo necesario para que se establezca un régimen permanente, como condición fundamental que debe cumplir la constante de tiempo del circuito CR de entrada, para compensar la constante de tiempo intrínseca del transistor y, por consiguiente, anular el tiempo de establecimiento.

El análisis efectuado se realiza con fines demostrativos, dado que el fabricante de semiconductores suele dar los tiempos de establecimiento que el proyectis-

ta o técnico debe conocer, para poder seleccionar el componente adecuado, a la hora de trabajar con un circuito electrónico.

Con este tema damos por finalizado el estudio simplificado del transistor en conmutación. Como síntesis, podemos decir que un transistor en conmutación se comporta como una llave electrónica, que permite el manejo de una corriente elevada entre emisor y colector, cuando se aplica una tensión suficiente a la juntura base-emisor. Estudiaremos ahora, los dispositivos específicos de disparo, comúnmente conocidos como "re-lés electrónicos".

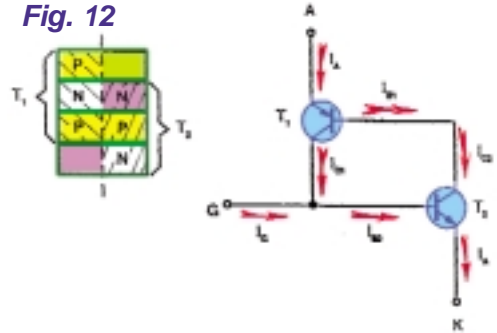
DISPOSITIVOS ESPECÍFICOS DE DISPARO

Los semiconductores controlados de disparo, tales como el rectificador controlado de silicio, el diac y el triac, se utilizan en sistemas de encendido de automóviles, controles de iluminación, de motores, electrónica de potencia en general, calefacción, etc. Estudiaremos cada uno de estos componentes en forma sencilla, pero lo suficientemente profunda como para contar con herramientas válidas de trabajo.

RECTIFICADOR CONTROLADO DE SILICIO (SCR)

Es un dispositivo semiconductor, formado por cuatro capas de estructura (PNPN), que se utiliza como interruptor electrónico. Esto quiere decir que su comportamiento tiene dos estados: uno de bloqueo (como una llave abierta) y otro de conducción (como una llave cerrada). En la figura 11 se representa en forma esquemática un componente de estas características con el símbolo correspondiente.

Fig. 12



G es la compuerta, A el ánodo y K el cátodo. Si se analiza detalladamente la estructura de este componente, mostrada en la figura 11, se puede deducir que el rectificador controlado de silicio se comporta como dos transistores conectados en cascada, tal como se muestra en la figura 12. El cátodo (K), que generalmente es de material N muy contaminado actúa como emisor. La zona de compuerta (G), que es de material P poco contaminado, actúa como base del mismo transistor, cuyo colector se completa con una zona de bloqueo de material N.

Por otro lado, la zona de ánodo (A), que es de material tipo P, muy contaminada cerca de la conexión y poco contaminada en la proximidad de la juntura, completa el dispositivo.

Se observa que el SCR está compuesto por dos transistores uno PNP y otro NPN, conectados en cascada.

Supongamos que se alimenta el ánodo (A) con una tensión positiva con respecto al cátodo (K) y que la compuerta (G) no está polarizada. El transistor T2 estará

Fig. 13

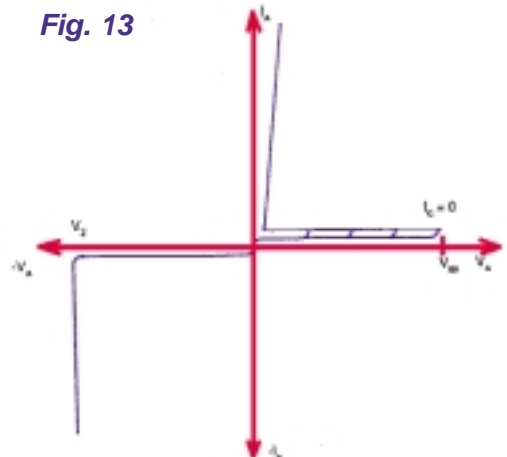
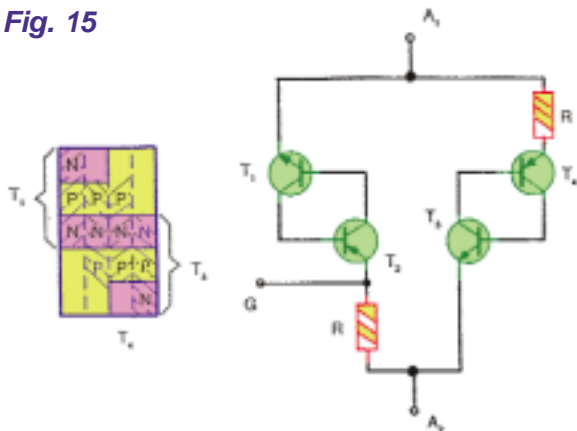


Fig. 14



Fig. 15



do del SCR es muy baja, por lo que la corriente debe ser limitada por el circuito externo.

