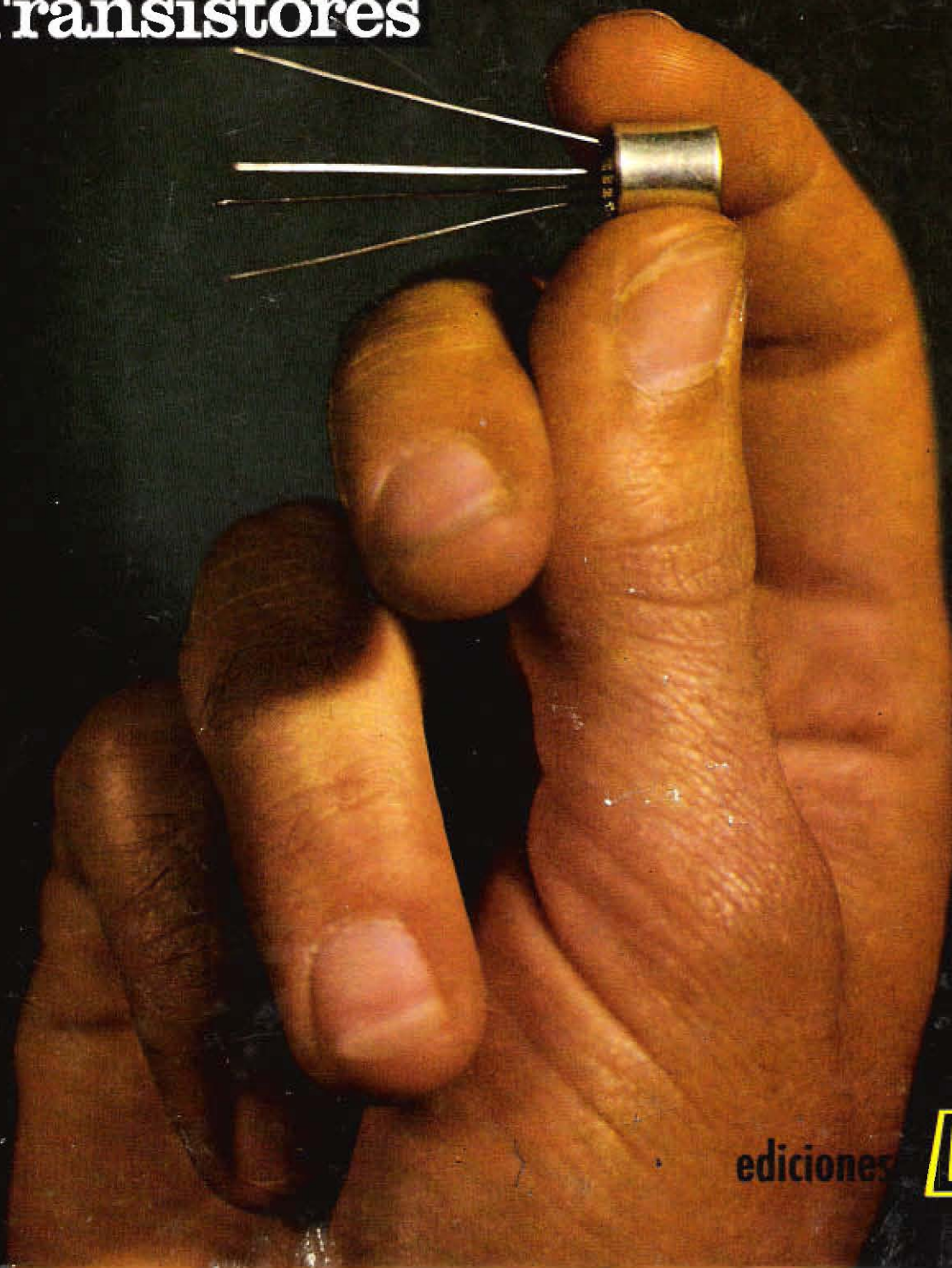


electronia + radio + tv

Transistores



ediciones



electronia + radio + tv

método especialmente ideado para aprender por sí mismo

electronia + radio + tv

tomo VII.

transistores

AFHA

el método de

electronia — radio — tv

comprende los siguientes títulos:

Tomo I	Teoría y montajes iniciales
Tomo II	Válvulas de vacío. Electrometría teórico-práctica
Tomo III	Detectores. Osciladores. Amplificadores
Tomo IV	Amplificadores B.F. Altavoces. Válvulas amplificadoras
Tomo V	El superheterodino de AM
Tomo VI	Receptores de frecuencia modulada
Tomo VII	Transistores
Tomo VIII	Alta fidelidad
Tomo IX	Instrumentos de medida
Tomo X	Televisión (I)
Tomo XI	Televisión (II)
Tomo XII	Televisión (III)

© AFHA Internacional, S.A.

c/. Maestro Nicolau, 4 Barcelona (21)

Vigesimosegunda edición: Segundo trimestre 1980

Depósito Legal: B. 19826-1978 (VII)

ISBN: 84-201-0274-1 Obra completa

ISBN: 84-201-0275-X Tomo 7

Impreso en España

Printed in Spain

Impreso por EMOGRAPH, S.A.

Almirante Oquendo, 1-9 Barcelona (20)

prólogo

Si esta obra que ponemos a su consideración hubiese aparecido diez años antes, sólo diez años, es innegable que esta introducción iría destinada a una argumentación convincente demostrativa del papel destinado al transistor dentro del futuro panorama de las aplicaciones de la ciencia electrónica.

Hoy en día ya no podríamos justificar una introducción en este sentido, porque aquel futuro que diez años atrás se nos mostraba como una posibilidad cierta, se ha convertido en una realidad innegable que ha venido a confirmar las esperanzas puestas en este elemento que por su pequeñez de volumen y por sus enormes posibilidades se le llamó admirativamente el *pequeño gigante* de la electrónica: el transistor.

Los transistores en particular y los semiconductores en general, han adquirido una importancia y un predominio extraordinario, hasta el punto de hacer que el técnico en radio y televisión requiera necesariamente un conocimiento teórico-práctico de sus posibilidades y características técnicas, si realmente quiere estar a la altura de las necesidades de la industria y del mercado y si quiere estar preparado para afrontar con éxito la evolución (que en parte se adivina y en parte es una realidad) que la aparición y perfeccionamiento de los semiconductores ha imprimido a las aplicaciones de la electrónica.

Este tratado sobre semiconductores, pretende dar al técnico los conocimientos básicos que le permitan trabajar con seguridad y conocimiento de causa con todo tipo de transistores y semiconductores, cuyo comportamiento difiere, en varios aspectos, del de las válvulas electrónicas.

Lo anterior supone afirmar que la comprensión de temas que se van a tratar en estas lecciones, requiere por parte del lector el conocimiento de la radiotecnica tradicional. Es decir: en todo momento supondremos que hablamos a un técnico en radio, con lo cual, nuestra misión consistirá en adoctrinarle sobre algo nuevo cuyo valor formativo consistirá en completar y poner al día la autenticidad del título de técnico en radio que posea o pueda poseer por sus conocimientos.

Pero, no vaya a creer el técnico que nos lea, que esta obra pretende ser un panegírico del transistor. No pretendemos demostrar que este elemento sea la panacea llamada a solucionar todos los problemas que plantea y planteará la ciencia de la electrónica. Tampoco estamos interesados en demostrar que la válvula termoiónica ha pasado a ser un invento en decadencia.

Los que han intervenido en la creación de estas lecciones, técnicos, pedagogos y dibujantes, han procurado moverse en un plano de absoluto objetivismo científico. Sus deseos consisten en poner de palpable manifiesto las diferencias fundamentales entre los circuitos de radio con válvulas termoiónicas y los circuitos transistorizados; en dar una visión justa, ni muy profunda ni demasiado superficial de las posibilidades de la técnica de los semiconductores. El juicio crítico sobre la mayor conveniencia de uno u otro sistema, así como la posible absorción por uno de ellos de la totalidad de la producción de ingenios electrónicos, es cosa que dejan al criterio particular de cada técnico y, sobre todo al factor que siempre dice la última palabra: el tiempo.

Hemos dicho que no se pretendió dar a este tratado una gran profundidad científica. Esta particularidad debe tomarse en el sentido de que no se ha deseado que el lector trabaje sobre procedimientos analíticos que desembocan en fórmulas matemáticas discutibles las más de las veces. Pero ello no quiere decir que estas enseñanzas se apoyen en conceptos empíricos; al contrario, el estudio de los semiconductores, debe fundamentarse en verdades físicas científicamente ciertas. Sólo el conocimiento de estas verdades puede darnos la visión real y suficiente del cómo y del por qué de su comportamiento.

Así, pues, sepa el lector que tiene en sus manos una obra técnica que cifra su efectividad en un planteo armónico donde lo descriptivo tiene su réplica gráfica en imágenes que, por lo común, explican más que un texto y que, por otra parte, se recuerdan con mayor facilidad.

Creemos haber conseguido una obra que puede interesar a todos, desde el ingeniero al aficionado. Cada cual, según su capacidad encontrará la base para conseguir una formación técnica apoyada en un claro concepto de los fenómenos físicos.

índice

Lección 38 - Pág. 1

INTRODUCCIÓN. La conducción electrónica. Estructura de los sólidos. La teoría cuántica. Bandas y niveles de energía. Los semiconductores. Semiconductores extrínsecos. Uniones «PN». El diodo semiconductor. Tensión inversa. Diodos de punta y diodos de unión. Aplicación de los diodos de germanio. Detección. Receptores sencillos de diodo de germanio. Detector para receptores de radio de amplitud modulada (AM). Discriminador (detector) para receptores de radio de frecuencia modulada (FM) y de la etapa de sonido de receptores de TV. Rectificación. Unidades de alimentación para conexión de receptores de radio con transistores a la red. Rectificador para regeneración de pilas. Pequeñas unidades de alimentación. Medida precisa de corrientes alternas.

Lección 39 - Pág. 29

CARACTERÍSTICAS DE LOS DIODOS SEMICONDUCTORES. Curva característica del diodo semiconductor. Ejemplo de las características de un diodo semiconductor. Diodos de selenio. Teoría de funcionamiento. Formas constructivas. Diodos semiconductores de silicio. Formas constructivas de diferentes diodos de silicio. Unión por punta de contacto. Unión por aleación. Unión por formación. Unión por difusión. Unión por difusión mesa. Unión por difusión planar. Unión por difusión planar-epitaxial. Rectificadores controlados de silicio. Constitución de un rectificador controlado. El control de la conducción electrónica en el tiratrón sólido. Diodos Zener de silicio. Aplicaciones en corriente alterna. Aplicaciones en corriente continua.

Lección 40 - Pág. 57

ESTABILIZACIÓN TÉRMICA DE LOS CIRCUITOS A TRANSISTORES. Influencia de los cambios de temperatura en el comportamiento de los transistores y su estabilización. Estabilización por polarización automática. Estabilización por realimentación de corriente continua. Restabilización por realimentación serie de corriente. Restabilización con termistancia. Corrección por diodo. Amplificadores de varias etapas. Acoplamiento por transformador. Acoplamiento por resistencia capacidad (RC). Acoplamiento directo. Ruido de fondo de los amplificadores. Control de volumen. Etapas de salida. Amplificadores finales simples. Amplificadores finales de contrafase. Amplificadores simétricos clase B. Amplificación clase AB. Inversores de fase. Realimentación negativa. Regulador de tono.

Lección 41 - Pág. 85

EL TRANSISTOR. Teoría del transistor. El transistor de puntas de contacto. Los transistores de unión. Unión por aleación. Unión por difusión. Nomenclatura de los transistores. Presentación y conexión de los transistores. Transistores de potencia. Tres precauciones a tener muy en cuenta en el empleo de los transistores (el calor los destruye). Comportamiento del transistor en comparación con la válvula electrónica. Características del transistor. Características principales. Características típicas. Polarización. Los tres circuitos fundamentales. Emisor común. Base común. Colector común.

Lección 42 - Pág. 113

RECEPCIÓN EN AM Y FM CON TRANSISTORES. Antenas para recepción en F.M. El transistor de radiofrecuencia. Amplificadores de radiofrecuencia. Acoplamiento entre etapas. Neutralización. Etapa previa de R.F. para FM. Osciladores con transistor. Osciladores de radiofrecuencia. El oscilador Hartley. Circuitos mezcladores. Etapa mezcladora autoosciladora para receptores FM. Amplificadores de F.I. Amplificadores de F.I. para FM. Demodulación en FM. El discriminador. El detector de relación. Control automático de sensibilidad.

Lección 43 - Pág. 141

APLICACIONES DIVERSAS DE LOS DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES. Los transistores en la técnica de los impulsos. Multivibradores. Organo electrónico transistorizado. Indicador de nivel de líquidos. Transformadores o convertidores de corriente continua por medio de osciladores y multivibradores transistorizados. Dispositivos semiconductores para aplicaciones especiales. a) Semiconductores sin ninguna unión. b) Semiconductores con una unión. c) Semiconductores con dos uniones. d) Semiconductores con más de dos uniones. El «Varicap» semiconductor de capacidad variable. Las termistancias o resistencias «NTC». Las varistencias o resistencias «VDR». Dispositivos semiconductores sensibles a la luz, fotorresistencia, o resistencia «LDR». Fotodiodos y fototransistores. Células fotovoltaicas. Células de selenio. Diferentes formas de células de selenio. Célula de silicio.

apéndice

REALIZACIONES PRÁCTICAS CON TRANSISTORES.



Semiconductores

Introducción

La conducción electrónica

Diodos semiconductores

Diodos de punta y de unión

LECCION

38

Introducción. - La conducción electrónica. - Semiconductores.-Uniones PN.-Diodos semiconductores.-Diodos de punta y diodos de unión

Los semiconductores pertenecen a una rama relativamente reciente de la Electrónica. En los últimos años, las investigaciones de gran número de científicos sobre el comportamiento al paso de la corriente eléctrica en los materiales denominados semiconductores han conducido a tal serie de descubrimientos y adelantos que puede decirse que quizás ninguna técnica ha hecho tan rápidos progresos como la de los semiconductores, los cuales pueden sustituir a las válvulas de vacío con numerosas ventajas en gran número de aplicaciones.

Desde el punto de vista de su comportamiento eléctrico, los semiconductores difieren de las válvulas de vacío, por lo que deben proyectarse circuitos y montajes distintos de los a que estamos acostumbrados en la técnica de las válvulas de vacío. Las tensiones y las intensidades admisibles tienen límites muy diferentes; además, la temperatura tiene una importancia primordial en los semiconductores.

Antes de la introducción del diodo de germanio, en 1940, los fenómenos que se desarrollaban en los semiconductores eran, desde muchos puntos de vista, bastante misteriosos. La conductibilidad eléctrica de estos cuerpos es notablemente inferior a la de los metales, aunque no lo suficiente para considerarlos como aislantes; además, en muchos casos, aumenta rápidamente con la temperatura, al contrario de lo que ocurre con los metales conductores.

Al lado de la válvula electrónica, por medio de la cual controlamos el movimiento de los electrones, lo cual le ha conferido un lugar de primer orden en la técnica electrónica, un nuevo elemento, el semiconductor, ha surgido con una técnica que difiere de la de su predecesor. Mientras hasta aquí hemos aprendido a dirigir el desplazamiento

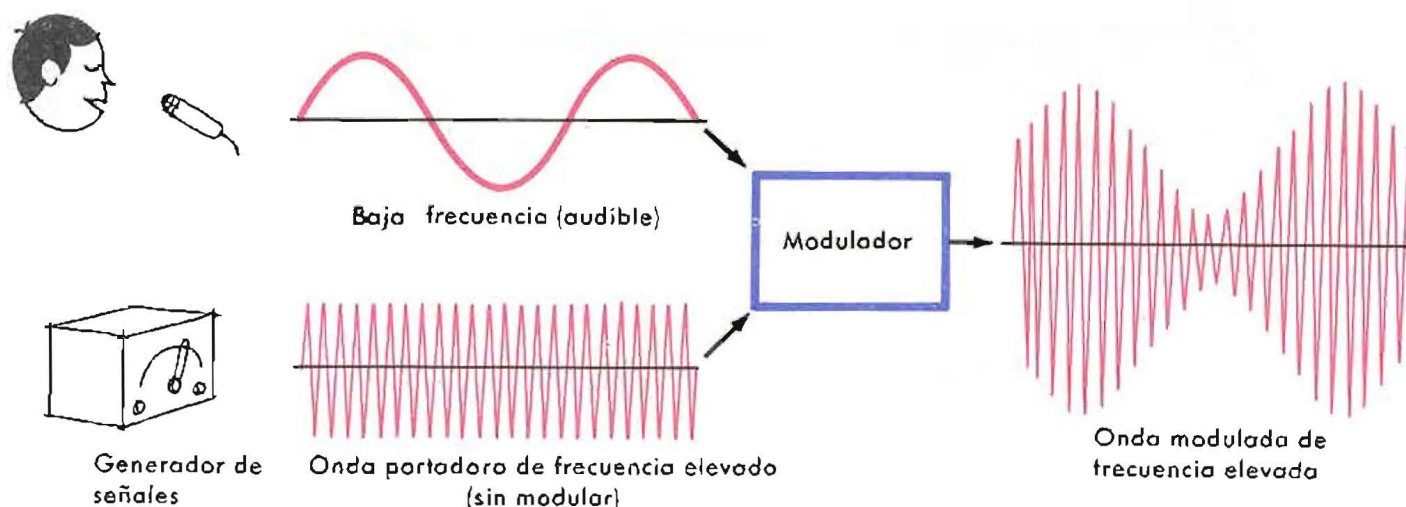
de los electrones en un espacio en el que se había efectuado el vacío (o enrarecido con un gas), ahora con los semiconductores nos es posible controlar este desplazamiento en el seno de un sólido.

Esta nueva técnica ha introducido un nuevo concepto, el de los HUECOS, considerados al igual que los electrones como portadores eléctricos. La existencia de estos dos tipos de portadores de carga eléctrica, considerados unos como positivos y los otros como negativos, ha abierto un campo vastísimo de aplicaciones cuyos nuevos desarrollos son continuos e imprevisibles.

Las experiencias de F. Braun mostraron en 1874 que un cristal de carborúndum colocado entre dos puntas metálicas, a las que se aplicaba una diferencia de potencial y por el cual circulaba una corriente eléctrica, presentaba más resistencia en un sentido que en otro. Este descubrimiento incitó a proseguir las experiencias sobre otros cristales; se comprobó que también algunos otros cuerpos como la galena y la piritita presentaban el mismo fenómeno.

Por otra parte, en 1880, Hertz demostró, en sus experiencias fundamentales sobre la difusión de la energía eléctrica, que era posible unir eléctricamente dos puntos separados sin interposición de ningún conductor, lo cual Marconi llevó a la práctica en 1897. Desde las primeras experiencias de emisión de ondas electromagnéticas en el espacio, se supo que solamente las ondas de frecuencia relativamente elevada podían dar buenos resultados prácticos de comunicación sin hilos. Para lograr la transmisión a gran distancia de las señales telefónicas, cuya frecuencia es relativamente baja, fue necesario modular una onda portadora de frecuencia elevada.

Esta solución en la emisión obligó a encontrar



también una solución en la recepción para poder *demodular*, es decir, separar la señal de baja frecuencia que interesa interpretar de la de alta frecuencia, que sólo ha servido a modo de vehículo espacial. Esta demodulación se denomina corrientemente DETECCIÓN, cuyos principios ya conocemos por el estudio de la válvula diodo. No obstante, con anterioridad a esta válvula, el cristal conductor en un solo sentido se adaptaba muy bien al objeto de la demodulación o detección, y con el nombre de detector de cristal se utilizó largamente en radiotecnia hasta la aparición de la válvula de vacío.

Al principio, prácticamente no se conocía el funcionamiento físico del detector de cristal semiconductor; fue mucho más tarde cuando se vio claro en la cuestión. En aquella época sólo la experiencia mostraba algunas propiedades de este elemento. Los cristales utilizables eran pocos entre un gran número; aun los seleccionados sólo daban buenos resultados en algunos puntos de su superficie, los cuales se buscaban por medio de una punta metálica movable. Como es lógico, la aparición del detector con válvula de vacío que conocemos suplantó por entero al detector de cristal porque evitó la engorrosa y aleatoria búsqueda del «punto sensible»; el diodo de cristal sólo siguió utilizándose para receptores de socorro en caso de avería de la red de energía eléctrica o para el entretenimiento y educación de la gente joven y aficionados a la radio.

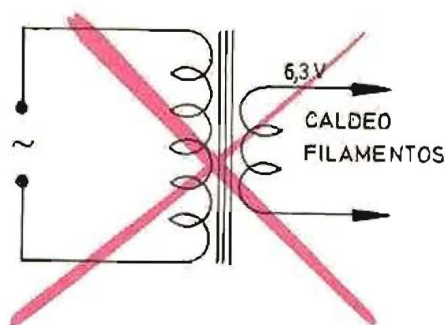
Los dispositivos electrónicos han ido utilizando frecuencias cada vez más elevadas; se llegó a un punto en que el diodo de vacío ya no daba resultados satisfactorios, especialmente debido a la capacidad interelectrónica de la válvula y al tiempo de tránsito o de «viaje» de los electrones. Por ello se estudiaron nuevos dispositivos que presentaran una capacidad muy baja y se analizó de

nuevo el viejo detector de cristal, el cual, a pesar de los inconvenientes ya mencionados, abría la posibilidad de encontrar una solución al problema planteado.

Es curioso señalar que, por razones totalmente diferentes, en distintos laboratorios se investigaban los semiconductores, a los que se consideraba solamente como curiosidades científicas, que constituían verdaderas cobayas para el estudio de la constitución de los cuerpos sólidos y las interacciones entre la electricidad y la materia.

Las investigaciones efectuadas para lograr métodos de purificación de los materiales condujeron a la obtención de purzas jamás hasta entonces logradas —del orden de diez mil millones de átomos de un cuerpo por un solo átomo de impureza—; los resultados obtenidos con ello cristalizaron en 1940 en los primeros diodos de cristal según la técnica de los semiconductores. Estos nuevos diodos no tenían ningún inconveniente de los antiguos de cristal y al propio tiempo constituían un notable progreso en la técnica de los montajes para frecuencias elevadas. El hecho de que un diodo semiconductor es de construcción muy simple, lo que facilita en gran manera los montajes, más el de que no necesita corriente de caldeo por no tener filamento, hizo que los semiconductores alcanzaran gran popularidad e incitó a proseguir las investigaciones en este campo.