En base al mecanismo recién explicado, en la figura 13 se muestra la curva característica de este dispositivo.

Con una tensión aplicada en sentido inverso (con el ánodo negativo respecto al cátodo), el dispositivo bloquea la corriente que por él circula y queda un componente muy pequeño de saturación inversa normal a toda junta semiconductor. La tensión máxima de bloqueo, en el sentido directo VBO, se obtiene con la compuerta en circuito abierto; vale

decir, $I_G = 0$.

Si se aplica una corriente de excitación en la compuerta, la tensión de bloqueo disminuye, hasta llegar un momento en que se produce el disparo del SCR, en que la corriente aumenta hasta un valor máximo limitado por los componentes externos y ya no se establece un control desde la compuerta, es decir que no es posible controlar la corriente de ánodo con variar la corriente de compuerta. Para poder obtener un nuevo control desde la compuerta, se debe eliminar o invertir la tensión de ánodo. Es lógico suponer que, en circuitos de corriente alterna, el disparo se produce cada medio ciclo, dado que en los restantes se aplica una tensión inversa al ánodo. Para producir el desbloqueo, se debe aplicar a la compuerta, en el instante preciso, un impulso de muy corta duración que "gatilla" el dispositivo.

TRIAC

El SCR permite la conducción de un solo semiciclo de la corriente alterna; cuando es nece-

sario controlar ambos semiciclos de la señal, se emplea el triac, que es un dispositivo que puede conducir en ambas direcciones. La figura 14 representa la estructura de capas constructiva simplificada de un triac y su símbolo esquemático.

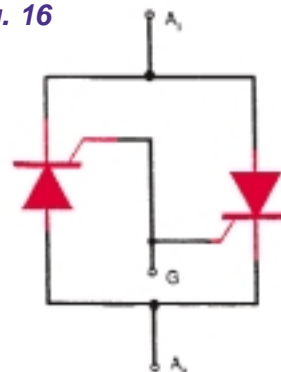
Este dispositivo posee tres terminales, denominados: terminal principal N° 1, terminal principal N° 2 y compuerta.

Un circuito equivalente que surge del análisis de la estructura del triac, se puede ver en la figura 15, donde se observa que son dos pares de transistores conectados en cascada e interconectados entre sí. En consecuencia puede considerarse el triac como dos SCR conectados en paralelo y en sentidos opuestos, según lo mostrado en la figura 16.

Con polarización directa o polarización inversa, el triac presenta un primer estado de bloqueo (que llamaremos estado "NO") y un segundo estado de conducción (llamado estado "SI"). El punto en el cual el dispositivo realiza la transición entre los dos estados corresponde a la tensión de ruptura; dicha tensión de ruptura, de la misma forma que ocurría con un SCR, puede variarse mediante la aplicación de un impulso de corriente, positivo o negativo, al terminal de compuerta.

A medida que aumenta la amplitud del impulso de compuerta, disminuirá la tensión de ruptura. Los valores necesarios para producir el disparo (sensibilidad del componente) son diferentes para cada caso y el fabricante suele especificarlos en los manuales de datos.

Fig. 16



al corte, por lo cual la corriente I_{C2} será nula, lo mismo que la corriente de base I_{B1} , en el transistor T1, por ser la misma que I_{C2} . El transistor T1 se encuentra, por lo tanto, al corte y no circulará corriente entre el ánodo y el cátodo del dispositivo ($I_A = 0$).

Si ahora polarizamos la compuerta (G), en forma directa con respecto al cátodo (K), el transistor T2 sale del corte. La corriente de colector I_{C2} , deja de ser nula, al igual que la corriente de base I_{B1} , ya que I_{C2} es igual a I_{B1} ; en consecuencia, el transistor T1 deja el estado de corte y provoca la circulación de corriente de colector I_{C1} , que se cierra por la base del transistor T2, como I_{B2} .

El transistor T2 es, de esta manera, excitado por el transistor T1, independientemente de la polarización externa, aplicada en la compuerta (G), que sólo fue necesaria para el "arranque" o encendido del RCS.

Se observa, entonces, que el transistor T2 excita al transistor T1 y éste, a su vez, al T2. Esta relación de realimentación lleva a ambos transistores a la condición de saturación. En este estado, la caída de tensión entre el ánodo y cátodo