Así, en 1948, Barden y Brattain, bajo la dirección de Shockley, de los laboratorios de E.E. UU. de la Bell Telephone, descubrieron el diminuto TRANSISTOR, cuyo fundamento se ha considerado como el fenómeno físico más sorprendente y el avance científico más importante en el campo de la Electrónica después de la invención de la válvula triodo de Lee de Forest, a la cual sustituye con gran ventaja en muchas aplicaciones, tanto en circuitos de alta como de baja frecuencia.

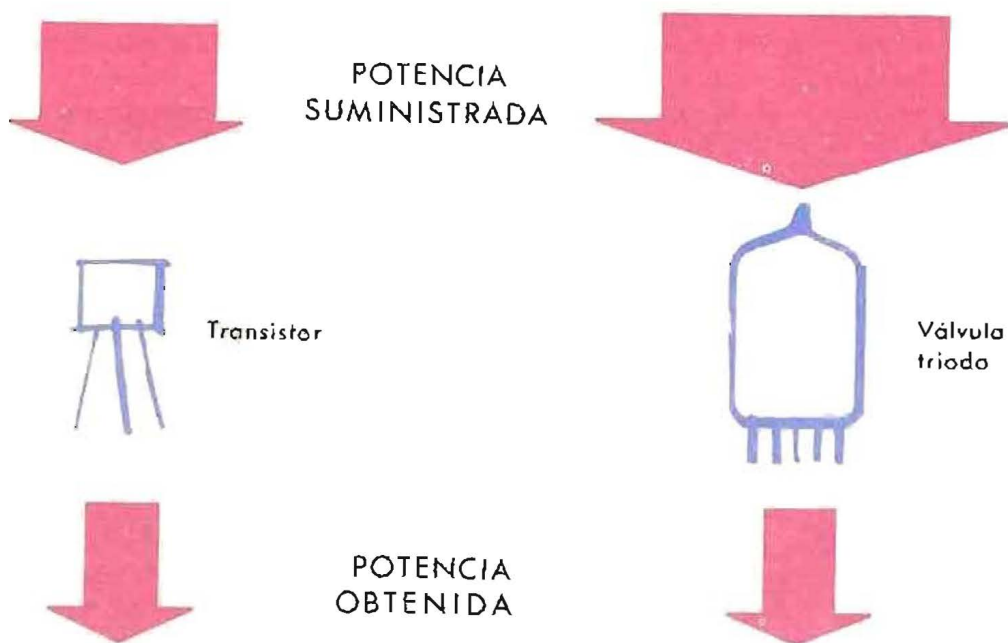


Un dispositivo semiconductor no necesita corriente para calentar ningún filamento, es muy pequeño comparado con una válvula termoiónica y es muy fácil de montar en cualquier circuito electrónico.

Las válvulas de vacío han mantenido su supremacía durante cuarenta años ; pero a pesar de sus grandes progresos y perfeccionamientos exigen un vatio de consumo para amplificar un microvatio, mientras que el transistor tiene un rendimiento de un 25 a 40 % y necesita una potencia un millón de veces menor que la de una válvula, aparte de que el volumen de ésta es mucho mayor que el de un transistor.

Pero los transistores, a pesar de los grandes progresos realizados en su fabricación y de sus perfeccionamientos, pueden verse anulados por

otros elementos, ya que nos encontramos solamente en los inicios de una verdadera revolución técnica. En 1958 apareció el DIODO TÚNEL, del japonés Esaki, que en ciertas aplicaciones ofrece bastantes ventajas con relación al transistor, así como el TIRATRÓN SÓLIDO y otros elementos semiconductores, como las resistencias cuyo valor varía con la tensión o inversamente con la temperatura; los elementos termoelectrónicos que generan energía si se calientan o se enfrían, o que cuando se les aporta energía la transforman en calor por una de sus caras y en frío por la otra, etc.



Una válvula de vacío consume mucha energía y tiene un rendimiento muy bajo. En cambio, un transistor tiene un rendimiento muy elevado con un consumo de energía bajísimo.

LA CONDUCCION ELECTRONICA

La historia del semiconductor es, en gran parte, la historia de la materia, de la misma forma que, en sentido lato, la electrónica comprende todos los fenómenos eléctricos, puesto que toda conducción eléctrica implica la presencia de electrones.

Aunque los semiconductores no tuvieran importancia técnica alguna, serían interesantes por su contribución al conocimiento de las propiedades de la materia en estado sólido.

Se entiende por dispositivo electrónico *un dispositivo en el que tiene lugar la conducción por electrones, bien sea a través del vacío, de un gas o de un medio semiconductor*. La conducción electrónica está muy extendida y su naturaleza es muy diversa; muestras de ella son el rayo, la descarga en los anuncios luminosos de neón, el arco eléctrico, el efecto «corona» en las líneas de transporte de energía, la conducción en las válvulas de vacío y en los semiconductores, etc. A veces es esporádica (el rayo); otras indeseable (descargas atmosféricas), y en otras ocasiones la conducción

es intencionada y se controla con facilidad por medio de sistemas eléctricos, como ocurre en las válvulas de vacío y en los semiconductores.

Sabemos que el funcionamiento de la válvula de vacío se basa en el flujo de los electrones desde el filamento hasta la placa, y en el control de este flujo por acción de las rejillas intercaladas. El funcionamiento de un semiconductor también se basa en gran parte en el flujo electrónico, pero hay muchas e importantes diferencias entre los dos dispositivos.

Para crear y controlar una conducción o corriente electrónica es necesario disponer de un medio de liberar partículas cargadas, de las cuales el electrón es la que más nos interesa. Los varios procedimientos mediante los cuales se liberan electrones de los metales pueden explicarse basándose en la teoría atómica de la materia, a la cual pasaremos una rápida revisión por sernos ya conocida por el estudio de la emisión termiónica en particular y de la conducción eléctrica en general.

ESTRUCTURA DE LOS SOLIDOS

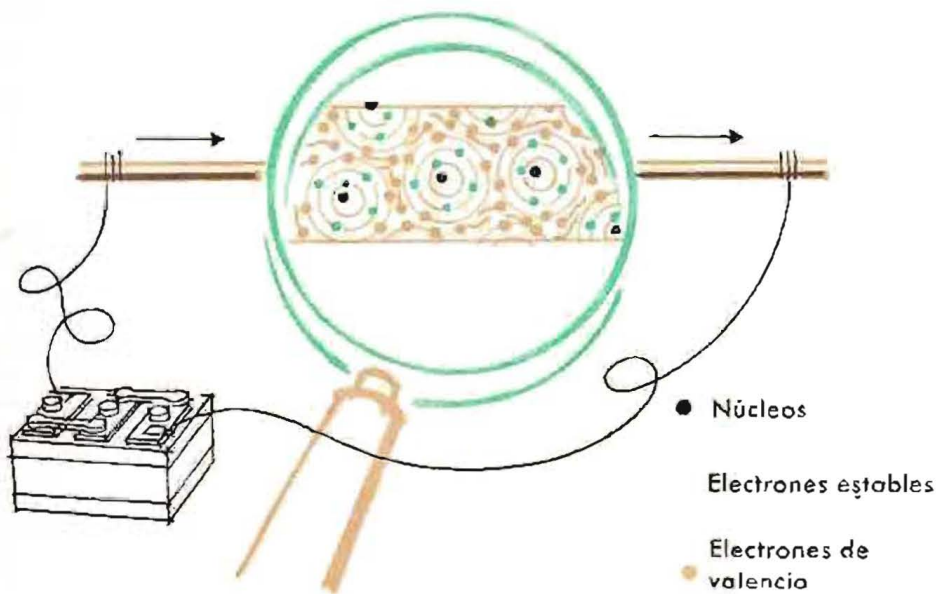
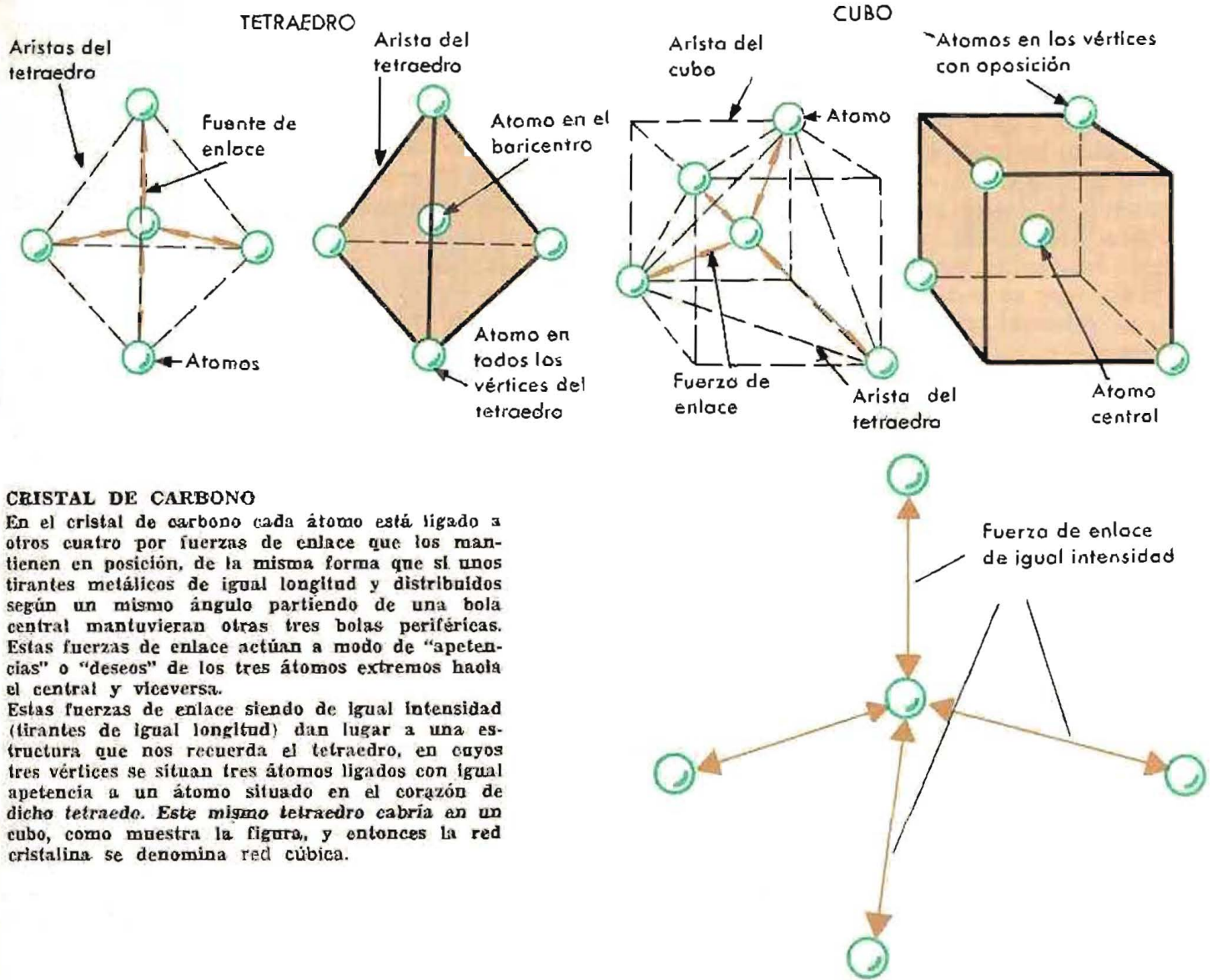
Los materiales sólidos pueden considerarse como conglomerados de cristales de diversas formas y tamaños, los cuales son por lo general pequeños, aunque puede haberlos de varios centímetros. Dentro de cada cristal, los átomos se hallan ligados entre sí por fuerzas de enlace (a modo de tirantes) y distribuidos de tal forma por estas fuerzas que forman una estructura reticulada diferente según sea el cuerpo considerado. Estas estructuras reticuladas son de forma simétrica, ya que las fuerzas de enlace «tiran» por igual de un átomo que de otro y por ello siempre pueden representarse por una forma geométrica que nos sea familiar.

A su vez, sabemos que cada átomo consta de un núcleo rodeado de un enjambre de electrones en movimiento. Estos electrones están agrupados según una distribución más o menos esférica alrededor del núcleo, y en varias capas según sea el número de electrones correspondientes al átomo de un cuerpo considerado. Los electrones periféricos, o sea, los de la capa externa, se denominan ELECTRONES DE VALENCIA; y como pueden intercambiarse de un átomo a otro cuando se ponen en íntimo contacto, determinan el comportamiento químico del átomo y le confieren sus otras ca-

racterísticas físicas. En un cuerpo sólido los átomos se hallan muy próximos entre sí, formando estructuras reticulares como la ya descrita del carbono; los electrones de valencia pueden pasar de un átomo a otro.

Los experimentos efectuados demuestran que aproximadamente un electrón puede desplazarse en esta forma para cada átomo de un metal. Al aplicar un campo eléctrico los electrones se ven obligados a moverse en la dirección del campo, constituyendo una corriente eléctrica, o mejor dicho, una corriente electrónica.

En la mayoría de los elementos o cuerpos simples la capa periférica del átomo no contiene todos los electrones que le correspondería; les faltan unos pocos o les faltan muchos, o mitad y mitad de los electrones de esta capa o nivel externo de energía. A causa de ello se dice que estos elementos o átomos son inestables y buscan la manera de estabilizarse o la aceptan si otro elemento se la procura. Así, un átomo al que le faltan muchos electrones en su capa periférica y sólo le quedan uno o dos busca otro elemento al que le falte este o estos dos electrones para regalárselos; es decir, es un DONADOR de electrones. Un átomo al que solamente le falten uno o pocos electrones



De los electrones de valencia de la capa periférica de los átomos, algunos se han liberado y se han desplazado a la capa periférica de otro átomo que se encontraba cerca y, así sucesivamente, en conjunto estos electrones de valencia liberados se desplazan a través del material en el sentido del campo eléctrico aplicado, formando la corriente electrónica.

buscará otro que pueda procurárselos; es un átomo que acepta electrones o RECEPTOR. Un átomo al que le faltan más o menos la mitad de los electrones que debiera tener en la capa periférica queda un poco a la expectativa de la presencia de otro átomo inestable para aceptar los electrones que al otro le sobren, o para darle los de su capa periférica si al otro le faltan éstos.

Esta actividad de los electrones está estrechamente relacionada con la conductividad eléctrica; y puesto que se necesitan electrones libres para que se produzca corriente eléctrica, se dice que es inerte —o sea, que es *aislante*— un material en que la órbita exterior del átomo está completa de electrones. Por otra parte, en los átomos a los que faltan muchos electrones en su capa periférica, como al del cobre, que sólo queda en ella un electrón, éste los abandona fácilmente para quedar estable con su capa inmediatamente inferior completa; en consecuencia, el ceder fácilmente su

electrón hace que sea *buen conductor* de la electricidad.

Un átomo que no haya cedido ni aceptado ningún electrón es eléctricamente neutro, porque las cargas negativas constituidas por los electrones se compensan exactamente con las positivas de los protones del núcleo. Si de un átomo se separa un electrón o carga negativa, aquél queda cargado positivamente en una unidad + 1 (porque le falta la carga negativa del electrón liberado) y se le denomina ion positivo. Si un átomo se apodera de un electrón para poder completar su capa externa, queda cargado negativamente en una unidad - 1 (por tener una carga negativa en exceso del electrón aceptado), y se le denomina ion negativo.

No obstante la tendencia o «apetencia» a ceder o a aceptar electrones, se necesita cierta cantidad de energía para separar un electrón de su átomo, venciendo la fuerza de atracción del núcleo positivo.

LA TEORIA CUANTICA

Las diferentes órbitas de un átomo representan niveles de energía definidos por la fuerza de atracción del núcleo y su distancia a una órbita considerada. Para liberar un electrón de su órbita y situarlo en otra más elevada o trasladarlo a la órbita externa de otro átomo, es necesario aportar una cantidad de energía bien definida (es necesario aplicarle un impulso suficientemente fuerte), ya que de lo contrario no alcanza la otra órbita y vuelve a la suya original (vuelve a caer en su lugar de origen). Si la energía aplicada es superior a la necesaria (si el impulso es más fuerte del necesario), el electrón alcanza la órbita superior de la misma forma que con la energía estrictamente necesaria, salvo que el exceso de energía

fuera tal que le permitiera alcanzar una segunda órbita superior. En definitiva, la energía necesaria viene dada por unas cantidades bien definidas que se denominan QUANTOS.

Cuando un electrón abandona una órbita de nivel superior de un átomo para situarse en otra de nivel inferior de otro átomo, pierde la energía necesaria para que la que le reste esté en concordancia con el nuevo nivel de energía. Esta energía perdida o liberada se transforma, por ejemplo, en calor, tal como ocurre en un conductor o en una resistencia cuando la atraviesa una corriente eléctrica; o en luz visible, como, por ejemplo, en las lámparas de descarga, tan utilizadas en los anuncios luminosos.

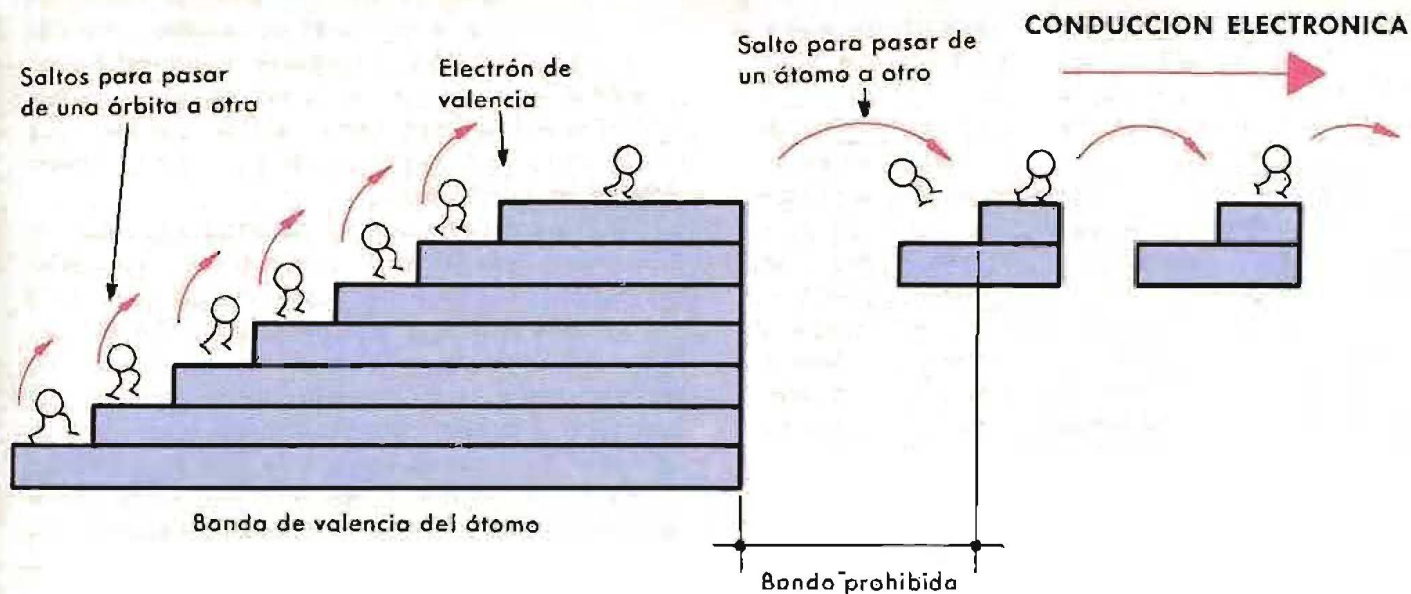
BANDAS Y NIVELES DE ENERGIA

Anteriormente se ha indicado que según a la capa externa de los átomos de un elemento le falten muchos, o pocos, o incluso ningún electrón, el elemento es conductor o es aislante. En definitiva, según que se le deba aplicar mucha o poca energía para trasladar un electrón, el cual, en su recorrido junto con otros muchos de los otros átomos, constituye la corriente eléctrica o conducción electrónica.

Sabemos que los electrones de valencia son aquellos que pueden liberarse por pertenecer a

una capa incompleta. La energía necesaria para liberarse de su capa depende de la capa de que se trate; es decir, de su distancia al núcleo. O sea, cada capa de un elemento representa un nivel de energía. Los electrones de valencia de un elemento, en su conjunto, constituyen toda una zona energética que admite activación, que se denomina BANDA DE VALENCIA.

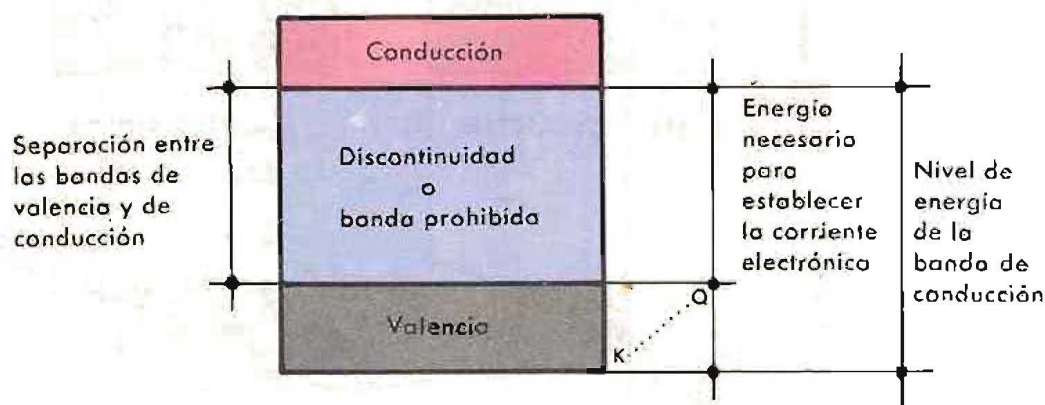
Dentro de esta banda de valencia un electrón puede trasladarse de un nivel de energía, o capa, a otro, aportándole cierta cantidad de energía bien



determinada. Diríamos que se traslada si lo «excitamos»; desde luego, siempre y cuando pueda encontrar un sitio libre en la nueva capa o nivel de energía. Ahora bien, para que un electrón de valencia pueda saltar de su átomo o banda de valencia a otro átomo y así sucesivamente, creando la corriente o conducción electrónica, puede necesitar mucha más energía en proporción, ya que depende del *vacío* que pueda existir entre átomos; es decir, depende de lo alejadas que estén entre sí las capas periféricas y de si hay sitio en ellas para ser ocupadas por los electrones.

Una vez los electrones de valencia han sido liberados de la órbita periférica, gracias a un aporte de energía que sea suficiente para salvar el va-

cío entre las órbitas periféricas de los diferentes átomos, se establece la corriente electrónica, que podríamos considerarla como un torrente de electrones que salta de átomo en átomo. Según sea la magnitud del vacío existente o discontinuidad, también llamado **BANDA PROHIBITIVA**, mayor o menor es la energía que hay que imprimir al electrón de la banda de valencia para saltar la banda prohibitiva y establecer la conducción, que por analogía se denomina **BANDA DE CONDUCCIÓN**. Por tanto, según se necesite más o menos energía para abandonar definitivamente la banda de valencia, mayor o menor es el nivel de energía representado por la banda de conducción; o sea, mayor o menor es la separación entre dichas dos bandas.



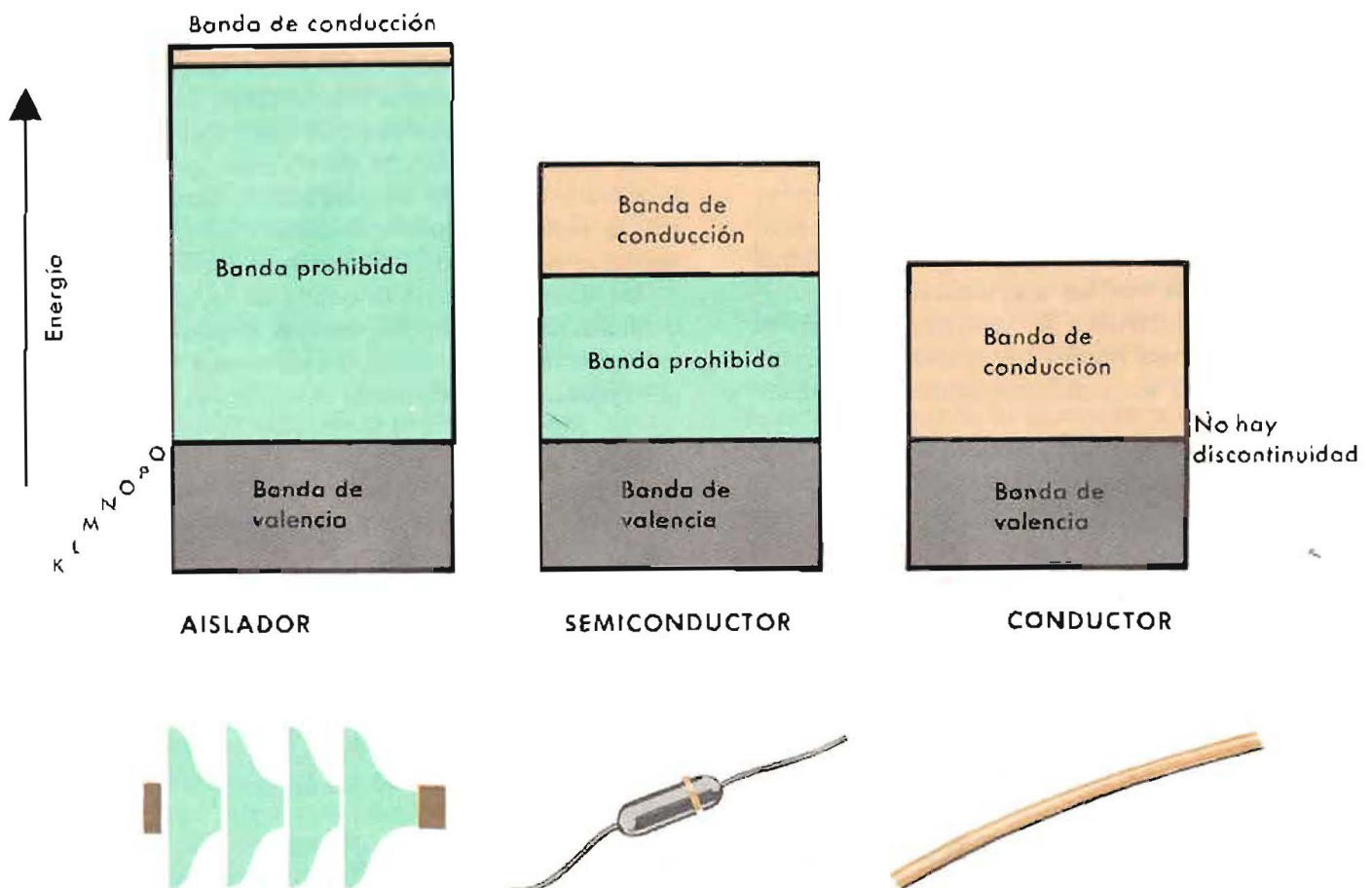
Según sea la discontinuidad entre la banda de valencia y la conducción mayor o menor será la energía necesaria para llegar a establecer la corriente eléctrica.

Precisamente según sea dicha discontinuidad los cuerpos son aislantes, semiconductores o conductores. Si se somete un cuerpo aislante a la acción de un campo eléctrico —es decir, si se le aporta energía—, es cierto que los electrones de valencia se «excitan»; pero sólo logran saltar de una órbita a otra y unos ocupan el sitio que ocupaban los otros; o sea, que de hecho ningún electrón se libera del átomo y por ello no hay conducción. Si aumentamos la intensidad del campo, algunos electrones van cobrando mayor energía y presentan una «tendencia» a liberarse del átomo, lo que logran si el nivel de energía o intensidad del campo es suficientemente elevado. Los que logran salvar la banda prohibitiva constituyen la corriente eléctrica que atraviesa tal aislante. Ahora bien, la conductividad eléctrica de un aislante es muy reducida, porque, por ser muy ancha la región prohibitiva, solamente una fracción insignificante de los electrones excitados puede saltar por encima de ella.

La discontinuidad o extensión de la banda prohibitiva de un semiconductor es menor que la de un aislante, lo que significa que se necesita menos

energía para que los electrones de la banda de valencia pasen a la banda de conducción saltando la banda prohibitiva. En consecuencia, en los semiconductores circula más corriente con una tensión aplicada dada que en un aislante, si bien esta corriente no es tan grande como la que se obtendría en un conductor.

Hemos indicado que un material perfectamente aislante está formado por átomos cuyas órbitas periféricas están completas; de ahí su falta de «apetencia» a liberar sus electrones. Por lo contrario, la órbita periférica de los átomos de un metal siempre es incompleta; de ahí que se produzca un continuo intercambio de electrones de valencia entre sus átomos. A la más leve diferencia de potencial que se aplique —es decir, inmediatamente que se establece el campo eléctrico—, los desplazamientos interatómicos de estos electrones se orientan en el sentido del campo y dan lugar a un movimiento o desplazamiento conjunto de electrones libres que constituye la conductividad del metal. En definitiva, en un metal no existe discontinuidad o banda prohibitiva, pues la energía requerida es muy pequeña.



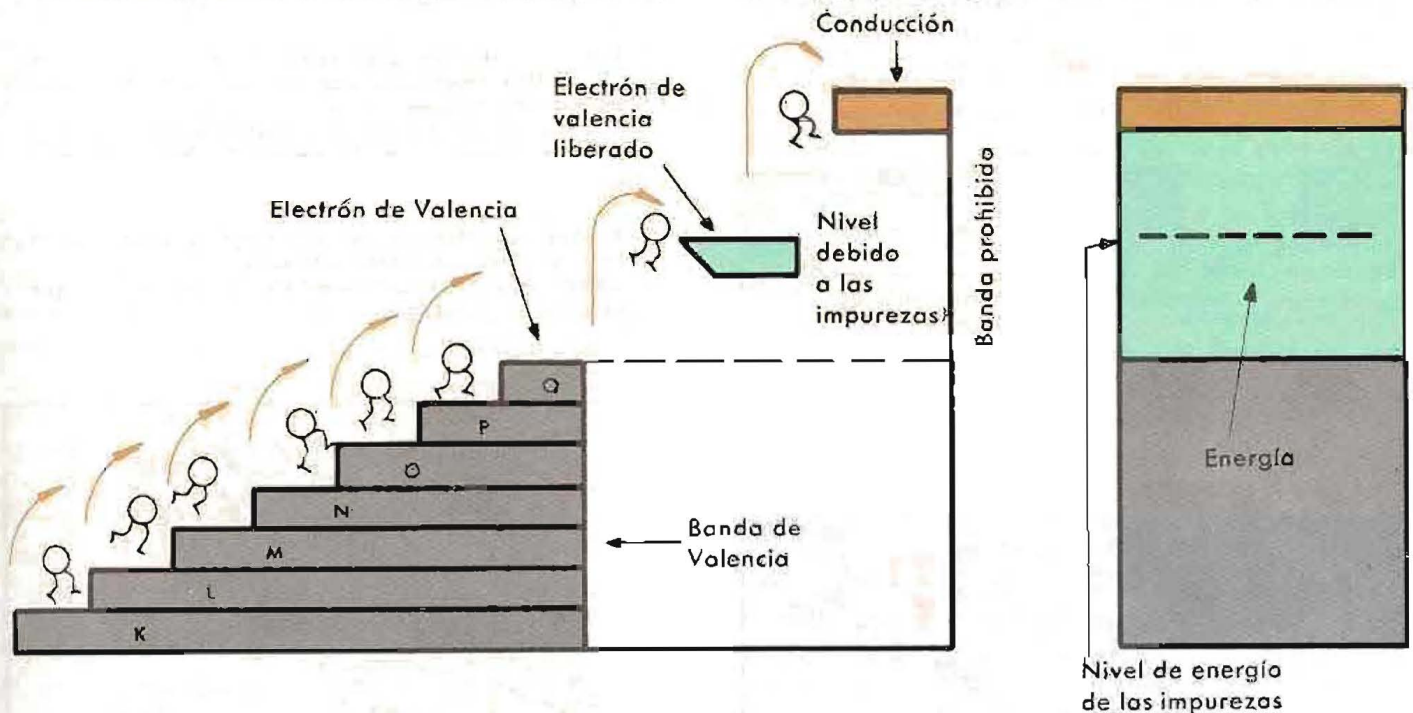
La cualidad de que un cuerpo sea aislante, semiconductor o conductor, depende de la anchura de su banda prohibitiva y, por tanto, de la cantidad de energía necesaria para liberar electrones de sus átomos.

LOS SEMICONDUCTORES

Un material semiconductor tiene una distribución de niveles y bandas de energía similar a la de un aislante; de hecho, por ejemplo, el GERMANIO, el SELENIO o el SILICIO en estado de pureza absoluta, que son los cuerpos más utilizados en la fabricación de los dispositivos electrónicos semiconductores, pueden considerarse como buenos aislantes.

Ahora bien, si en la estructura reticulada del

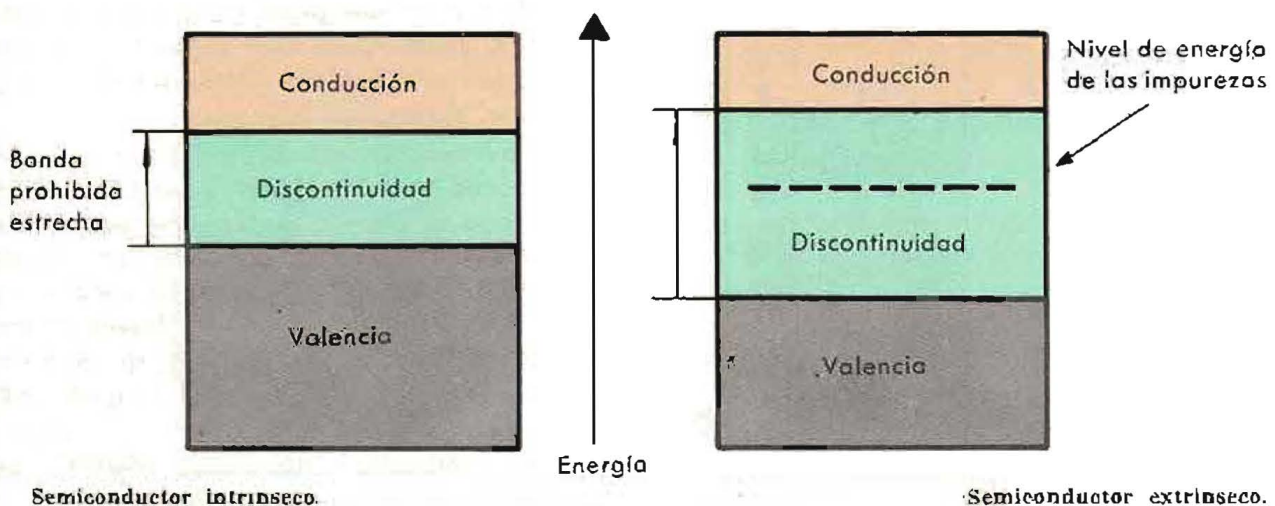
cristal de una sustancia pura existen imperfecciones y hay presencia de impurezas, dentro de la banda prohibitiva se forman niveles intermedios de energía (a modo de escalones) que facilitan un poco el que los electrones de valencia de un material aislante abandonen la banda de valencia y alcancen la de conducción. Es decir, a causa de las impurezas contenidas en un material aislante, éste puede transformarse en semiconductor.



Las impurezas contenidas en un material aislante pueden facilitar la conducción de electrones; así, un material que en estado puro era muy buen aislador, al contener ciertas impurezas se transforma en material semiconductor.

A los materiales que por sí mismos son semiconductores —es decir, que su banda prohibitiva es bastante reducida (aquellos en que la banda de conducción es cercana a la de valencia)— se les denomina CUERPOS SEMICONDUCTORES INTRÍNSECOS.

Los materiales que en estado puro son aislantes, pero que si contienen pequeñas cantidades de otros cuerpos (impurezas) son semiconductores, se les denomina CUERPOS SEMICONDUCTORES EXTRÍNSECOS.



Los semiconductores intrínsecos tienen una banda prohibitiva tan estrecha que puede atravesarla un número apreciable de electrones excitados, y aplicando un campo eléctrico puede producirse la conducción electrónica a base del desplazamiento de estos electrones. Ahora bien, cuando se libera un electrón de valencia y éste alcanza la banda de conducción, en la banda de valencia queda un HUECO (el dejado por el electrón que se

ha ido). A su vez, este hueco representa una «apetencia» del átomo para que lo rellene algún electrón de la banda de valencia. Así ocurre: un electrón de otro átomo le abandona y ocupa el hueco dejado por el primer electrón, pero al hacerlo también deja un hueco en su átomo.

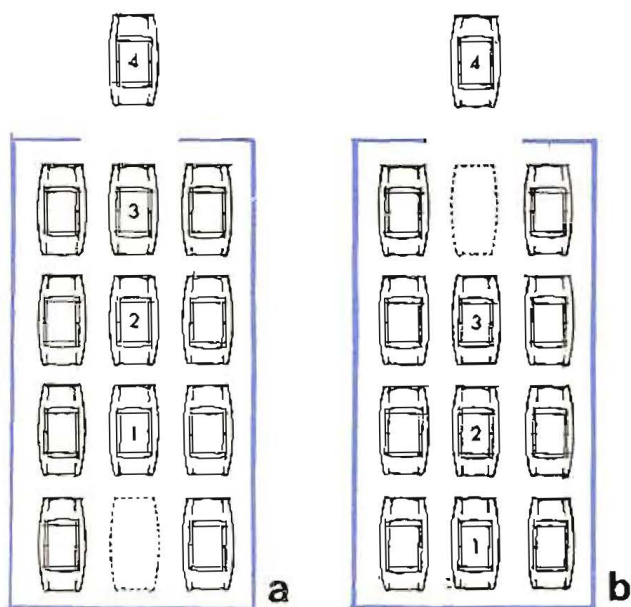
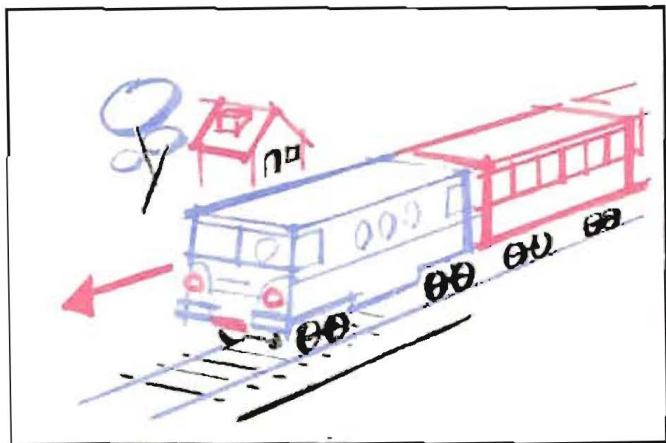
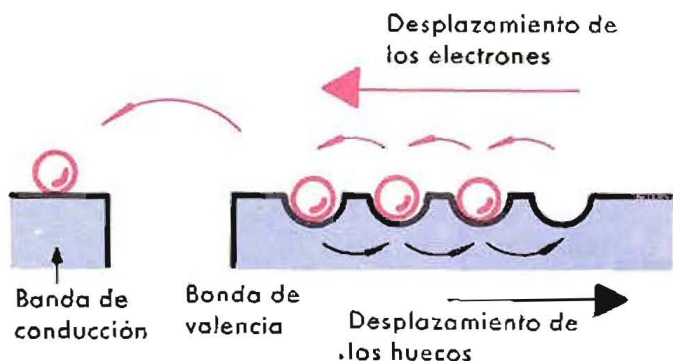
Es decir, cuando los electrones se desplazan en un sentido parece que los huecos sucesivamente dejados se desplacen en el sentido opuesto.

Los electrones (cargas negativas) al desplazarse en un sentido representa que sus huecos se desplazan en sentido inverso.

Los huecos por ser debidos a la falta de una carga negativa constituyen de hecho cargas positivas o portadores positivos.

Si nos encontramos en el campo vemos que el tren se desplaza hacia adelante...

...Pero si nos encontramos en el tren vemos que el paisaje se va hacia atrás.



Otro ejemplo que ayuda a comprender el desplazamiento de los huecos.

Un garage para aparcamiento de coches está completo salvo una plaza vacía, o hueco, que queda en su fondo, pero que no puede ocuparse por los coches estacionados entre este hueco y la entrada del garage (a).

Si avanzamos un lugar el coche 1 —es decir, si el coche 1 ocupa el hueco del fondo del garage—, deja el sitio (el hueco) que ocupaba antes, el que a su vez puede ser ocupado por el coche 2. El hueco dejado por el coche 2 puede ser ocupado por el coche 3, el cual ha dejado su sitio en la entrada del garage; es decir, queda en dicha entrada un hueco que puede ser ocupado por otro coche (4).

En conclusión, EL HUECO DEL FONDO DEL GARAGE SE HABRÁ TRASLADADO A LA ENTRADA.

El átomo es eléctricamente neutro porque sus cargas negativas (los electrones) están exactamente compensadas por sus cargas positivas (los protones del núcleo). Cuando se libera un electrón de un átomo (se le ha ido una carga negativa) deja de existir el equilibrio eléctrico; y faltando una carga negativa el átomo queda cargado positivamente en una unidad representada por el hueco que ha dejado el electrón; es decir, los huecos actúan de cargas positivas. Por consiguiente, la corriente eléctrica de un semiconductor puede ser considerada como una corriente de electrones que se mueve hacia el polo positivo y una corriente de huecos que se dirige al polo negativo.

Hemos indicado que un semiconductor, y más aún un aislante, en estado puro tiene una conductividad eléctrica muy reducida. Sin embargo, puede hacerse más elevada si se introducen en la red del cristal átomos de ciertos elementos (que, de hecho e impropriamente, a veces llamamos «impurezas»), constituyendo así el SEMICONDUCTOR EXTRÍNSECO. Se necesita sólo una pequeña porción de estas sustancias —tal como un átomo de impurezas por cada cien millones de átomos del semiconductor— para que la conductividad eléctrica de este último quede multiplicada en unas diez veces.

Hay dos clases de impurezas que dan lugar a dos clases de semiconductores, los del tipo N y los del tipo P, según que favorezcan el desplazamiento de los electrones (conductividad negativa) o el de los huecos (conductividad positiva).

Supongamos un material semiconductor (el germanio, por ejemplo, que en estado puro puede considerarse como aislante) al que faltan algunos electrones para que esté completa la órbita periférica de sus átomos. Si le agregamos pequeñas cantidades de ciertos elementos (impurezas) previamente seleccionadas (arsénico, por ejemplo), los átomos de la impureza penetran en el cristal del semiconductor y ceden a algunos átomos de este último los electrones que le faltaban para completar sus órbitas periféricas. No obstante, el elemento utilizado como impureza es tal que a pesar de haber cedido parte de sus electrones aún le queda alguno en su órbita periférica; este electrón permanece en el átomo de la impureza gracias a la fuerza de atracción del núcleo, pero tiene una gran tendencia por liberarse y lo logra fácilmente en cuanto se le excita por un aporte de energía.

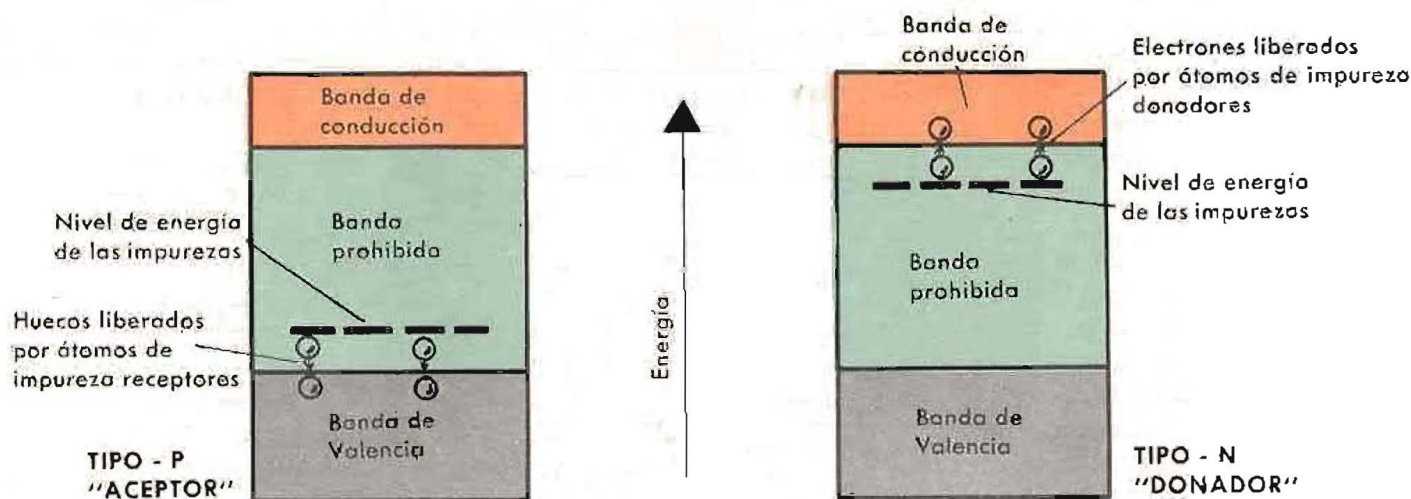
Un semiconductor extrínseco de este tipo libera fácilmente electrones, cosa que facilita la conducción electrónica o de cargas negativas. Por ello, en la representación de las bandas de energía de un semiconductor extrínseco podemos imaginar que el nivel debido a las «impurezas», situado en la banda prohibitiva, es próximo a la banda de conducción.