Figura 17

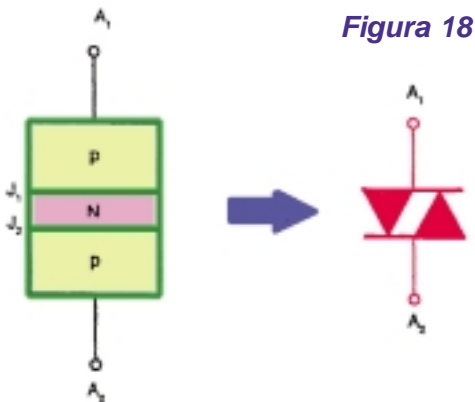
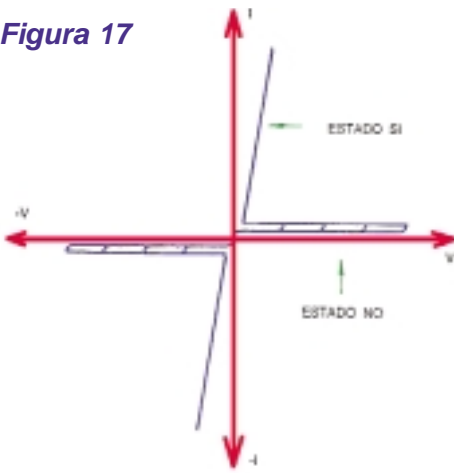
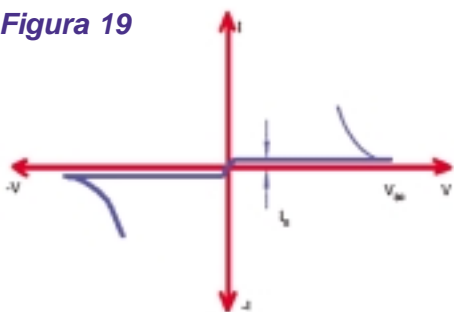


Figura 18

Figura 19



En la figura 17 se reproduce la curva característica del triac, donde se observa la conducción en ambos sentidos: es decir, permite conducir los dos semiciclos de una señal alterna, cuando está excitada la compuerta.

DIAC

Es un dispositivo semiconductor de dos junturas, de construcción similar a la del transistor bipolar que, muchas veces, es llamado "**diodo para corriente alterna**", pero que funciona, básicamente, como un diodo de ruptura por avalancha bidireccional y que puede pasar del estado de

bloqueo al estado de conducción, con cualquier polaridad de la tensión que se aplique entre sus terminales.

En la figura 18 se representa la estructura de capas de este componente y su símbolo correspondiente.

La curva característica se reproduce en la figura 19 y corresponde a la de un transistor simétrico (el colector es igual al emisor), con la base abierta.

El emisor se denomina ánodo 1 y el colector, ánodo 2.

Cuando se aplica tensión positiva o negativa de bajo valor sobre los electrodos del diac, se establece un flujo pequeño de corriente de fuga (I_s), hasta que la tensión llega al punto de ruptura **VBO**. A partir de ese momento, la juntura polarizada en sentido inverso sufre una ruptura por avalancha y, por encima de ese punto, la característica tensión-corriente equivale a una "**resistencia negativa**", lo que significa que la corriente aumenta con una disminución de la tensión.

Los diac se usan principalmente en dispositivos de disparo para control de fase del triac y otras aplicaciones similares, donde es necesario establecer una tensión determinada en los dos sentidos de disparo.

Circuitos de Aplicación

Una aplicación típica para el triac como control de potencia es la que aparece en la figura 20.

En este circuito, un resistor de valor apropiado limita la corriente por la compuerta, de modo que, con una corriente pequeña, se puede obtener un control de grandes potencias en un circuito de carga. Las corrientes típicas

para los triacs comerciales, que deben ser aplicadas a la compuerta, varían entre 20 y 50mA y las corrientes principales de control varían entre 5 y 50 amperes.

Del mismo modo que en el caso de los **SCRs**, podemos usar los triacs como eficientes controles de potencia, cortando los semiciclos de alimentación en momentos oportunos, de modo que apenas una parte sea conducida hacia la carga.

Es evidente que, en el caso de los triacs, conduciendo estos componentes, la corriente en los dos sentidos, obtenemos una banda mucho mayor de variación de potencia, que puede estar entre cero y 95%, para los casos comunes.

La configuración usada para un circuito de control de potencia, en este caso, es semejante a la de los **SCR**, con la diferencia del diodo usado en la compuerta.

Tenemos, entonces, un componente adicional que sería un diac, obteniendo la configuración de la figura 21.

Como los triacs pueden conducir corriente en los dos sentidos, son especialmente indicados para ser usados en circuitos de corriente alterna. Es lógico que habiendo un único sentido de corriente, en los circuitos de corriente continua, la utilización de un triac en lugar de un SCR sería un desperdicio, pues habría una parte de no conducción para este componente. El circuito más simple con triac se muestra en la figura 20, en la que este componente se usa para permitir el control de una corriente intensa con un interruptor de pequeña capacidad.

La corriente de disparo del triac está determinada por el resistor R que debe, entonces, dimensionarse de acuerdo con su

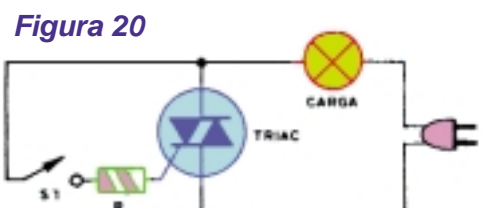


Figura 20

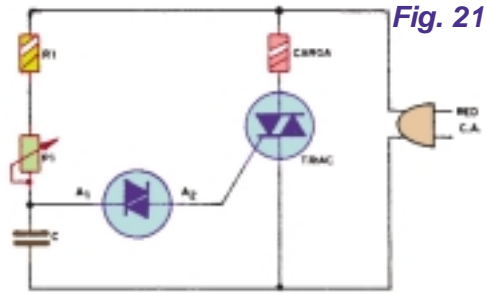


Fig. 21

cantidad de corriente del orden de 10 a 20A tenemos una corriente de disparo en la banda de los 20 a los 50mA, hasta pueden usarse con eficiencia "reed-switches", o también pequeños relés.

Otra aplicación aparece en la figura 22, en que tenemos un control de dos intensidades para una carga que puede ser una lámpara o un motor.

En el caso de un motor, tendremos 2 velocidades, según la posición de la llave, y en el caso de la lámpara, dos brillos.

En la posición en que queda el diodo, fuera del circuito, la corriente dispara el triac en los dos semiciclos y toda la potencia es aplicada a la carga.

En la posición en que el diodo es colocado en el circuito, éste permite el disparo del triac solamente en la mitad de los semiciclos. La carga recibe entonces la mitad de la potencia.

Vea que, en este circuito, el diodo usado puede ser de capacidad de corriente bastante pequeña.

Una tercera posición de la llave permite que el circuito sea inactivado.

La tercera aplicación es del conocido control de potencia, en que podemos hacer uso, como carga, de un motor (perforadora eléctrica, ventilador, etc.) o bien de una lámpara en cuyo caso tendremos el llamado "dimmer" (atenuador).

El circuito aparece en la figura 23 con los valores para la red de 220V, observándose el uso de diac, que puede estar, o no, incorporado al triac (entre paréntesis se dan los valores para 220V).

Como en todas las aplicaciones el triac desarrolla una cierta cantidad de calor, que depende de la intensidad de la corriente circulante, es preciso montarlo en un disipador de calor. Las cubiertas de los triacs ya están dotadas de recursos que facilitan su montaje en estos disipadores. La cantidad de calor desarrollada por un triac, como en los SCRs, puede calcularse fácilmente multiplicando la intensidad media de la corriente conducida por 2,0V, que es la caída de tensión en este componente. Por ejemplo, un triac que conduzca una corriente de 5A desarrolla una potencia de 10W.

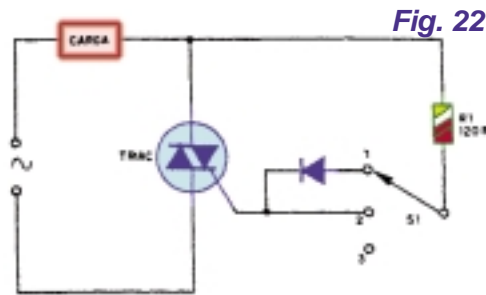


Fig. 22

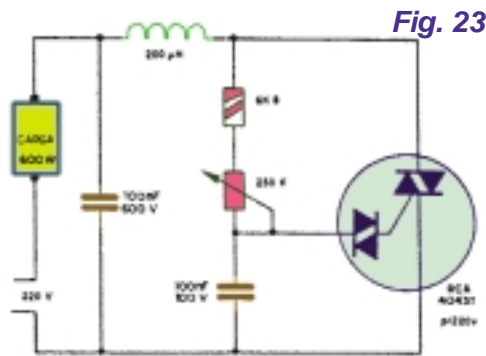


Fig. 23

sensibilidad y con la capacidad del interruptor.

Como para un triac de capa-

to, el diodo usado puede ser de capacidad de corriente bastante pequeña.

La Superconductividad y sus Aplicaciones

La superconductividad, es una propiedad que presentan ciertos materiales sólidos de perder súbitamente toda resistencia al paso de la corriente eléctrica al sobrepasar un nivel umbral térmico denominado "temperatura crítica". Si bien este fenómeno se conoce desde principios del presente siglo, es hasta años recientes cuando se están encontrando nuevas y fascinantes aplicaciones. El presente capítulo tiene como objeto precisamente mostrarle el grado de desarrollo que tiene la tecnología superconductor, y qué se puede esperar de ella en un futuro cercano.

UN POCO DE HISTORIA

Desde que comenzaron a estudiarse los fenómenos eléctricos y fue descubierta por George Ohm la ley que tomaría su nombre, algunos experimentos demostraron que la resistencia eléctrica de los materiales sufre variaciones si se exponen a cambios de temperatura. De hecho, al medirse estas variaciones, llegó a calcularse un parámetro conocido como "coeficiente de temperatura", el cual indica qué tanto se modifica el valor de la resistencia de un material al aplicarle una variación

de temperatura. También se descubrió que casi todos los materiales conductores (especialmente los metales) presentan un coeficiente de temperatura positivo, esto es: cuando aumenta su temperatura aumenta su resistencia y, al contrario, cuando la temperatura desciende, la resistencia eléctrica del material tiende a disminuir (este comportamiento es el común en la mayoría de los materiales, aunque los semiconductores llegan tener un coeficiente de temperatura negativo, situación que se aprovecha para la fabricación de los termistores).