A estos semiconductores se les denomina DONADORES porque ceden fácilmente electrones; y siendo éstos unas cargas negativas se les representa principalmente como SEMICONDUCTORES EXTRÍNSECOS DEL TIPO «N» (por ejemplo, germanio tipo N).

SEMICONDUCTORES EXTRÍNSECOS

Existe también un segundo tipo de semiconductor extrínseco, el de tipo «P». En efecto, si se agregan al semiconductor (germanio, también por

ejemplo) pequeñas cantidades de otros tipos de sustancias (como boro, galio, indio, etc.), los átomos de estas impurezas penetran igualmente



Semiconductores extrínsecos.

en la estructura cristalina del semiconductor, y ceden también sus electrones a este último. En este caso, sin embargo, en lugar de sobrar un electrón en la órbita periférica, resulta que falta uno, por lo que el material tiene una gran «apetencia» por aceptar este electrón que le falta. En el momento en que se aplica una diferencia de potencial al semiconductor, los electrones de valencia se excitan y saltan al hueco representado por la falta de electrón; pero al abandonar su átomo para situarse en el hueco dejan a su vez un nuevo

hueco en su átomo, el cual es ocupado por otro electrón que también deja un hueco; así sucesivamente se crea una corriente de huecos o de cargas positivas. A estos semiconductores extrínsecos se les denomina **RECEPTORES** porque aceptan los electrones liberados; y como dan lugar a una conducción de cargas positivas se les significa por «tipo P». El nivel de energía de estas impurezas se sitúa también dentro de la banda prohibitiva, pero, en esta ocasión, próximo a la banda de valencia.

UNIONES "PN" - EL DIODO SEMICONDUCTOR

Una pieza de semiconductor de tipo «N» o de tipo «P», considerada en conjunto, es eléctricamente neutra. En ambos casos el número de *huecos* y el de *electrones libres* de la conducción electrónica debida a la excitación, o *activación* por aportación de energía, se equilibra mutuamente, de forma que en el semiconductor de tipo N las cargas positivas adquiridas por los átomos donadores al liberarse de electrones están equilibradas por dichos electrones liberados; en el semiconductor de tipo P las cargas negativas adquiridas por los átomos receptores al aceptar electrones están equilibradas por las cargas positivas o huecos que se producen simultáneamente.

Supongamos ahora que unimos una pieza de semiconductor de tipo P a otra de tipo N, para formar un par PN.

Aunque cada zona es por sí sola eléctricamente neutra, existen en realidad más electrones libres que huecos en la zona N y más huecos «activos» o «móviles» que electrones en la zona P.

Debido a la tendencia de los electrones libres para ocupar un hueco, aquéllos pasan de la zona N a la P; en consecuencia, por las analogías ya explicadas, pasan huecos de la zona P a la N. Estas dos corrientes, de electrones y de huecos, respectivamente, se denominan corrientes de **DIFUSIÓN**, ya que los electrones se «difunden» o esparcen en la zona P y los huecos se difunden en la zona N.

Ahora bien, como en la zona de unión de los dos tipos de cristal contrarios —cargas negativas (electrones) hacia un lado y cargas positivas (huecos) hacia el otro—, ocurre que allí mismo cada electrón se combina con un hueco, dando lugar a una zona de transición relativamente estrecha o barrera entre las zonas P y N.

Debido a la combinación de los portadores móviles positivos y negativos entre ellos mismos, a

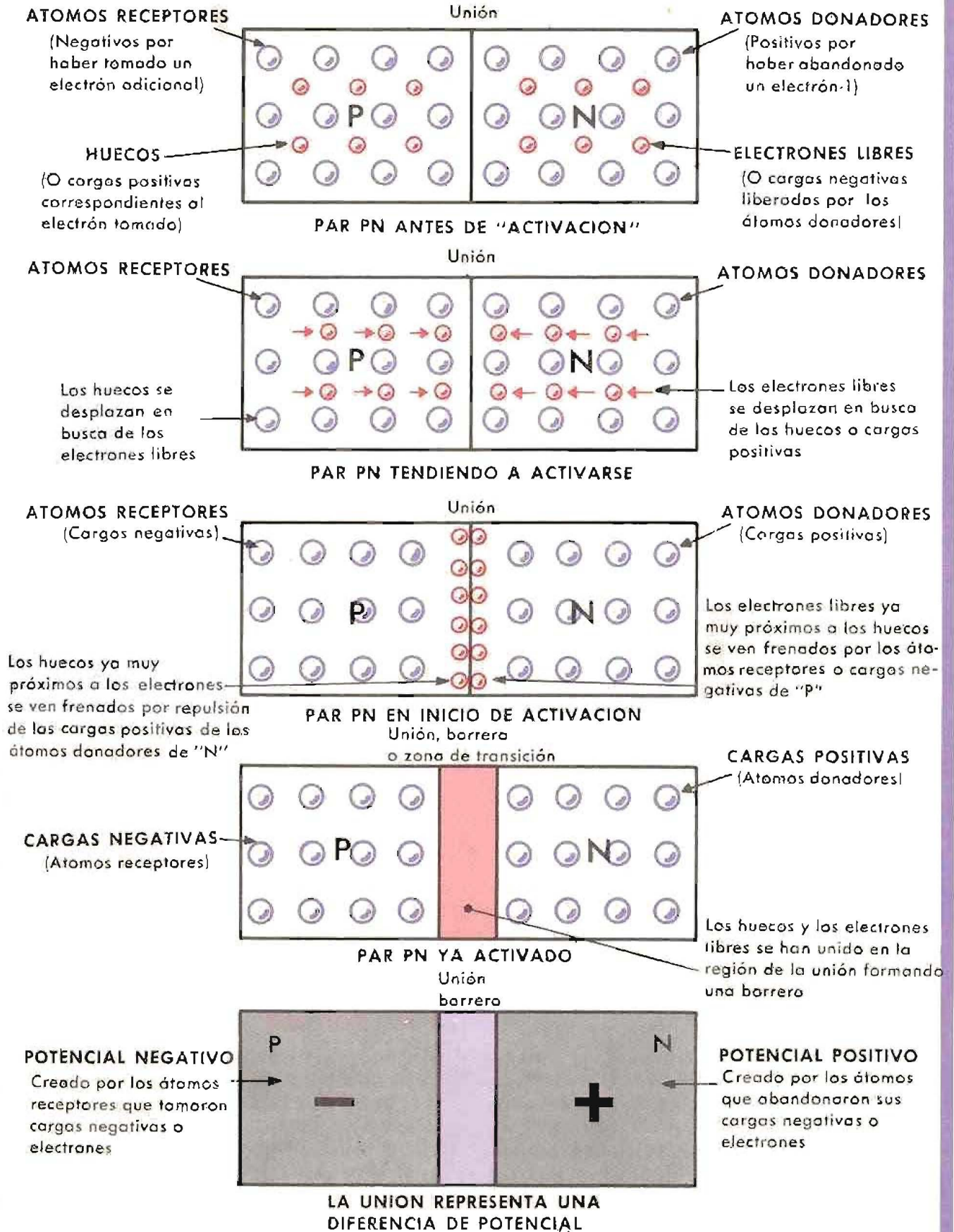
cada lado de la unión quedan unos átomos que podríamos llamar «insatisfechos». Los de la zona N tienen un electrón libre que desean soltar y no pueden por no llegarles un hueco que los tome; los de la zona P presentan huecos con apetencia para aceptar electrones. Ello da lugar a un potencial positivo o negativo, según se trate de la zona P o la N; o sea, en los extremos de la capa de transición existe una diferencia de potencial que podremos llamar potencial de barrera.

En realidad la zona P, que se ha vuelto negativa respecto a la N, repele los electrones de la zona N. Análogamente, la zona N, ahora positiva respecto a la P, rechaza los hoyos de ésta. Como resultado, al poner ambos tipos de semiconductor en contacto directo, el número intercambiado de portadores de carga de cada polaridad es limitado; esta transferencia termina en cuanto se produce una diferencia de potencial suficientemente grande entre ambos tipos de semiconductor.

Esta diferencia de potencial da lugar a un campo eléctrico en la barrera (unión o zona de contacto) que repele los portadores móviles de carga en la proximidad de la unión. Por consiguiente, la superficie de contacto puede considerarse como una capa aislante delgada, del orden de una micra ($1\ \mu\text{m}$).

Cuando se aplica una tensión continua que haga al semiconductor de tipo P aún más negativo con respecto al tipo N, el campo eléctrico en la zona de contacto es aún más importante y combina en dicha zona aún más huecos y electrones libres, creando una barrera mucho más gruesa. Es decir, aleja o repele aún más los átomos con carga positiva a un lado y los de carga negativa al otro. Dentro de ciertos límites la barrera se comporta como una resistencia, cuyo valor es tanto más elevado cuanto mayor sea el valor de la tensión aplicada.

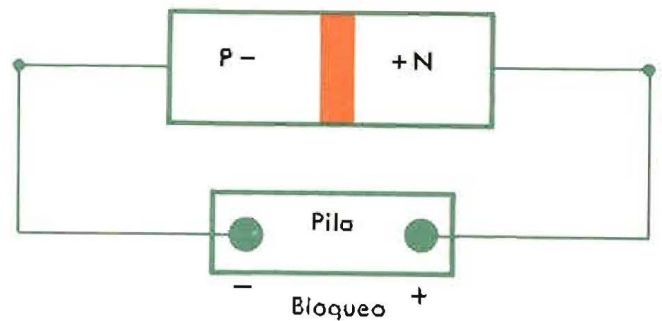
PAR SEMICONDUCTOR "PN"



Si se invierte la polaridad de la tensión continua aplicada, de modo que el semiconductor de tipo P sea positivo respecto al del tipo N, los electrones de la zona N son fuertemente atraídos por la zona P, ahora positiva; mientras que, por otra parte, los huecos positivos de la zona P son atraídos por la N, ahora polarizada negativamente. En este caso, la más ligera variación de potencial en esta dirección, llamada DIRECCIÓN DE PASO, da como resultado una considerable variación en la corriente electrónica de huecos y de electrones a través del semiconductor.

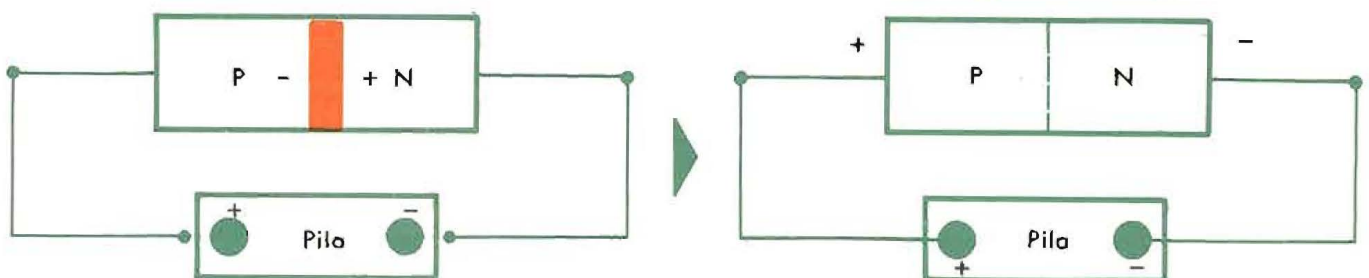
Resumiendo: SI APLICAMOS UNA DIFERENCIA DE POTENCIAL A LA UNIÓN PN DE DOS SEMICONDUCTORES, SEGÚN SEA LA POLARIDAD, LA UNIÓN SE COMPORTA COMO UNA BARRERA AISLANTE O DE BLOQUEO, O BIEN SE COMPORTA COMO UN CONDUCTOR (CONDUCTOR EN UN SENTIDO, AISLANTE EN EL OTRO).

O sea, una unión PN de semiconductores constituye un diodo, al igual que una válvula electrónica diodo, pero con las ventajas de no necesitar filamento calefactor que consume energía, mejor



Si aplicamos el polo positivo de una batería a la zona N y el negativo a la P aumenta la resistencia de aislamiento de la unión.

comportamiento en alta frecuencia, tamaño mucho más reducido y montaje más fácilmente realizable.



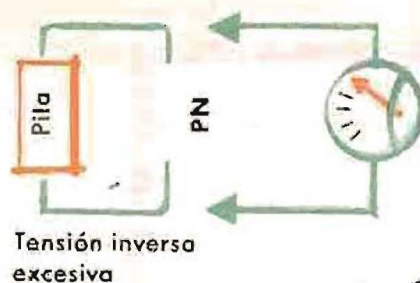
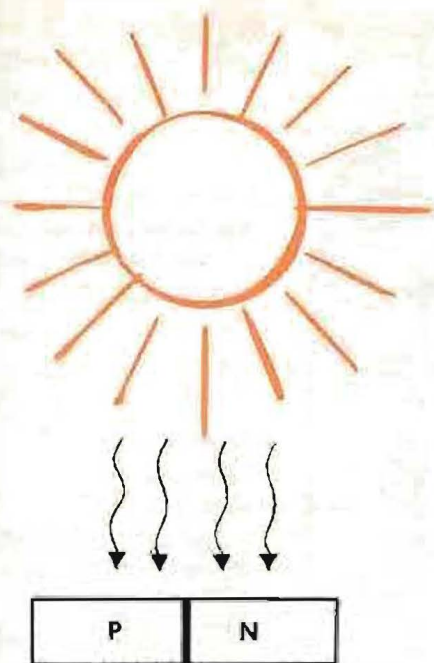
Si aplicamos el polo positivo de la batería a la zona P y el negativo a la N, disminuye la resistencia de la barrera y la unión PN o diodo se comporta como un conductor.

TENSION INVERSA

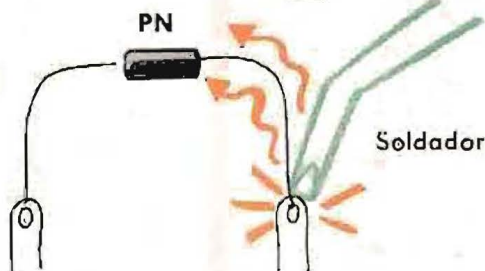
Cuanto se ha dicho es cierto para los portadores de carga móviles, tanto positivos como negativos, debido a la presencia de las impurezas de los semiconductores extrínsecos tipo N y tipo P. No obstante, según sabemos, dichos semiconductores están formados básicamente por un material semiconductor al que se le han agregado otras sustancias en pequeñísima proporción, las cuales sólo han afectado a unos pocos cristales del material. El resto de los cristales queda en estado puro,

por lo que sus características son las de los semiconductores intrínsecos.

Cuando se excita el semiconductor intrínseco sólo muy pocos electrones libres pueden abandonar la banda de valencia y alcanzar la de conducción, saltando por la prohibitiva. Desde luego, cuanto más elevada sea la energía aportada para la excitación mayor es la conducción electrónica; esta energía puede ser la proporcionada por una batería, o bien, el calor.



En los diodos de cristal es de primordial importancia tener en cuenta las limitaciones de temperatura ambiente y las de disipación calorífica y tensión inversa dadas por el fabricante.



La conducción electrónica de cargas intrínsecas incrementa algo la conducción de ondas extrínsecas en la DIRECCIÓN DE PASO. En la DIRECCIÓN DE BLOQUEO también hay conducción electrónica de cargas intrínsecas, pero ya hemos indicado que no se produce corriente de cargas extrínsecas.

Indudablemente, en la dirección de paso, cuando se aplica una diferencia de potencial de polaridad correcta la conducción de cargas intrínsecas carece de importancia comparada con la corriente total que circula por la unión PN. Pero en la dirección de bloqueo, en la que se aplica una tensión de polaridad inversa o contraria a la anterior, llamada TENSIÓN INVERSA, como sólo hay lugar a la conducción de cargas de origen intrínseco, ésta sí que tiene una importancia relativa. Esta corriente, por circular a través de un material considerado aislante en este caso (la barrera en la dirección de bloqueo), puede considerarse como una CORRIENTE DE FUGA.

Cuanto más elevada sea la tensión inversa, mayor es la corriente de fuga para un material dado.

Esta corriente, por circular a través de un material altamente resistivo (la barrera), calienta mucho el semiconductor y puede destruir su red cristalina, inutilizando el elemento. Lógicamente, al margen de la tensión inversa, si se caldea con exceso una unión semiconductor o si se expone a radiaciones caloríficas también puede inutilizarse por las mismas razones. En las características dadas por el fabricante de diodos semiconductores siempre se indica el valor de la tensión inversa, el cual debe considerarse como el valor crítico en que el material puede inutilizarse.

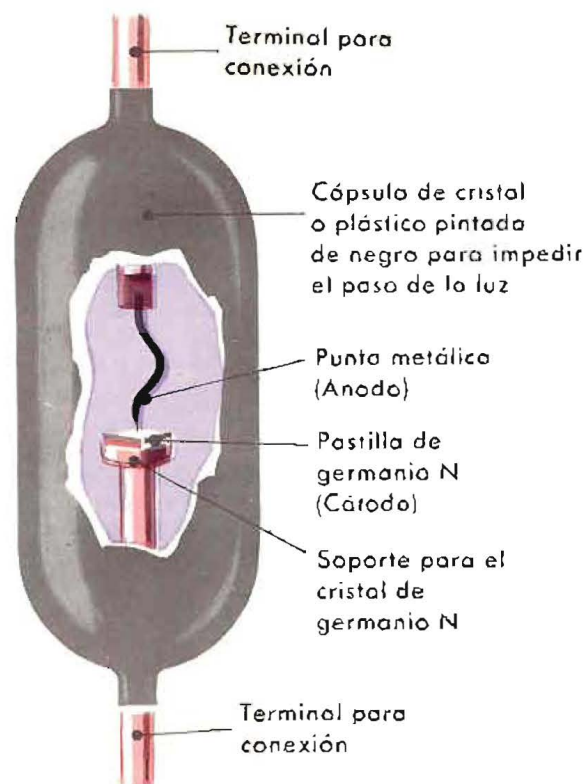
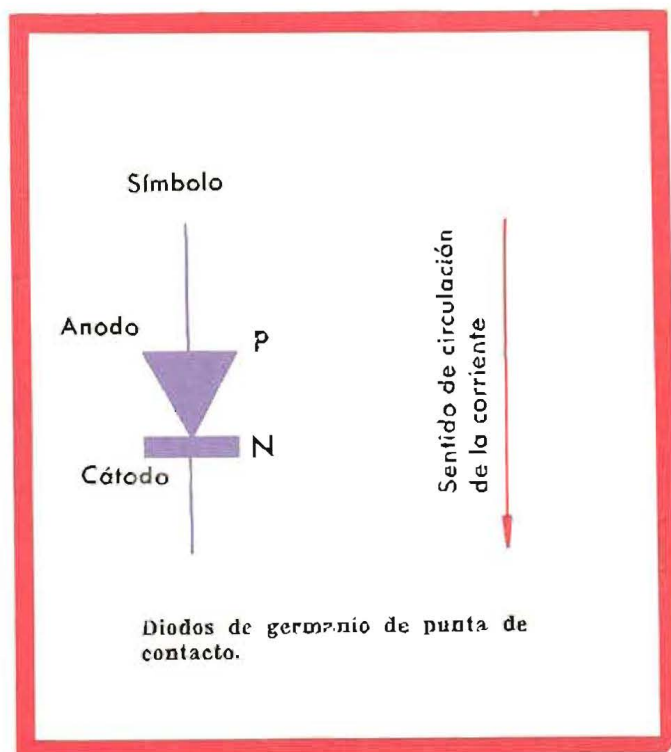
Uno de los materiales más utilizados para dispositivos semiconductores es el GERMANIO (símbolo Ge); pero debe indicarse que no es el único. En muchas aplicaciones el SILICIO (símbolo Si), por ejemplo, ofrece grandes ventajas, ya que posee una tensión inversa crítica mucho más elevada, y por ende puede soportar y trabajar a temperaturas considerablemente más elevadas. El SELENIO (símbolo Se) y el INDIO (símbolo In) son otros ejemplos de materiales semiconductores.

DIODOS DE PUNTA Y DIODOS DE UNION

De acuerdo con lo dicho hasta aquí, un diodo semiconductor puede constituirse mediante una unión PN formado por dos semiconductores intrínsecos tipo P y tipo N. Sin embargo, los diodos más comúnmente empleados tienen una constitución distinta:

Están formados por una pequeña pastilla de germanio tipo N sobre la que se apoya una punta metálica.

Para su fabricación se parte del bióxido de germanio, que se presenta en forma de polvo y en presencia de hidrógeno se transforma en germanio metálico. Este germanio se funde por medios apropiadas y se cuela en forma de barritas, de las cuales se cortan pequeñas pastillas, cada una de las cuales se une a un soporte apropiado. Sobre la pastilla de cristal se apoya una punta metálica en forma de resorte, para que mantenga una cier-



ta presión de contacto. El conjunto se encierra en una cápsula hermética de vidrio.

A continuación se aplican al conjunto fuertes impulsos de corriente que tienen por finalidad difundir en el germanio impurezas procedentes de la parte metálica constituyendo alrededor de la punta una unión PN de superficie muy pequeña. Los diodos así constituidos se denominan *diodos de puntas* en contraposición a los diodos formados por la unión ya durante la fabricación de los semiconductores tipo P y tipo N que reciben el nombre de *diodos de unión*.