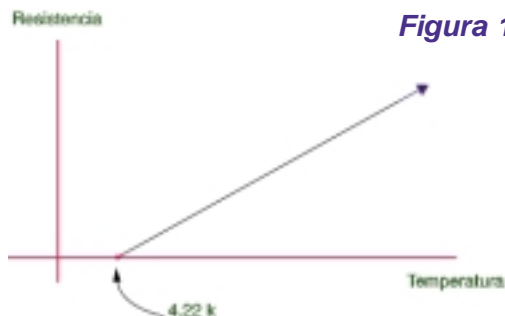


Figura 1

Simultáneamente al estudio de las propiedades conductoras de los materiales, en el siglo pasado, la comunidad científica se encontraba verdaderamente fascinada con la investigación de los fenómenos “criogénicos”. La criogenia es la rama de la física que se ocupa de la aplicación de los fenómenos que se producen en la materia al ser sometida a bajas temperaturas.

Los experimentos realizados entonces, se orientaban principalmente a la licuefacción de los gases que componen la atmósfera terrestre (oxígeno, nitrógeno, bióxido de carbono, hidrógeno, helio, etc.). Se pensó que si se enfriaban lo suficientemente, pasarían de su estado gaseoso al líquido, lo que permitiría investigar nuevas propiedades de dichas sustancias.

Durante toda la segunda mitad del siglo pasado, se logró licuar casi todos los gases, gracias a que se perfeccionaron los métodos para conseguir temperaturas muy bajas, cercanas al 0°K (cero grados Kelvin es igual a -273,16 grados centígrados) nivel conocido como “cero absoluto”. El único gas que no pudo ser licuado, sino hasta el siglo XX, en 1908, fue el helio, que tuvo que ser llevado a una temperatura de 4,22°K (sólo como curiosidad científica, en la actualidad se ha conseguido llevar a todos los gases incluso a su estado sólido, exceptuado al helio, el cual no parece solidificarse ni siquiera a temperaturas de apenas una fracción de grado por encima del cero absoluto).

Ya que se disponía de la tecnología para obtener temperaturas tan bajas, a muchos científicos se les ocurrió investigar qué sucedía con las propiedades de

diversos materiales en esas condiciones. Fue el físico holandés, de la Universidad de Leyden, Heike Kamerlingh Onnes (el mismo que logró licuar el helio por primera vez), quien descubrió en 1911 el fenómeno que posteriormente se llamaría “superconductividad”. Por este importante hallazgo, Onnes recibió en 1913 el premio Nobel de Física.

Qué se Entiende por Superconductividad

Como se mencionó, los científicos sabían ya que la resistencia eléctrica de la materia disminuye conforme baja la temperatura. Onnes quiso averiguar hasta qué punto se podía reducir dicha resistencia, y si fuese posible lograr que desapareciera por completo. Por uno de esos extraordinarios golpes de suerte o de intuición, eligió al mercurio como material a investigar (además de que era uno de los metales que más fácilmente se obtenía en estado puro). Al enfriarlo por debajo de los 4,22°K (en esos niveles ya en estado sólido), Onnes notó que la resistencia era tan pequeña que ya no se podía medir, y dedujo un comportamiento perfectamente lineal de la resistividad eléctrica del mercurio ante cambios en la temperatura.

Observe en la gráfica de la figura 1 cómo se va reduciendo la resistencia a medida que baja la temperatura, hasta que llega a 0, justo en un nivel de 4,22°K.

Sin embargo, investigaciones posteriores permitieron determinar que en realidad la variación sí era lineal pero hasta poco arriba de los 4,22°K, y que llegado a este punto de temperatura existía un “salto” descendente súbito, como se muestra en la figura 2. A este estado en que desaparece la oposición al paso de la corriente eléctrica,

es decir, en que no hay disipación de energía, se le llamó “superconductividad”. Pero además, en estas condiciones, los materiales exhiben otras importantes características, según veremos enseguida.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SUPERCONDUCTORES

Veamos ahora dos propiedades que hacen tan especiales a los superconductores.

1) La principal, y más obvia, es su nula resistencia, y por consiguiente la posibilidad de ofrecer una virtualmente infinita velocidad de propagación de la energía eléctrica sin pérdida alguna por calor disipado. Esto se comprende mejor si recordamos que la potencia que disipa un conductor, es una función de la corriente que circula por él y de la resistencia del mismo. Analicemos sobre la siguiente fórmula algebraica que nos permite expresar el razonamiento anterior:

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

Donde:

P = potencia disipada (watt)

R = resistencia eléctrica

I = corriente circulando

Es obvio entonces que si la resistencia es igual a cero, la potencia disipada también será igual a cero.

2) Impenetrabilidad del flujo magnético en el material superconductor. Esto es muy importante, dado que el efecto se

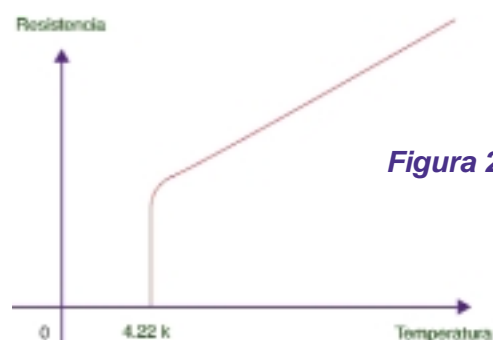
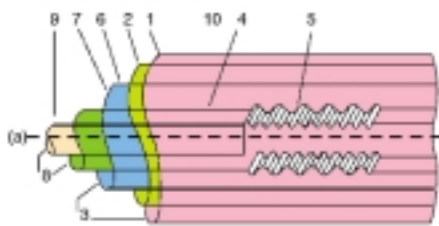
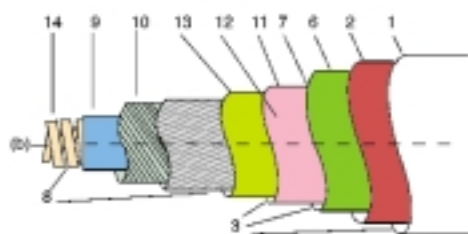


Figura 2

Tipo rígido de cable superconductor. Sus componentes son: tubo de protección (1), superaislamiento (2), vacío (3), espaciadores (4), fusibles (5), nitrógeno (6), escudo frío (7), helio (8), superconductor (9), aislamiento eléctrico (10), escudo frío (11), retorno de helio (12), tubo de helio (13) y soporte (14).



Cable superconductor de tipo completamente flexible. Sus componentes son los mismos que los del cable rígido.



Cable superconductor de tipo semiflexible. Sus componentes son los mismos que los del cable rígido.

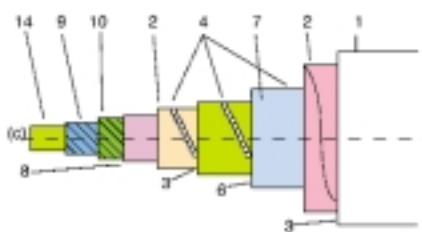


Fig. 3

puede aprovechar para la fabricación de sistemas realmente asombrosos.

Aunque existen otras propiedades interesantes en los superconductores, las dos anteriores son las que más se pueden aprovechar en diversas áreas de la técnica. Ahora bien, *¿por qué se ha desatado en todo el mundo tal interés por los superconductores, si se descubrieron hace más de 80 años?* La respuesta es simple: hasta hace no muchos años, los únicos superconductores que se conocían eran metálicos y pasaban a dicho estado solamente si se sometían a temperaturas extremadamente bajas, lo que los convertía en una rareza de laboratorio sin ninguna aplicación práctica inmediata. Sin embargo, con los años se han descubierto aleaciones cerámicas que se comportan como superconductores a temperaturas relativamente altas, alcanzando en algunos casos cerca de los 100 grados Kelvin, es decir, bastante arriba de la temperatura de ebullición del nitrógeno líquido, que es un refrigerante barato y fácil

de obtener. Este alcance ha estimulado a los investigadores en la búsqueda de **superconductores** aún más **"calientes"**, que haga factible su aplicación masiva sin un gasto excesivo en sistemas de refrigeración.

Concretamente, el descubrimiento de materiales superconductores de tipo cerámico fue realizado por J. Georg Bednorz y K. Alexander Müller, en un laboratorio de la IBM de Zurich, Suiza, lo que les valió el premio Nobel de Física de 1987. Otro investigador que también ha aportado importantes avances en este campo es el doctor Paul Chu, de la Universidad de Houston (quien de hecho descubrió el primer superconductor de **"alta temperatura"**, alrededor de -179°C).

APLICACIONES DE LOS SUPERCONDUCTORES

Transmisión y distribución de energía eléctrica

Sabemos que la resistencia de un cable puede considerarse de cero a distancias cortas; pero si consideramos un cable que mi-

de decenas e incluso cientos de kilómetros, su resistencia ya no puede despreciarse. Si a esto añadimos que dicho cable debe transportar miles de kilowatts de potencia, el problema es realmente complejo. La solución que se ha dado hasta hoy, es la utilización de líneas de muy alto voltaje (220 ó 440kV), lo cual disminuye de manera significativa la corriente que circula por los cables y, por consiguiente, la pérdida de energía por calor disipado.

Actualmente se han desarrollado cables superconductores para la transportación y distribución de energía eléctrica, mas no se han generalizado. Este tipo de cables requieren de una cubierta refrigerante a su alrededor para mantenerlos a una temperatura inferior al nivel crítico. Sin embargo, tal cubierta no sería necesaria si se dispusiera de un elemento conductor que trabajara a la temperatura ambiente, de ahí el interés de los físicos en la búsqueda de superconductores cerámicos. En la figura 3 se muestra la estructura de este tipo de cables.

Esta aplicación ha despertado el interés de la comunidad científica internacional, ya que podría reducir considerablemente los costos de generación y distribución de energía eléctrica, al grado de que con un cable de muy pequeño calibre podrían circular varios cientos o miles de amperes sin pérdida apreciable de energía en forma de calor. En la actualidad ya se están haciendo experimentos en dicho campo, y se calcula que en la primera década del siguiente siglo se instalarán las primeras líneas de transmisión de este tipo en los Es-

tados Unidos (en Europa y Japón se tiene un interés similar, así que estamos frente a una verdadera “carrera tecnológica” entre todas estas naciones para ver quién desarrolla primero y más eficientemente esta aplicación).