No debe olvidarse, sin embargo, que los dos funcionan de acuerdo con la teoría de la conducción en las uniones PN antes expuesta.

Los diodos de puntas, debido a la pequeña superficie de la zona de contacto, tienen una capacidad parásita muy pequeña, lo que les hace especialmente adecuados para trabajar en alta frecuencia.

Los diodos de unión, en cambio, son especialmente adecuados para manejar grandes intensidades.

Tales diodos, por estar incluidos en la cápsula y no tener contacto alguno con otras sustancias, tienen una larga vida útil que se calcula en unas diez mil horas. Por dicha construcción hermética pueden incluso ser sumergidos en agua sin que varíen sus características ni se deterioren.

Sus aplicaciones son ilimitadas en radio, televisión, instrumentos de medida, etc.

El germanio se encuentra mezclado en muchos minerales en tan baja proporción —unos siete gramos por cada tonelada de mineral— que no es industrialmente rentable su extracción de aquéllos. La producción de germanio se obtiene de las minas de zinc, en que el Ge constituye un residuo, o de las cenizas procedentes de hornos que queman hulla, en las cuales existe en apreciable cantidad y puede extraerse con bastante facilidad.

Comparación de las propiedades de los diodos de cristal con las de los diodos de vacío

Con relación al diodo de vacío (válvula termoiónica), el diodo de germanio presenta las siguientes ventajas:

1. Ausencia de filamento calefactor.
2. El diodo de vacío puede producir zumbido y microfonomismo en los montajes que presenten una elevada impedancia entre cátodo y chasis. Este inconveniente no se presenta con los diodos de germanio.

3. El montaje de un diodo de germanio es extremadamente simple, ya que no exige ningún soporte o portaválvulas (se conecta directamente).

4. El diodo de germanio es diminuto y poco pesado.

5. El diodo de germanio presenta una capacidad muy baja (1 pF).

6. En la dirección de paso, el diodo de germanio presenta menos resistencia que la del diodo de vacío.

Al contrario, sus inconvenientes son:

a) Aunque débil, presentan corriente inversa.

b) La tensión inversa admisible es mucho menor que en los diodos termoiónicos.

c) En los dos sentidos de conducción, las propiedades eléctricas del diodo de germanio varían mucho con la temperatura.

d) Los diodos de germanio son sensibles a la luz. Si los rayos luminosos emitidos por una lámpara alimentada con corriente alterna pasan a través de la cápsula de cristal (porque la capa de pintura haya sido deteriorada o quitada) e inducen sobre la unión PN, el diodo puede dar lugar a zumbido.

Consejos a tener en cuenta en el empleo de diodos de germanio

1. En los esquemas, el diodo de germanio se simboliza en la forma siguiente: el cátodo se representa por una barra perpendicular al conductor de conexión y el ánodo por un triángulo. La corriente circula en el sentido de la flecha que representa el diodo; es decir, de ánodo a cátodo.

APLICACION DE LOS DIODOS DE GERMANIO

En principio las aplicaciones de un diodo de germanio son las mismas que un diodo de vacío (válvula termoiónica) para tensiones e intensidades de corriente relativamente débiles.

Así, sus funciones más características serán las de:

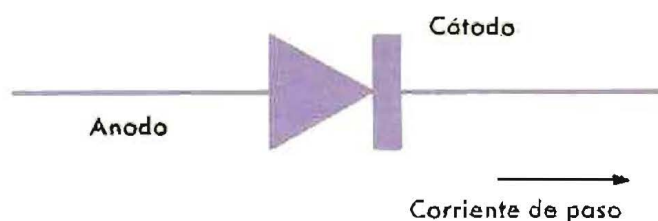
Detección y regulación automática en receptores de radio y de televisión.

Receptores de cristal.

Detección en receptores de radio de AM (amplitud modulada).

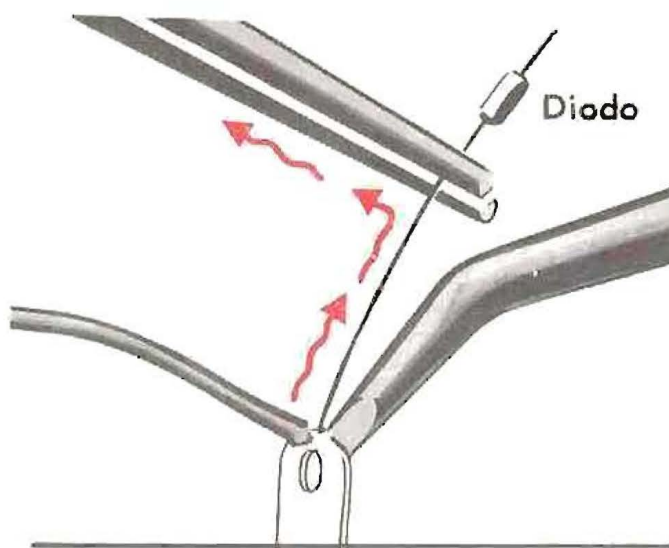
Detección por discriminador en receptores de radio de FM (frecuencia modulada) y de TV.

Control automático de ganancia (CAG).



2. Los diodos de germanio pueden conectarse directamente al circuito por simple soldadura de sus terminales. Esta soldadura debe ser rápida para evitar todo calentamiento excesivo del diodo, para lo cual también se recomienda mantener, durante la soldadura, dichos terminales por medio de alicates planos situados entre el punto de soldadura y el diodo.

3. Los diodos de germanio deben colocarse de forma que no se hallen expuestos al calor disipado por otros elementos calientes vecinos (válvulas, transformadores de alimentación, etc.).



Detección de video en receptores de TV.

Regulación automática de amplificación en receptores de TV, etc.

También se utiliza mucho como rectificador de tensiones y corrientes débiles, por ejemplo:

Alimentación de receptores de transistores.

Rectificación de corrientes alternas en aparatos de medida.

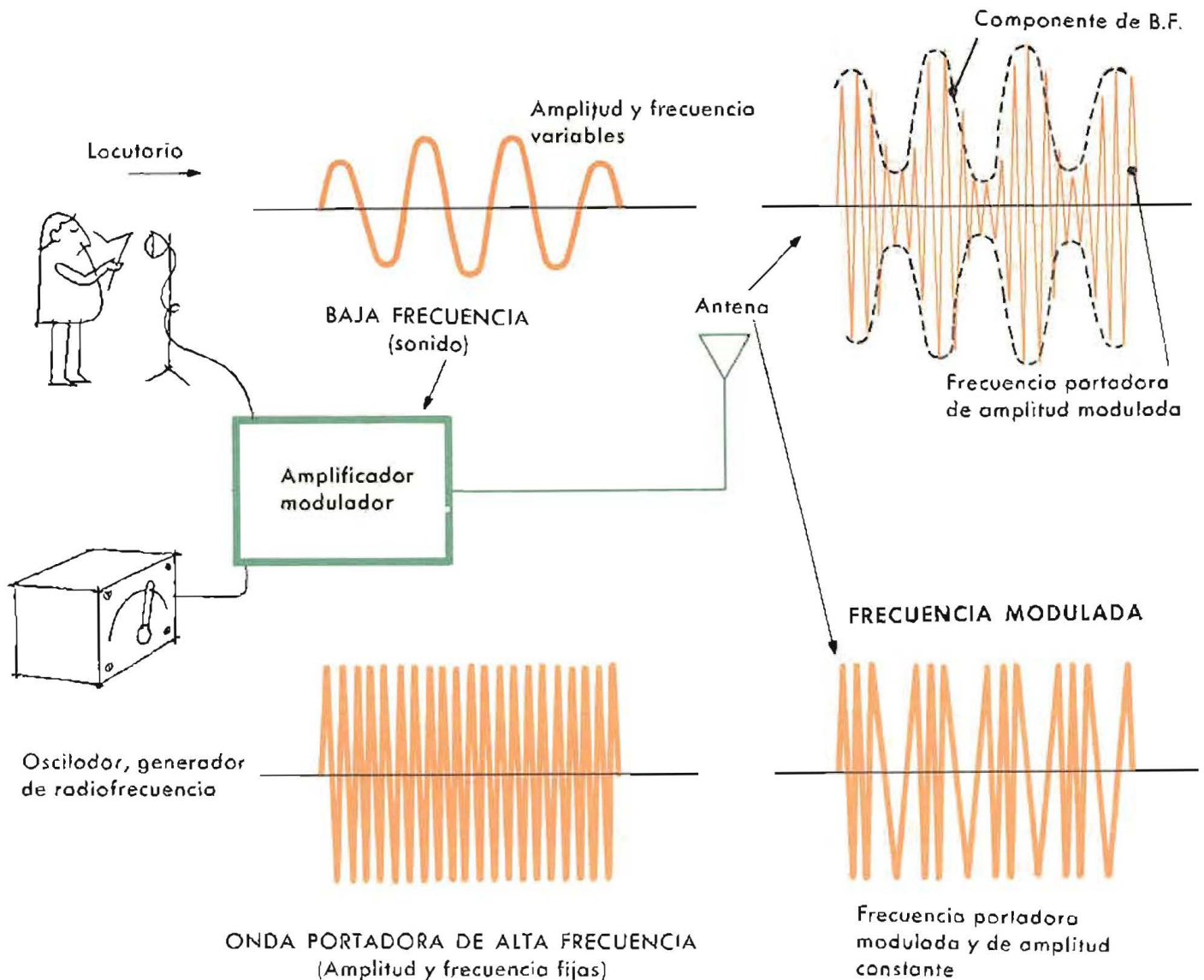
Tanto la detección o demodulación de oscilaciones de alta frecuencia moduladas como la rectificación de corriente alterna se basan en el mismo principio, ya conocido por el estudio del diodo de vacío, de la conducción de corriente en un solo sentido.

DETECCION

En la INTRODUCCIÓN de esta lección hemos indicado que la mejor transmisión de ondas electromagnéticas es la que se efectúa a frecuencia elevada. En cambio, tanto para la música como para la palabra, al emitir y al percibir los sonidos sólo

se utiliza la baja frecuencia, que no puede radiarse al espacio. Para obviar el problema se modula en amplitud o en frecuencia, por medio de la baja frecuencia audible, una onda portadora de frecuencia y amplitud bien determinada.

AMPLITUD MODULADA

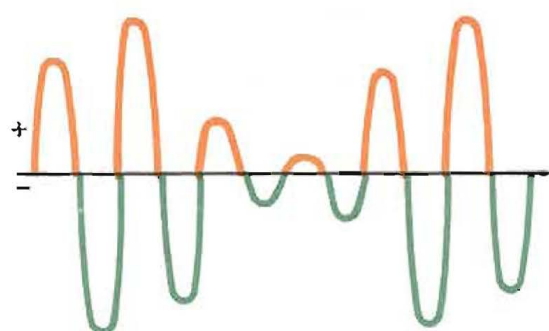


Ahora bien, en el puesto receptor no es posible percibir directamente una onda de frecuencia muy elevada; y por ello, es necesario «entresacar» la onda de baja frecuencia que modula la portadora en amplitud o en frecuencia. Tal selección se la denomina **DETECCIÓN**, y se realiza con diodos de cristal o de vacío.

Como el diodo sólo deja pasar corriente (conduce) en un solo sentido, la señal de radiofrecuencia (alta frecuencia) a la salida del diodo sólo presenta las oscilaciones de una misma polaridad, ya que las de polaridad inversa no han sido «conducidas» (no han pasado).

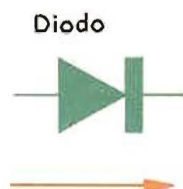
A la salida del diodo la corriente conducida es,

Señal de radiofrecuencia
modulada en amplitud

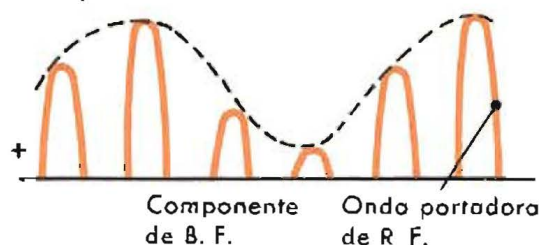


Oscilaciones con valores
positivos y negativos

Oscilaciones con valores positivos y negativos.



Señal de radiofrecuencia
pulsante

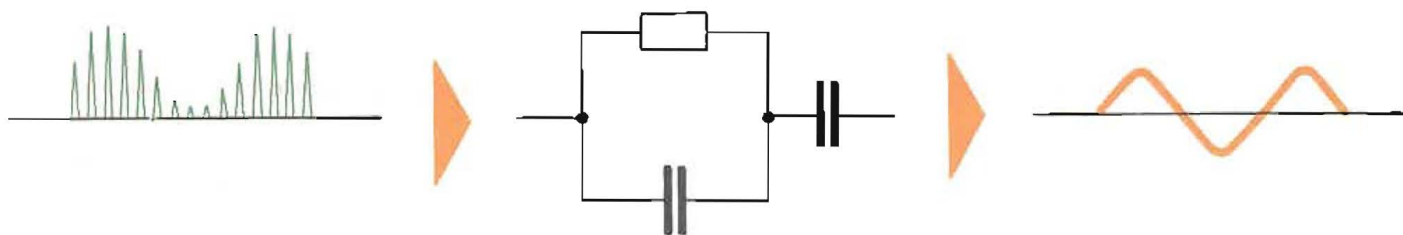


El diodo sólo ha conducido durante
los semiperiodos positivos

El diodo sólo ha conducido durante los semiperio-
dos positivos.

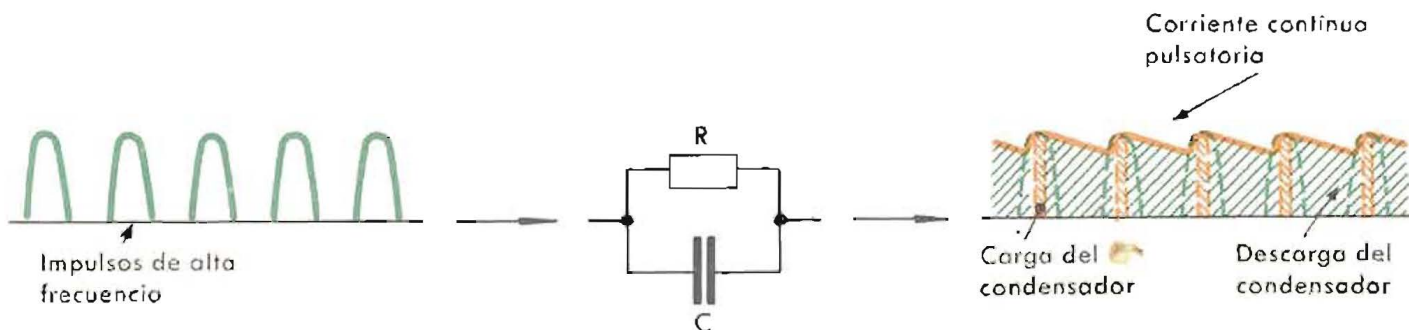
en realidad, una serie de impulsos cuya frecuencia es la de la onda portadora y cuya amplitud es la de la componente de baja frecuencia. El circuito demodulador (detector) comporta, además del diodo, un conjunto resistencia-capacidad que rectifica

(suaviza) estos impulsos en una tensión continua cuyo valor varía con el de la componente de baja frecuencia, y a su vez transformándola en una corriente alterna de baja frecuencia similar a la producida en el origen.



En el filtro demodulador o de detección, un primer condensador se carga durante los impulsos de radiofrecuencia y se descarga en cada período sin señal entre dos impulsos, al mismo tiempo que la resistencia se opone al paso de los impulsos de frecuencia elevada.

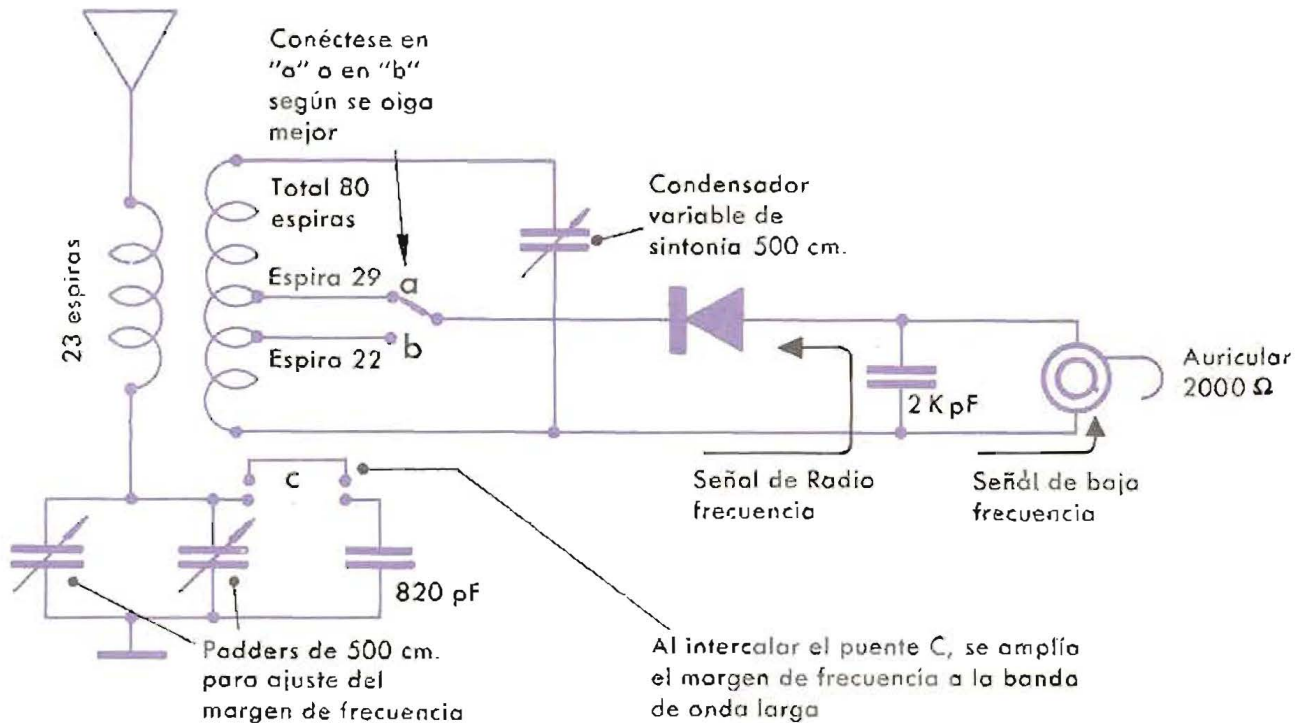
Finalmente, un condensador de capacidad adecuada impide el paso de la corriente continua del filtro RC y sólo permite el paso de la componente de baja frecuencia e impide el paso de la componente continua que perturbaría el funcionamiento del amplificador de B.F.



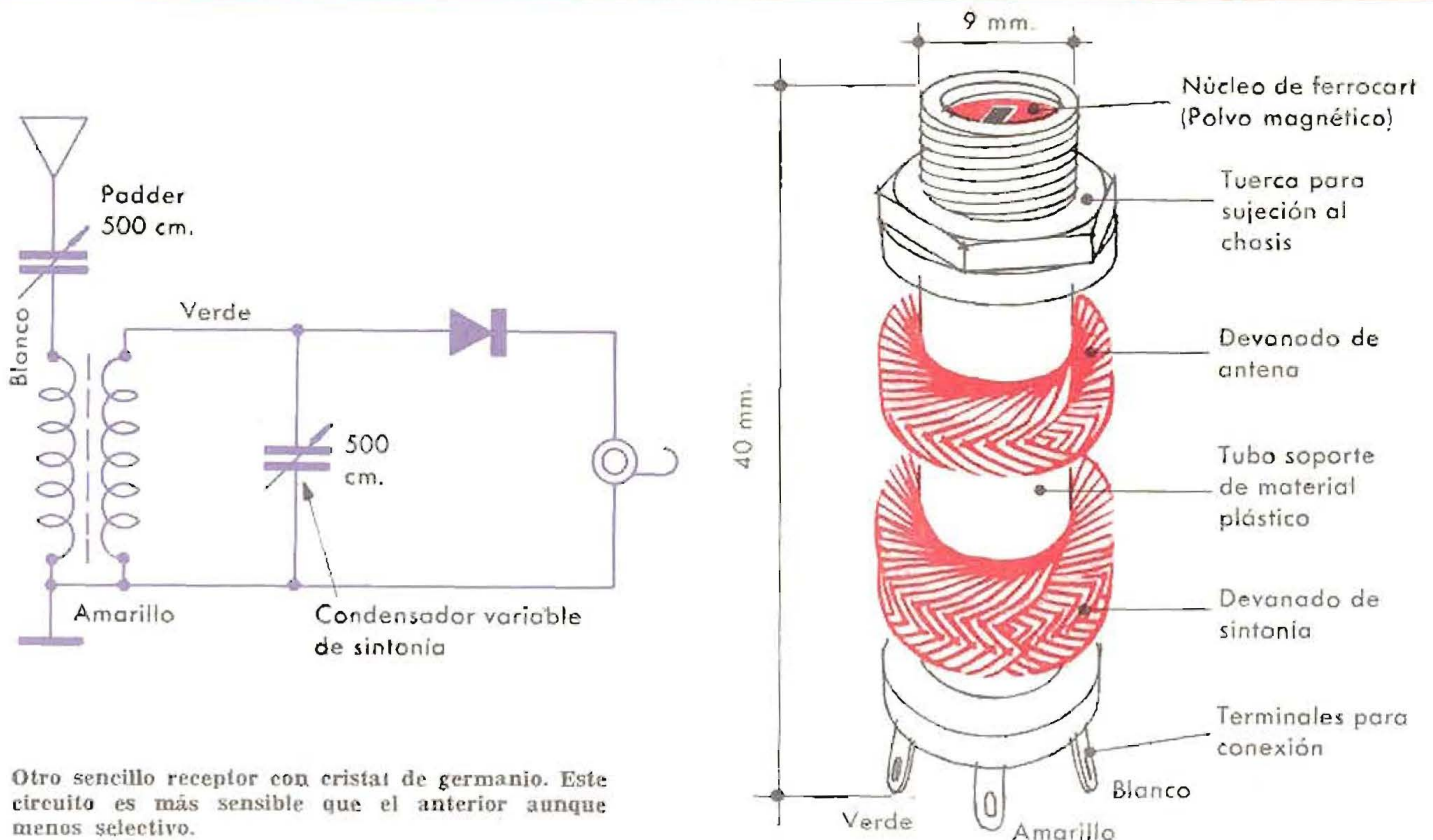
RECEPTORES SENCILLOS DE DIODO DE GERMANIO

Su principio y constitución es el mismo de los antiguos con cristal de galena; el diodo sustituye al cristal de galena.