Generación de energía eléctrica

Los generadores eléctricos no trabajan a los elevados voltajes de la línea de transmisión; por lo tanto, para que la potencia generada sea grande, es necesario que por los bobinados circulen corrientes muy elevadas. Para poder manejar estas corrientes, los generadores se construyen con cables muy gruesos, capaces de soportar esas condiciones de trabajo, lo que redundará en un volumen y peso excesivos (el rotor de un generador eléctrico puede pesar varias toneladas, lo que implica que se necesita un enorme volumen de agua circulando, y por consiguiente una presa enorme, para poder moverlo e iniciar la generación de electricidad).

Si estas unidades se construyeran con tecnología superconductora, tanto el tamaño como el peso se reducirían considerablemente, disminuyendo los costos de construcción, montaje y mantenimiento, permitiendo incluso obtener de presas relativamente pequeñas una cantidad apreciable de energía eléctrica.

En este campo (y en el anterior), destacan los compuestos con base en Bismuto, que ya se están investigando y comenzando a aplicar en forma experimental. Estos compuestos han venido a sustituir las tradicionales aleaciones de Niobio y Titanio, que fueron ampliamente utilizadas a partir de los años 60.

Mejores dispositivos electrónicos

Dos de las limitaciones que enfrentan los investigadores en la miniaturización de los dispositivos electrónicos, son:

1) la disipación de energía en espacios cada vez más reducidos y

2) el delicado problema de la cooperación entre componentes muy numerosos y cercanos entre sí.

En la miniaturización, se debe tomar en cuenta que las líneas por donde circulará la corriente eléctrica también se reducirán, con su consiguiente aumento de resistencia y de calor disipado. Ya sumado, el calor de todas las líneas que conducen corriente puede llegar a afectar seriamente el desempeño del integrado, e inclusive destruirlo. Si bien se han difundido tecnologías nuevas que consumen mínima corriente, como los circuitos **CMOS** de alta escala y muy alta escala de integración, la colocación de digamos un millón de dispositivos en un chip de un micro-procesador, produce tal disipación de calor que debe ser tomada en cuenta en el diseño (de hecho, desde hace aproximadamente 10 años que los microprocesadores de las computadoras deben utilizar sistemas para eliminar el calor remanente de su operación, como disipadores y ventiladores adosados directamente en el dispositivo).

En este campo, están siendo probados diversos materiales, sobre todo basados en aleaciones de Ytrio y Talio, los cuales pueden convertirse fácilmente en placas delgadas ideales para usarse como base para la fabricación de circuitos integrados. Con la aparición de superconductores cerámicos, es posible alcanzar un alto grado de miniaturización, que tendría casi como único límite la pureza de los materiales empleados. Los especialistas consideran que con esta tecnología pronto se podrán fabricar computadoras más poderosas, más rápidas, y más baratas.

Transportación terrestre

Este campo es uno de los más interesantes y de los que reciben más atención por los investigadores y los gobiernos. Aquí se aprovecha la propiedad de impenetrabilidad de los campos magnéticos en los superconductores.

Si dejamos caer sobre un ma-

terial superconductor un imán, quedará flotando o levitando.

Este fenómeno se debe a que, como el superconductor tiene en su interior un campo magnético igual a cero, al acercarse el imán (y por consiguiente su campo magnético asociado) el material crea un contracampo, de modo que la suma en su interior siga siendo cero. Esto es como si en el superconductor se creara un imán idéntico al que se está acercando, como la imagen de un espejo. A este fenómeno se le conoce como “**efecto Meissner**”.

Como se puede apreciar en la figura 4, al ser ambos imanes de la misma polaridad, tienden a repelerse, lo que hace que el imán quede “**suspendido**” sobre el superconductor a una cierta distancia que será determinada por el peso del propio imán y la potencia de su campo magnético.

Una aplicación del efecto Meissner se presenta en el diseño de vehículos para transportación ultra-rápida. Por los principios elementales de la física sabemos que una de las principales limitaciones que presenta un transporte superficial, es la fricción contra el pavimento o contra los carriles, la cual tiende a frenarlo.

También sabemos que conforme aumenta la velocidad de un vehículo, se va perdiendo capacidad de maniobra, esto es, se necesita crecientemente más espacio para cambiar la trayectoria. Un vehículo que aproveche las propiedades de levitación magnética, contrarrestaría ambas limitaciones.

Al respecto, se han diseñado trenes que pueden desplazarse “**flotando**” sobre rieles superconductores, gracias a generadores magnéticos y a que se impulsan por medio de un motor de inducción lineal. El hecho de que se desplacen flotando evita el rozamiento entre partes; además, por la propiedad de imagen en espejo de los superconductores, cualquier desviación en la trayectoria sería autocorregida, es decir, se trata de vehículos excepcionalmente estables, lo que redundará en una gran seguridad

La Superconductividad y sus Aplicaciones

Aquí se presenta un esquema de cómo se produce el efecto Meissner.

Al acercar un imán (representado por A), a un superconductor (B), se produce en éste una imagen magnética de él que lo repele (C).

La intensidad de la fuerza de repulsión determina la altura a la que puede "flotar" el imán. Conforme más poderoso sea el imán, más poderosa será su imagen y más intensa será la fuerza de repulsión, produciendo una flotación a mayor altura.

Todo esto ocurre sin importar si el imán está quieto, trasladándose o girando sobre sí mismo. Siempre aparece una imagen instantánea de él que lo repele y lo hace flotar.

Por el efecto Meissner sabemos que el estado superconductor es el estado de la materia,

en el que no existe resistencia al paso de la corriente eléctrica y en el que los electrones se hallan en un estado muy especial de gran orden y correlación de unos con otros, por lo que no pueden penetrar los campos magnéticos al superconductor.

La manera en que el material superconductor genera la imagen del imán es moviendo a los electrones, generando corrientes superficiales que, a su vez, generan un campo magnético que corresponde exactamente a la imagen del imán, produciéndose así la repulsión y por lo tanto la levitación.

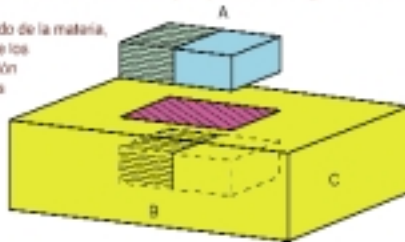


Fig. 4

para los pasajeros. Como punto adicional, un vehículo de este tipo no produce ningún tipo de contaminación ambiental, ya que se impulsa por medio de electricidad y no produce ruido, puesto que no hay contacto entre el vehículo y la superficie.

Aplicaciones médicas

Este es un campo en el cual los dispositivos superconductores ya se están utilizando intensivamente; por ejemplo, en la obtención de imágenes por resonancia magnética (una técnica que permite explorar el interior del cuerpo humano con gran precisión, pero que requiere de la generación de un campo magnético muy intenso, el cual se produce por medio de una corriente tan alta que fundiría a un bobinado tradicional), se utilizan cables superconductores fabricados con una aleación de Niobio y Titanio (material que se descubrió a mediados del presente siglo, y que se vuelve superconductor a "solo" -253°C ó 20°K).

La razón por la que aún no se emplean los nuevos materiales cerámicos que se mencionaron anteriormente, es que hasta el momento no se ha encontrado un método efectivo para convertir en un delgado alambre estos compuestos, mientras que la aleación de Nb-Ti, al ser total-

mente metálica, posee todas las propiedades de ductilidad que caracterizan a estos materiales. Seguramente conforme se perfeccione la fabricación de alambres delgados utilizando compuestos de Bismuto, pronto se reemplazará la tecnología Nb-Ti, lo que pondrá este tipo de estudios más al alcance del público en general.

Otras aplicaciones

Como podrá suponer, un fenómeno tan especial como la superconductividad potencialmente posee una enorme variedad de aplicaciones; entre las más interesantes y que actualmente ya se están investigando podemos encontrar el almacén de energía en forma de una "rueda volante", una especie de toroide de material superconductor en el que se pone a circular una corriente considerable, de tal manera que al no haber ninguna resistencia por parte del material que la conduce, dicha corriente se queda circulando por tiempo indefinido, como un almacén de energía (esta aplicación está siendo estudiada muy cuidadosamente por la comunidad europea).

Otra aplicación que parece extraída de la ciencia ficción es el desarrollo de "escudos contra gravedad", que están siendo investigados por la NASA en Esta-

dos Unidos (pruebas realizadas han demostrado que objetos que poseen en su interior un pequeño aparato formado por cerámicas superconductoras sufren un pequeño decremento en su peso); si se comprueba la efectividad de estos métodos, la propulsión de naves espaciales futuras puede sufrir una revolución total.

Por último, cabe señalar que el fenómeno de la superconductividad es muy importante para el desarrollo tecnológico futuro y que, en las condiciones actuales, no requiere de un complejo laboratorio para ser reproducido; en otras palabras, esta tecnología se encuentra al alcance de países como el nuestro y no es viable desdeñarla. De hecho, algunos investigadores tanto de la Universidad Nacional Autónoma de México como del Instituto Balseiro en Argentina, ya han producido muestras de cerámicas superconductoras y han realizado trabajos muy interesantes al respecto.

Si desea información adicional puede consultar los siguientes títulos y direcciones en Internet:

- Magaña, Solís L.F: "Los superconductores", serie La ciencia desde México. Fondo de Cultura Económica, 1991. México.

- Rhodes, R.G. and Mulhall, B.E. "Magnetic Levitation for Rail Transport", serie Monographs on cryogenics, Oxford University Press, 1981, Inglaterra.

- Superconductive Components Inc.

(<http://www.superconductive-comp.com/>)

- Oak Ridge National Laboratory (<http://www.ornl.gov/>)

- Sandia National Laboratory (<http://www.sandia.gov/>)

El Mundo de la
Electrónica

Es una publicación de Editorial Quark, compuesta de 24 fascículos, preparada por el Ing. Horacio D. Vallejo, quien cuenta con la colaboración de docentes y escritores destacados en el ámbito de la electrónica internacional. Los temas de este capítulo fueron escritos por Horacio D. Vallejo y Leopoldo Parra Reynada.