Un simple receptor de cristal para escucha con auriculares es un entretenimiento para la gente joven y para quien se inicie en radio.



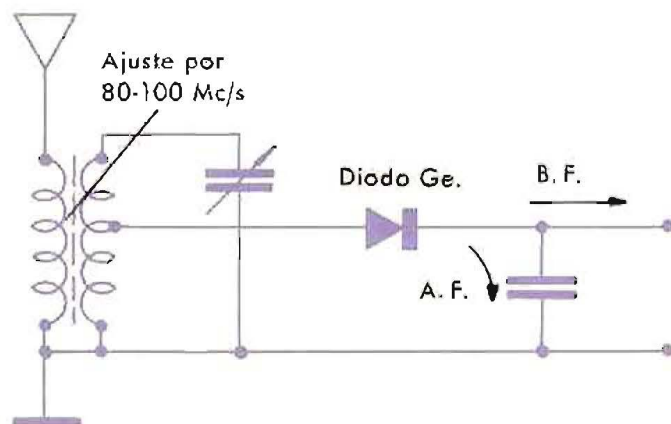
Sencillo receptor con cristal de germanio.



Su principio es conocido por usted por el estudio de la recepción y detección en radio. Utilizando un cristal detector clásico de galena, se tendría que buscar con la punta metálica un «punto sensible» en el cristal con relativa dificultad; y aun este punto sería inestable, pero gracias al diodo de germanio se evita por completo tal complicación.

Por otra parte, las modernas bobinas con núcleo magnético (de Ferrocarril, Ferroxcube, etc.) tienen buena sensibilidad incluso con antenas y tomas de tierra relativamente sencillas.

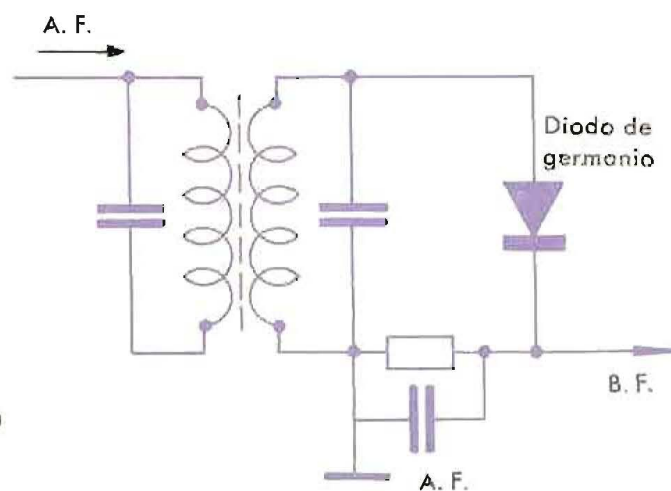
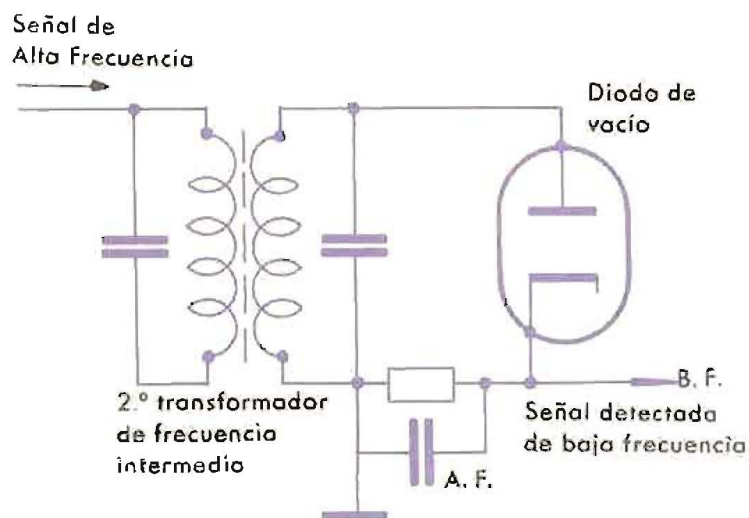
Un montaje similar permitiría detectar las emisiones de frecuencia modulada FM, desde luego, siempre y cuando los valores del circuito resonante fueran los adecuados a la banda de FM.



Sencillo receptor detector de germanio para FM.

DETECTOR PARA RECEPTORES DE RADIO DE AMPLITUD MODULADA (AM)

En principio no hay diferencia, en un receptor con válvulas para AM, entre el detector por diodo de germanio o por diodo de vacío.

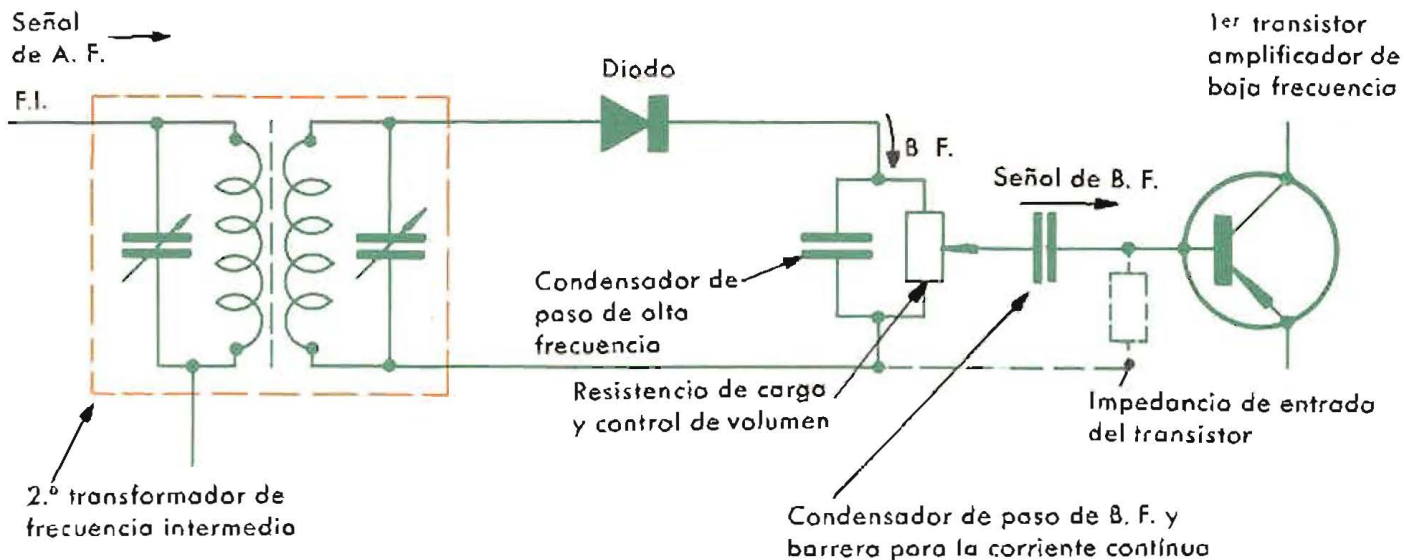


En principio un diodo de cristal sustituye a uno de vacío.

No obstante, como en un receptor de válvulas el diodo detector forma parte de la válvula triodo preamplificadora de baja frecuencia o de la válvula pentodo amplificadora de frecuencia intermedia —es decir, que no se necesita ninguna válvula diodo—, no presenta ninguna ventaja especial emplear un diodo de germanio, sobre todo si se tiene en cuenta que el precio de un triodo o de

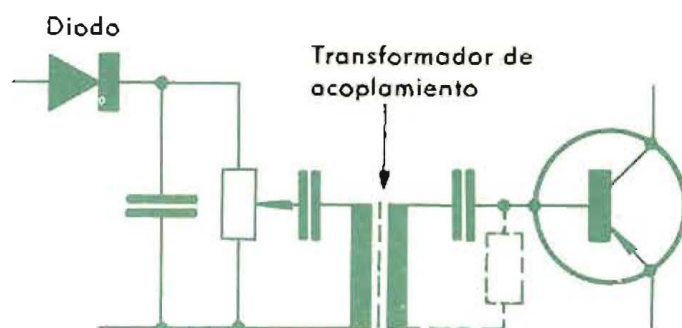
un pentodo es el mismo que el de un triodo-diodo o de un pentodo-diodo.

Al contrario, en un receptor con transistores la detección puede efectuarse por medio de un transistor o de un diodo de germanio. En este último caso se emplea el mismo circuito detector que con válvulas, pero teniendo en cuenta la notable carga debida a la baja impedancia del primer transistor.



Detector para señales de AM acoplado por resistencia a la etapa amplificadora de baja frecuencia.

El acoplamiento del circuito detector al amplificador de baja frecuencia puede realizarse por medio de una resistencia de carga y condensador de bloqueo de la componente continua. Si bien este circuito se utiliza mucho por su sencillez, introduce cierta distorsión, ya que la resistencia de acoplamiento recorta los picos de la onda de B.F. Para remediar tal inconveniente puede utilizarse acoplamiento por transformador.



El acoplamiento por transformador del circuito detector al preamplificador reduce la distorsión.

DISCRIMINADOR (DETECTOR) PARA RECEPTORES DE RADIO DE FRECUENCIA MODULADA (FM) Y DE LA ETAPA DE SONIDO DE RECEPTORES DE TV

La transmisión del sonido en televisión se efectúa por frecuencia modulada; la única diferencia con la transmisión de los programas de radio por el mismo método estriba en el margen de frecuencias utilizado. Tanto en un receptor como en otro, la «selección» de la componente de baja frecuencia se realiza en circuitos detectores que en estos casos se denominan DISCRIMINADORES.

Dos de los circuitos discriminadores más conocidos son: el circuito de Foster-Seeley y el detector de relación.

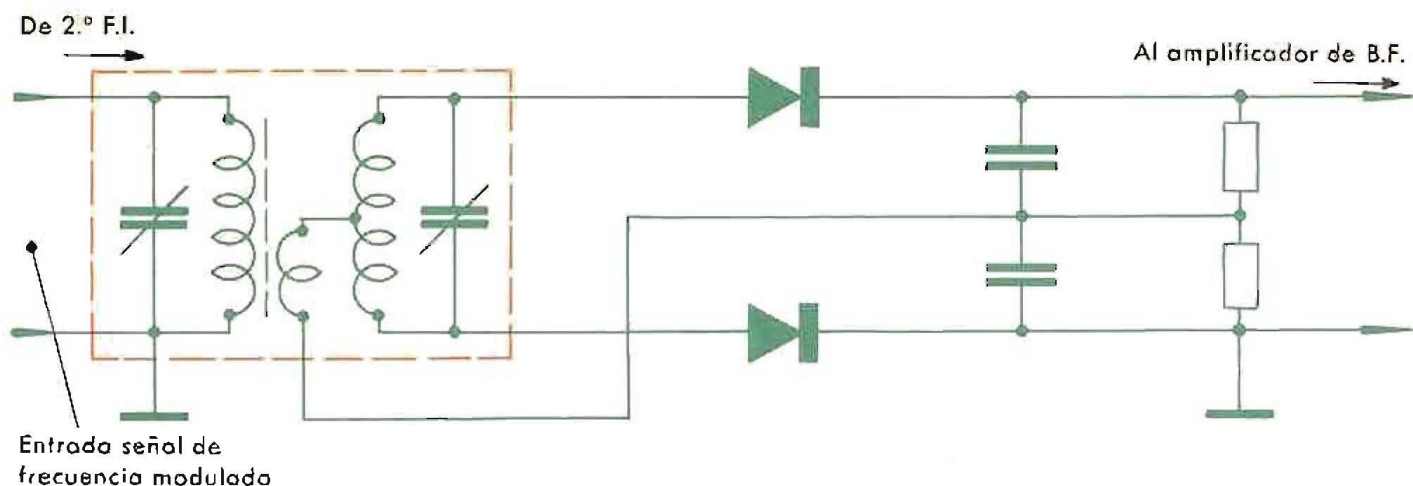
En tales circuitos se utilizan siempre dos diodos, los cuales deben estar bien equilibrados; por ello generalmente se suministran por pares.

En la página siguiente encontrará los esquemas correspondientes a estos circuitos.

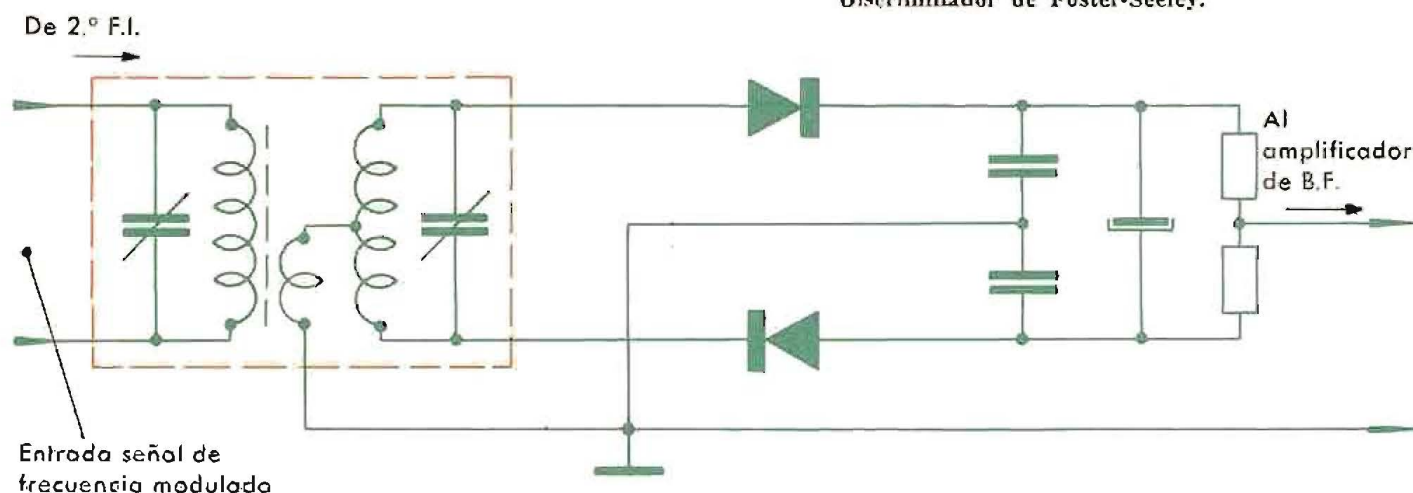
RECTIFICACION

La rectificación consiste en convertir corriente alterna en corriente continua por medio de un dispositivo que permita el paso de corriente en un solo sentido. Este dispositivo se denomina rectificador.

El principio de la rectificación es exactamente el mismo que el de la detección; en todo caso, la única diferencia consiste en que en la detección se demodulan tensiones alternas de alta frecuencia y baja tensión e intensidad, mientras que en



Discriminador de Foster-Seeley.



Detector de relación. (Obsérvese como principal diferencia de este circuito que uno de los dos diodos está conectado en posición inversa con relación al discriminador de Foster-Sceley.)

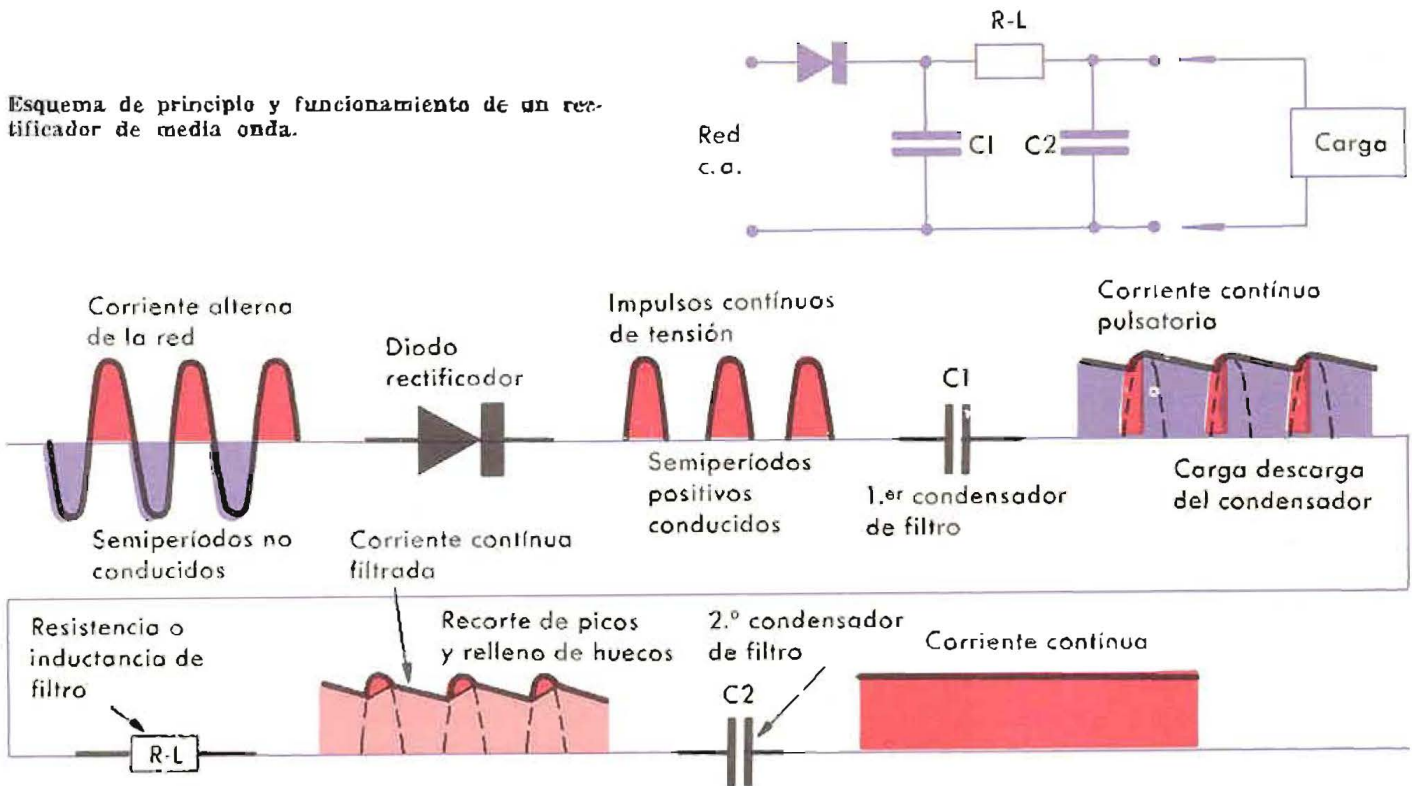
la rectificación se demodulan hasta casi total aplanamiento tensiones alternas de baja frecuencia y relativa alta intensidad, tanto en alta como en baja tensión.

Los rectificadores se utilizan para la producción de corriente continua a partir de un manantial de corriente alterna; por ejemplo, en la carga de acumuladores, alimentación de receptores y transmisores de radio, aparatos de rayos X, subestaciones de ferrocarriles, transporte de energía en corriente continua, procesos electrolíticos, etc.

La rectificación por medio de diodos de germanio se emplea principalmente para pequeñas fuentes de alimentación, para dispositivos electrónicos de poco consumo; y para la rectificación de las corrientes alternas que se miden con un instrumento de corriente continua.

La rectificación se efectúa por el principio que ya nos es conocido por el estudio de la válvula diodo de vacío. Es decir: en un montaje simple el diodo sólo conduce durante los semiperíodos positivos, dando lugar a una corriente pulsatoria. Cada impulso de esta corriente carga un condensador, conectado a la salida del diodo, el cual se descarga a su vez durante los semiperíodos negativos en que el rectificador no conduce. A este condensador se le denomina de filtro, ya que «filtra» o «aplana» los impulsos de tensión y da una tensión continua más o menos rizada. Si a continuación se coloca una resistencia, o mejor aún una autoinductancia, ésta se opone a las variaciones u oscilaciones de esta tensión continua; así, cuando en un pico de tensión (correspondiente a un impulso antes del filtro y a un semiperíodo po-

Esquema de principio y funcionamiento de un rectificador de media onda.

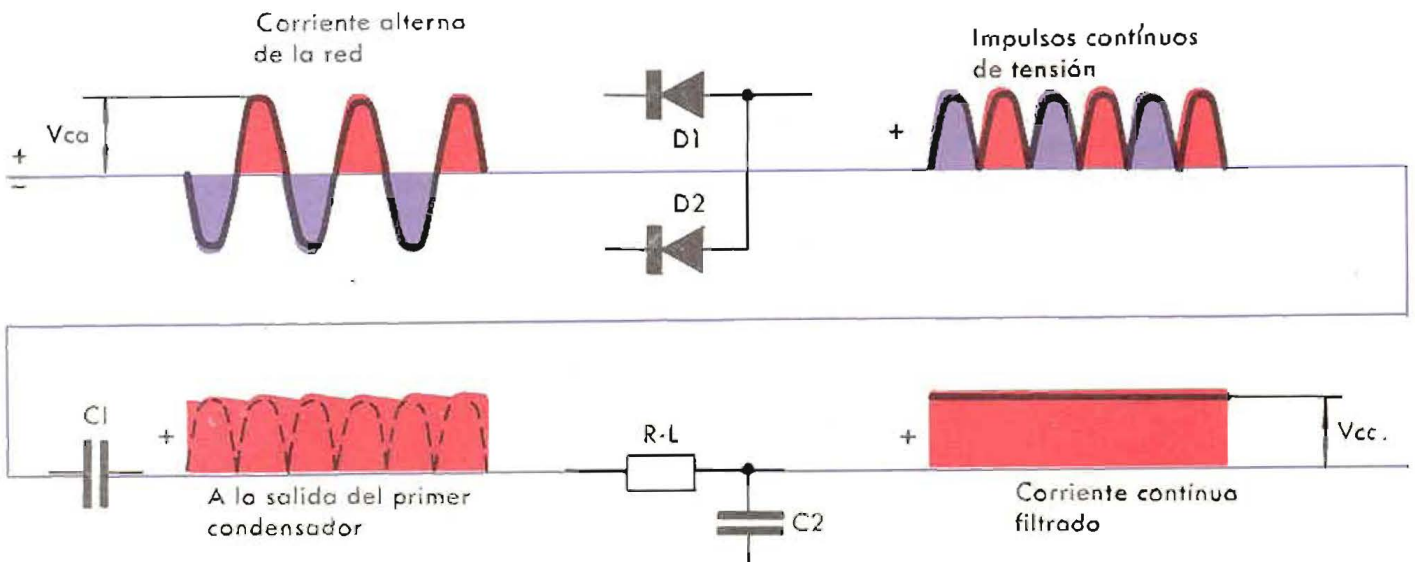
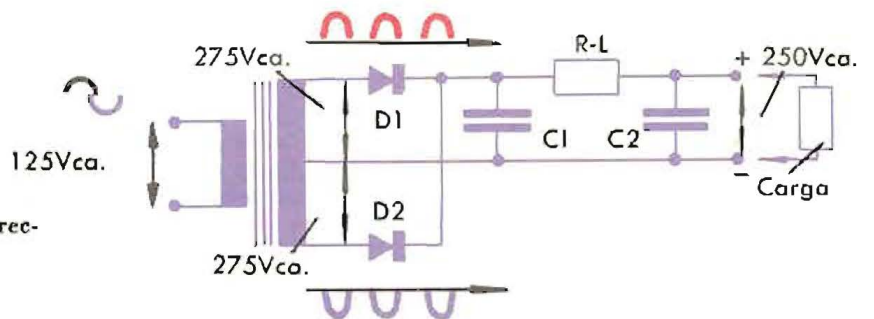


sitivo antes de la rectificación) el valor de ésta aumenta, impide en parte que alcance el valor máximo de pico; cuando el valor de la tensión desciende (correspondiente al semiperíodo de no conducción del rectificador o al semiperíodo negativo de la corriente alterna) la resistencia se opone a

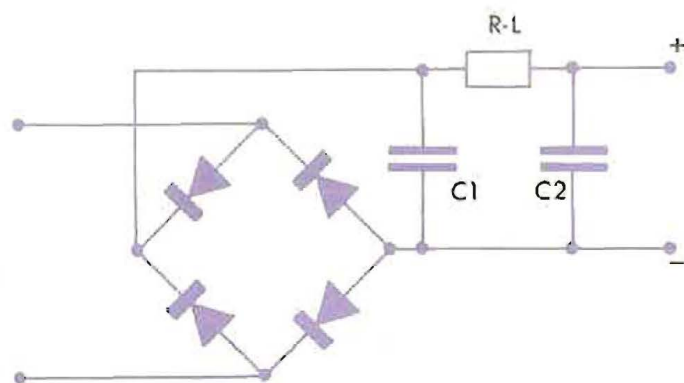
esta variación en sentido inverso y «rellena» más o menos el antiguo hueco. Este «aplanamiento» o «filtro» de la corriente continua pulsatoria se completa, por lo general, por un segundo condensador de filtro.

El circuito descrito es el denominado de MEDRA

Esquema de principio y funcionamiento de un rectificador de onda completa.

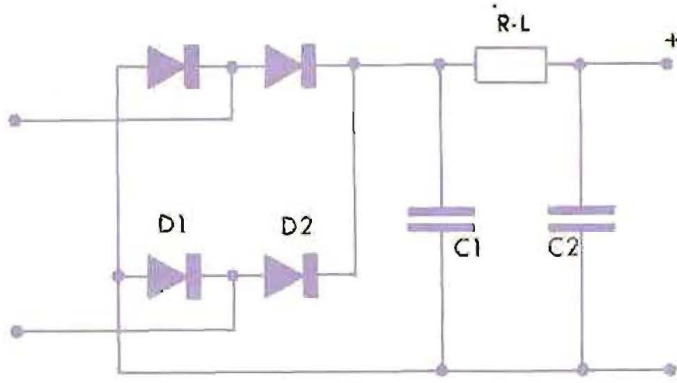


ONDA, ya que el rectificador diodo sólo conduce durante los semiperíodos. También se utilizan unidades rectificadoras de ONDA COMPLETA, llamadas así por conducir durante los dos semiperíodos, por medio de dos diodos conectados de tal forma que los impulsos de tensión a la salida del rectificador no comportan tiempos de no conducción, con lo cual el aplanamiento o filtro de estas pul-



esquema de principio de un rectificador en puente utilizando cuatro diodos (las dos figuras son equivalentes entre sí).

saciones es mucho más fácil de obtener y la tensión continua obtenida es mucho menos pulsatoria. Finalmente, si se desea prescindir de la toma media del transformador se utiliza el circuito rectificador llamado de PUENTE, que utiliza cuatro diodos; este sistema es el preferido en aparatos de medida y en la alimentación de receptores a transistores.



UNIDADES DE ALIMENTACION PARA CONEXION DE RECEPTORES DE RADIO CON TRANSISTORES A LA RED

Los modernos radiorreceptores con transistores consumen relativamente poca energía, la cual se suministra por las pilas que se incorporan en el mismo mueble del aparato. Sin embargo, si tales receptores deben funcionar durante muchas horas al día y un día tras otro, las pilas se agotan en un plazo de tiempo relativamente corto, con el consiguiente dispendio en su reemplazo.

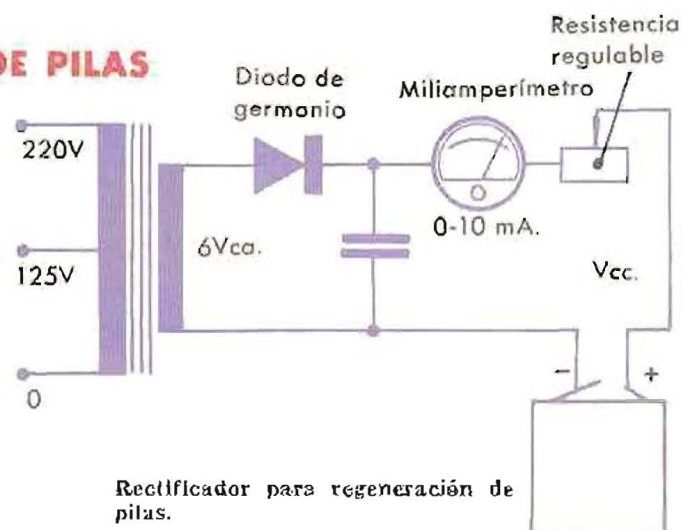
En tales casos es rentable la adopción de una unidad rectificadora que permita conectar el receptor a la red de fluido eléctrico, en lugar de alimentarlo con las pilas.

En estos casos por lo general se utiliza un rectificador en puente de cuatro diodos de germanio cuyo esquema de principio ya se ha indicado anteriormente.

RECTIFICADOR PARA REGENERACION DE PILAS

En cierto modo, las pilas para lámparas de bolsillo, para audífonos (aparatos contra la sordera), para receptores de transistores, etc., pueden regenerarse (recargarse) si no están completamente agotadas.

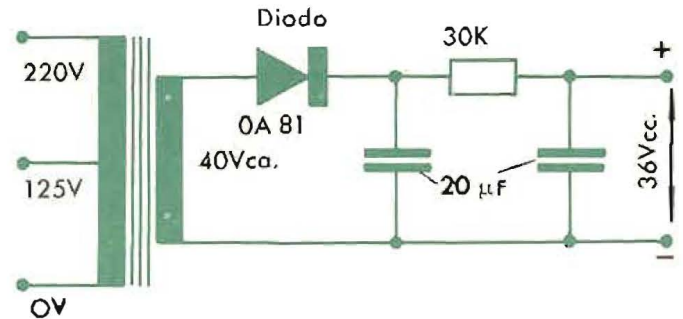
Siendo generalmente de 2 a 5 miliamperios la intensidad de carga, puede utilizarse un pequeño rectificador de media onda con una resistencia de filtro regulable y un miliamperímetro. Como la corriente se toma de la red, debe utilizarse un transformador cuyo secundario dé una tensión adecuada a la de la pila a regenerar.



Rectificador para regeneración de pilas.

PEQUEÑAS UNIDADES DE ALIMENTACION

Este pequeño rectificador es un ejemplo más de las aplicaciones de los diodos de germanio y puede ser muy útil para la alimentación de un simple receptor o un preamplificador de uno o dos transistores.



MEDIDA PRECISA DE CORRIENTES ALTERNAS

Un instrumento de medida para corriente alterna del tipo de hierro móvil tiene poca precisión y menor sensibilidad. En cambio un instrumento de cuadro móvil, llamado de corriente continua, es de mucha precisión y sensibilidad, pero no es adecuado para la medida de corrientes alternas.

Con el fin de beneficiarse de las relevantes cualidades de los instrumentos de bobina móvil para la medida de corrientes alternas, puede intercalarse entre ellas y el instrumento un diminuto y

sencillo rectificador con diodo de germanio. Además, tal dispositivo permite la medida de tensiones alternas de alta frecuencia hasta 150 Mc/s, lo cual no es posible con los instrumentos de hierro móvil.

Podría utilizarse un rectificador de óxido de cobre; pero, entre otras ventajas, el diodo de germanio es de tamaño tan reducido que puede colocarse en cualquier hueco de un aparato por pequeño que sea.

* * *

**Diodos semiconductores
de selenio y silicio
Diversos tipos de unión
en los diodos de silicio
Rectificadores controlados
de silicio
Diodos Zener**

LECCION 39

Características de los diodos semiconductores - Diodos de selenio - Diodos semiconductores de silicio - Rectificadores controlados de silicio (RCS) - Diodos Zener de silicio

En la lección anterior se esbozaron, en líneas generales, los principios básicos de funcionamiento de los diodos semiconductores. Como introducción a esta lección, resumiremos tales principios expresándolos en forma de características bien concretas, tal como pueden hallarse e interpretarse en cualquier manual o folleto.

Las dos magnitudes principales de estos dispositivos electrónicos son la corriente que pueden conducir y la tensión que pueden soportar o bloquear. Como estos dos factores son interdependientes, y lo son en cada uno de los dos sentidos o polaridades (directa e inversa), los expresaremos por medio de la...

...CURVA CARACTERISTICA DEL DIODO SEMICONDUCTOR

Esta curva se muestra en el gráfico inmediato. En el eje de abscisas (horizontal) se indican las tensiones de servicio (o caídas de tensión); en el de ordenadas (vertical) se escalonan las intensidades de corriente conducidas (en el sentido directo) o dejadas pasar (en el sentido inverso).

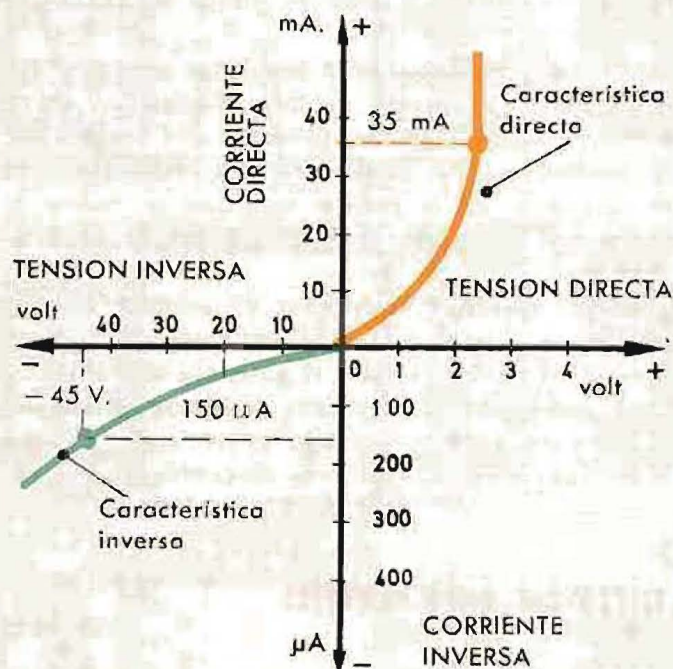
Examinando el gráfico podemos observar las siguientes características, cuyos principios y teoría ya conocemos por la lección anterior:

1. La curva tiene forma *exponencial* (parábola) en las proximidades del cero y se acerca rápidamente al valor máximo admisible a medida que aumenta la tensión; es decir, la resistencia opuesta al paso de la corriente directa es de muy poca consideración para caídas de tensión mínimas y disminuye rápidamente al aumentar la tensión.

EJEMPLO DE LAS CARACTERISTICAS DE UN DIODO SEMICONDUCTOR

Diodo de germanio tipo AA119 (versión miniatura del diodo OA79)

— Tensión inversa máxima	45 V
— Corriente directa media	35 mA
— Corriente directa de punta	100 mA
— Caída de tensión directa	0,3 V (para 0,1 mA)
— Corriente inversa	150 μ A (para 30 V de tensión inversa)
— Temperatura de la unión	60°C



Curva característica del diodo semiconductor. Observe que para poner claramente de manifiesto la característica inversa las corrientes inversas se indican en μ A y no en mA.

2. Por lo contrario, la corriente inversa aumenta muy lentamente, aun en el caso de tensiones algo elevadas; ello es debido a la gran resistencia opuesta al paso de la corriente en sentido negativo. Nótese que la resistencia disminuye ante las tensiones muy elevadas, pudiendo llegar a resultar nula e incluso negativa. Este caso no puede ni debe considerarse, ya que la resistencia opuesta al paso de esta corriente produce gran recalentamiento y en consecuencia es perjudicial para el semiconductor.

Queda, pues, claro que todo diodo semiconductor es relativamente buen conductor en el sentido de corriente directa y mal conductor en el sentido de corriente inversa, características que dependen del material y de la unión PN o barrera empleada.

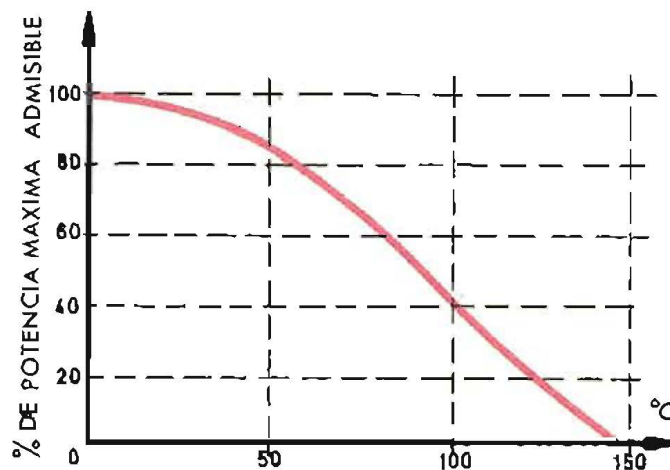
Un factor de importancia capital en el buen funcionamiento de un diodo semiconductor es la temperatura de funcionamiento. Esta temperatura no debe ser elevada; puede considerarse como zona peligrosa la que sobrepase 40° C. La temperatura de funcionamiento no está relacionada con la temperatura de fusión del material semiconductor, sino con la temperatura de difusión de las impurezas. Téngase en cuenta que el material *indio* funde a 250° C aproximadamente; esta temperatura ambiental, unida a la producida por la resistencia propia del semiconductor, eleva peligrosamente el límite de funcionamiento.

Cuando la temperatura ambiente es mayor de 40° C deben adoptarse medidas destinadas a evitar sobrecalentamientos; medidas que pueden ser la disminución de la tensión y la reducción de la corriente. En el gráfico siguiente se indica la disipación de la potencia en función de la temperatura.

Otro aspecto a considerar en relación con la temperatura ambiental es el aumento de corriente inversa proporcional con el aumento de temperatura. En términos generales podemos decir que el aumento de temperatura provoca una disminución de resistencia al paso de corriente inversa.

DIODOS DE SELENIO

Sin embargo, fue precisamente las características eléctricas unidireccionales del selenio lo que impulsó a los investigadores y científicos a estudiar con mayor detalle el fenómeno de la conducción eléctrica en los sólidos, también conocida por la detección en el cristal de galena. Las modernas placas de selenio se han beneficiado tam-



Disipación de la potencia en función de la temperatura ambiente.

Este aumento es realmente importante cuando la temperatura excede de 50° C.

Considerando la corriente inversa a 25° C igual a 1, el aumento de corriente crece con la temperatura según los factores mostrados en la siguiente tabla.

Otra característica fundamental del diodo semiconductor, provocada por su propia forma de actuar ante el paso de la corriente, es la aptitud de actuar como condensador. Esta característica se utiliza en el semiconductor *varicap*, como más adelante explicaremos.

Temperatura En °C	25.°	50.°	75.°	100.°	125.°	150.°
Factor de incremento	1	4	16	64	256	1024

Factor de incremento de la corriente inversa en función de la temperatura.

bien de estas investigaciones; sus características eléctricas han mejorado considerablemente en relación con las antiguas.

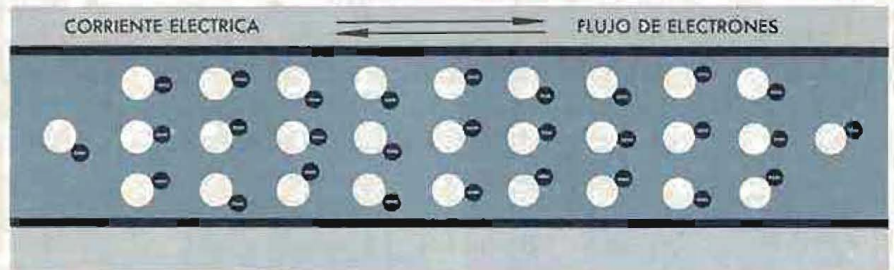
Ha sido tan rápida la evolución experimentada en los últimos años por los rectificadores semiconductores, que existe cierta confusión respecto a la naturaleza de algunos dispositivos co-

nocidos desde hace ya algún tiempo. Nos referimos concretamente a las placas de selenio y al error que supone el no considerarlas como dispositivos semiconductores, quizás por el hecho

de que eran conocidas y aplicadas desde mucho tiempo antes de la aparición de los rectificadores de germanio y de silicio que en muchas aplicaciones han venido a sustituirlas.

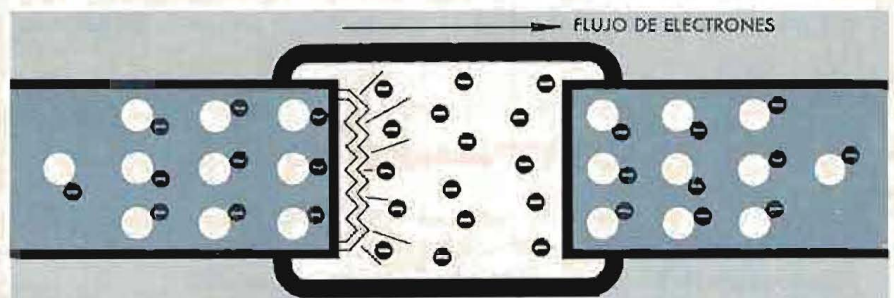
DISPOSITIVOS ELECTRONICOS DE CONDUCCION Y BLOQUEO

I Conducción en un metal

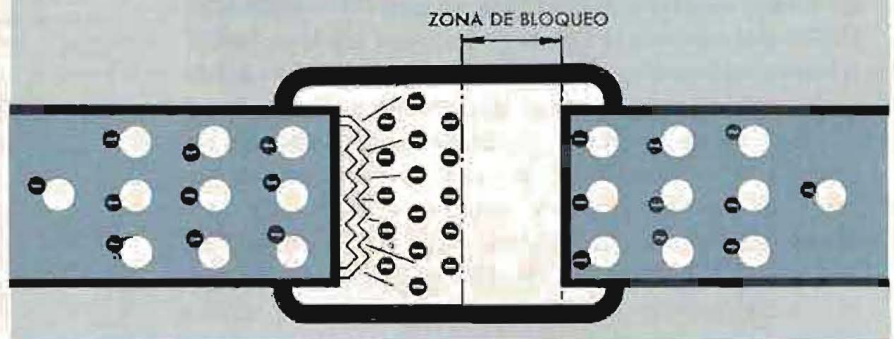


II Válvula electrónica de cátodo incandescente

a) Conducción de cátodo a ánodo

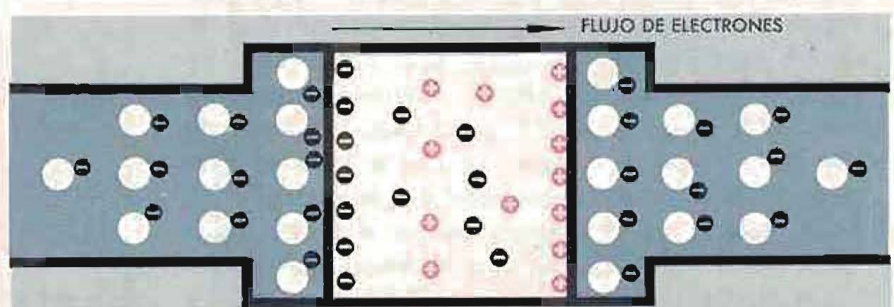


b) Bloqueo por inversión de polarización

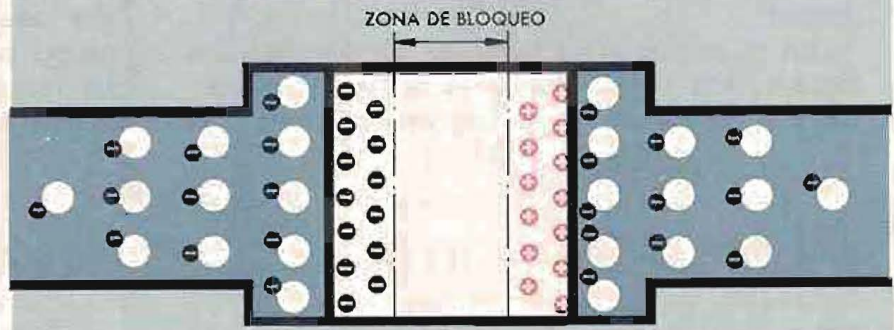


III Semiconductor

a) Conducción



b) Bloqueo



● Atomo de cobre ● Electrón ● Hueco

Los primeros rectificadores cuyo principio de funcionamiento se basaba en los semiconductores fueron los de ÓXIDO DE COBRE (CÚPROX) y los de SELENIO. A los primeros, que han sido desplazados hoy en día por los segundos, se les denominó *secos* debido al hecho de que en la época de su aparición sólo se conocían los rectificadores de vapor de mercurio y los electrolíticos.

El selenio, parecido al azufre en características físicas y químicas, fue descubierto por Berzelius el año 1817. Se caracteriza por la posibilidad de presentarse en diversos estados alotrópicos, uno de los cuales, al cristalizar por medio de un aumento de temperatura, posee propiedades especiales como conductor eléctrico unidireccional, tales como las que presentan el germanio y el silicio.

TEORIA DE FUNCIONAMIENTO

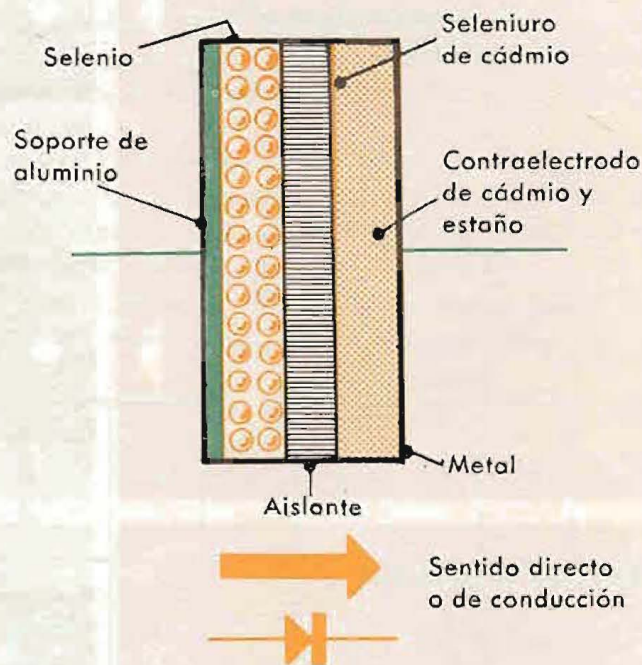
Sabemos que la conducción eléctrica de los semiconductores está esencialmente condicionada a la existencia de impurezas en la estructura cristalina del material. Estas impurezas pueden haber sido introducidas naturalmente (galena) o artificialmente por la adición de otros cuerpos.

También los óxidos metálicos, que por lo general son conductores, pueden convertirse en semiconductores, sea por exceso o bien por defecto de átomos metálicos. Así, por ejemplo, el óxido de cobre de los rectificadores *cúprox*, que contiene oxígeno como *impureza*, es un semiconductor tipo P. El selenio con ciertas impurezas constituye igualmente un semiconductor tipo P.

Un rectificador de selenio está constituido en esencia por tres elementos metal-aislante-semiconductor, unidos íntimamente bajo la forma de discos o placas. La capa aislante o zona de bloqueo debe ser extremadamente delgada para dejar fácil paso a los electrones en un sentido. (Esta capa puede compararse con el vacío que existe entre ánodo y cátodo de una válvula termoiónica diodo.)

En el conjunto así formado por los tres elementos, si el semiconductor es de tipo N se comporta como un cátodo emisor de electrones y el

En la segunda mitad del siglo pasado este metaloide atrajo la atención de investigadores y técnicos. Concretando aún más, podemos añadir que su extraño comportamiento eléctrico ante la acción de los rayos luminosos produjo en consecuencia el descubrimiento en 1879 de las células fotoeléctricas, basadas en la propiedad de variar su conductividad con la influencia de la luz. Posteriormente, en 1883, nuevos investigadores descubrieron que, según cuál fuese la disposición de los contactos en tales células, la resistencia eléctrica era de magnitud muy diferente en los dos sentidos del paso de corriente. Esta propiedad se utilizó posteriormente para convertir corriente alterna en continua; en Nuremberg (Alemania), aparecieron las primeras placas rectificadoras de selenio que tuvieron aplicación práctica.



Placa rectificadora de selenio.

metal como ánodo. En un conjunto similar, pero con semiconductor tipo P, éste es un emisor de cargas positivas (huecos), por lo que el flujo de electrones (corriente) se establece del semiconductor al metal.

FORMAS CONSTRUCTIVAS

Los diodos semiconductores de selenio están constituidos por una placa metálica, por lo ge-

neral de aluminio, tratada de modo especial, que actúa como base de sustentación, sobre la que se

deposita una delgada capa de selenio por el procedimiento de vaporización en cámaras de alto vacío. El material empleado debe ser purísimo, pues, como es sabido, cualquier impureza modifica considerablemente las características eléctricas del selenio. Sobre la delgada capa del metaloide selenio se deposita una capa de aleación especial de bajo punto de fusión, la cual actúa de contacto o contraelectrodo y distribuye la corriente sobre toda la superficie del selenio. Entre el selenio y el contraelectrodo se forma la llamada zona de bloqueo o barrera, que por su reducido espacio no es apreciable a simple vista.

En este caso la corriente puede circular desde la placa metálica de soporte al contraelectrodo; pero no en sentido contrario, o por lo menos la corriente inversa o de fuga es mínima.

Por lo general estos rectificadores se construyen en cuatro tipos diferentes:

Tipo gota, con cubierta de resina sintética.

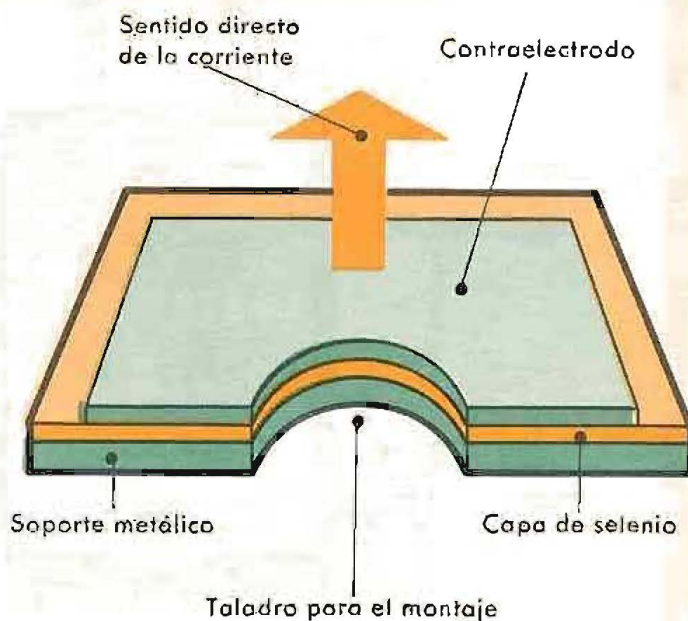
En cajas de metal ligero.

En cajas de envolturas plásticas.

En forma de columna.

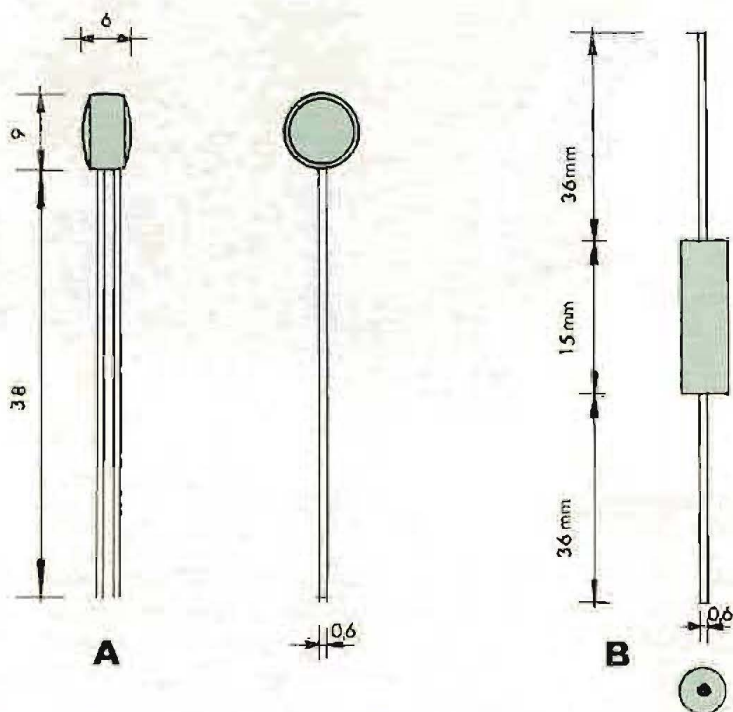
Los tres primeros están especialmente diseñados para aparatos electrónicos de reducidas dimensiones.

Los diodos fabricados en caja de metal ligero deben poder refrigerarse por contacto de la cara o superficie mayor con el chasis o soporte del aparato a que van destinados.



Constitución material de una placa de selenio.

Los diodos rectificadores de columna están formados por placas unidas entre sí por medio de un espárrago roscado y aislado. La columna debe colocarse en posición horizontal (placas verticales) para que se establezca circulación de corriente de aire frío desde abajo hacia arriba.

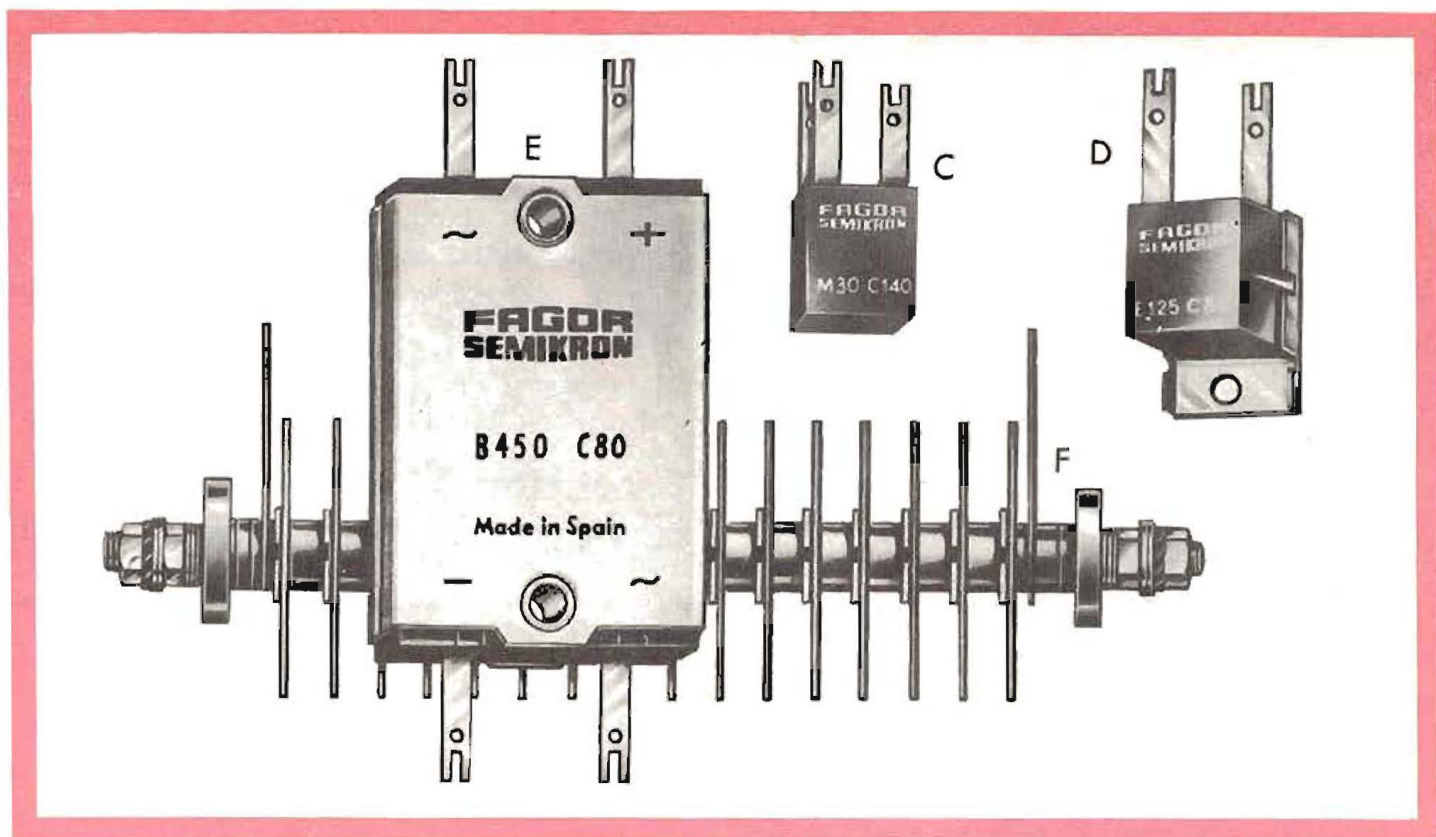


Disposiciones constructivas de rectificadores de selenio

TIPOS MINIATURA

A = Tipo "gota"

B = Tipo tubular

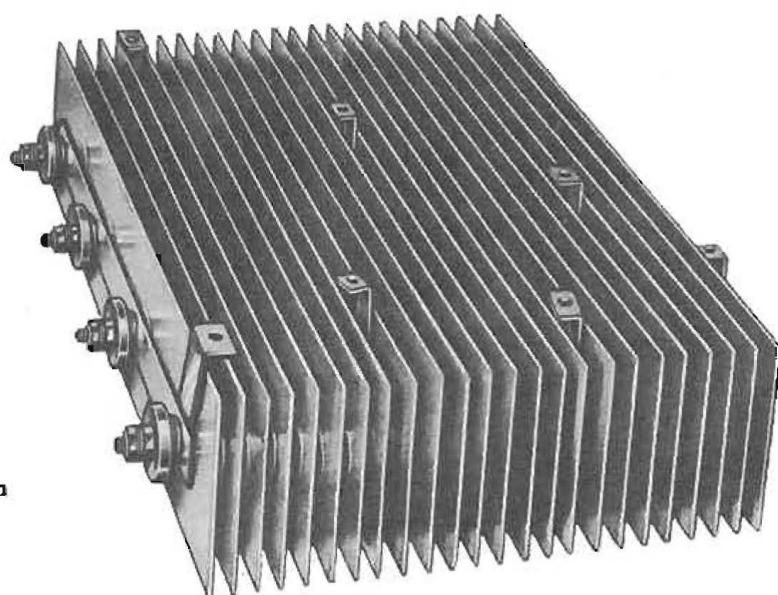


C = En caja de plástico

D = En caja de plástico
y placa fría

E = En caja metálica

F = En columna



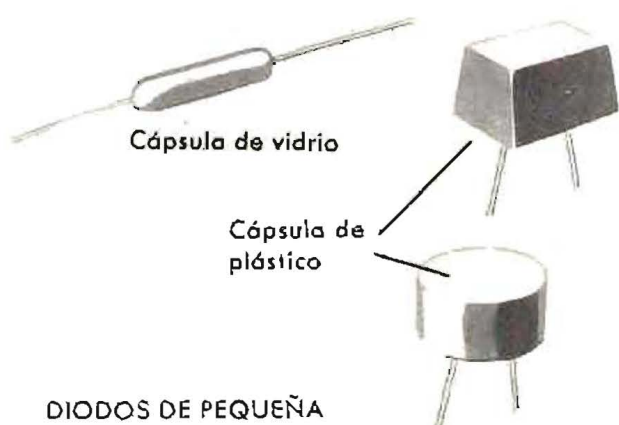
Bloque rectificador de placas de selenio de gran potencia.

DIODOS SEMICONDUCTORES DE SILICIO

Dos de los semiconductores que se utilizan en electrónica tienen mucha aplicación en la actualidad: el germanio, que se aplica desde hace años, cuyo principio y aplicaciones ya fueron descritos, y el silicio, cuyas particularidades vamos a describir y cuyas aplicaciones podemos considerar fabulosas.

Asimismo, también son dos los semiconductores de mayor aplicación que se utilizarán en electrónica y electricidad para los rectificadores de corriente: el selenio, que ha demostrado su utilidad como elemento rectificador de corriente —indispensable en muchos casos y que también ha sido descrito anteriormente—, y el silicio, que ha

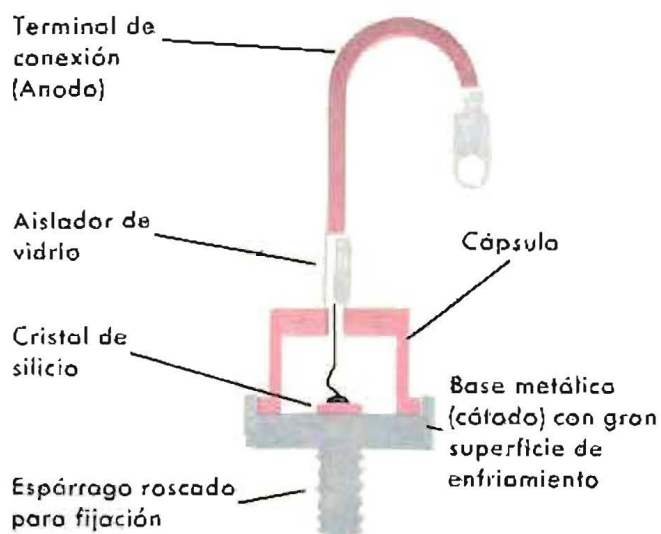
FORMAS CONSTRUCTIVAS DE DIFERENTES DIODOS DE SILICIO



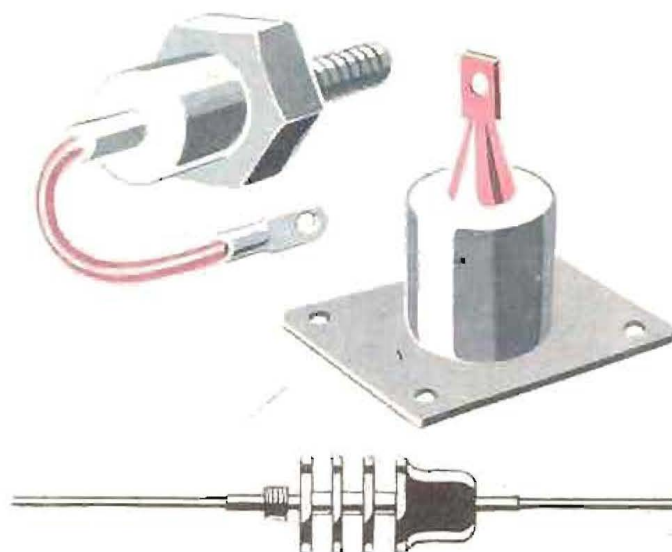
DIODOS DE PEQUEÑA POTENCIA



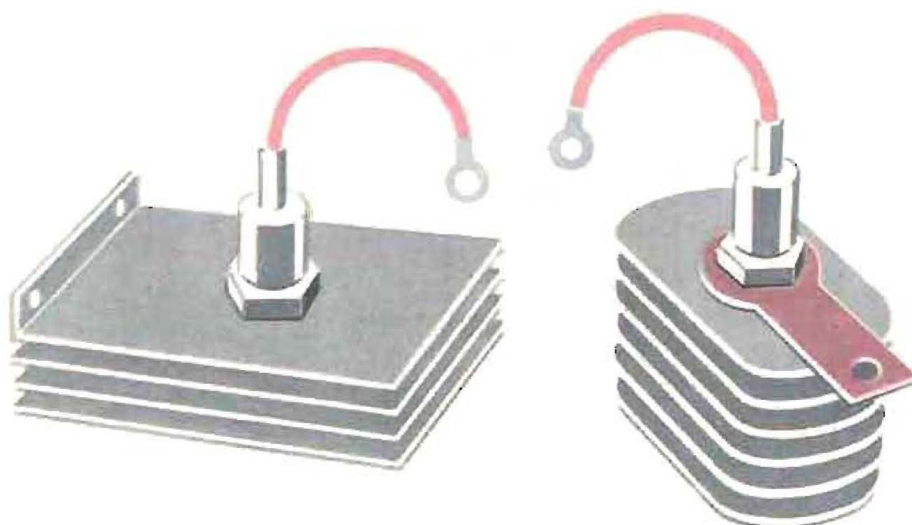
DIODOS DE MEDIANA POTENCIA



DIODOS DE SILICIO DE POTENCIA



DIODOS DE SILICIO DE GRAN POTENCIA



Diodo de silicio de potencia, montado sobre un radiador de aletas de aluminio para dispersar el calor desarrollado en el diodo.

ampliado la gama de potencias y aplicaciones de los rectificadores semiconductores. En comparación con el selenio, su característica más importante es su tensión inversa (en el sentido de bloqueo), junto con un rendimiento muy elevado y reducidas dimensiones.

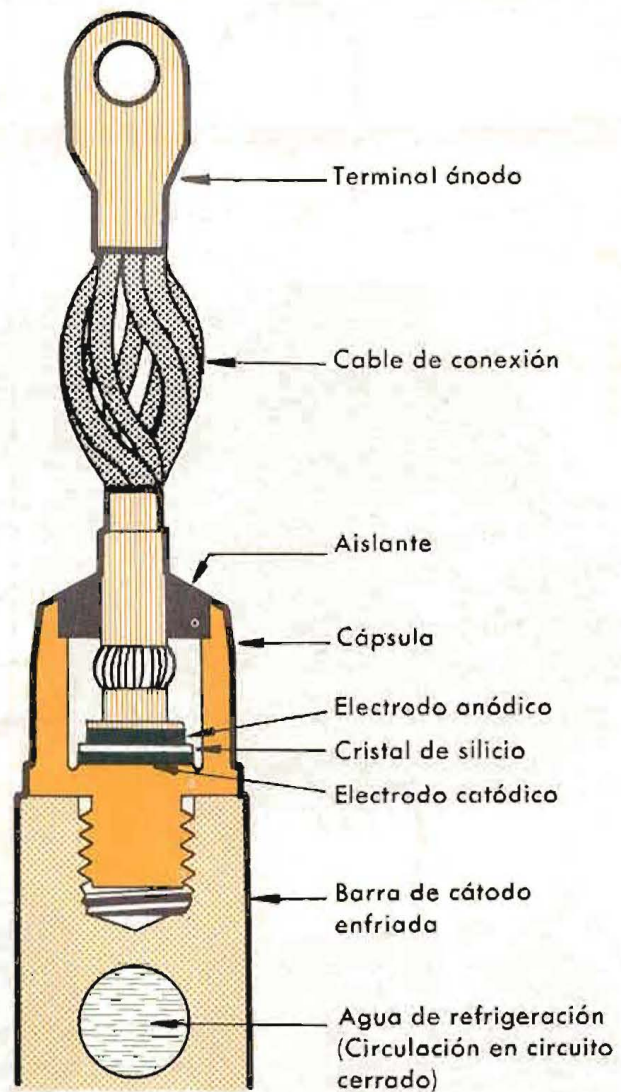
Los diodos semiconductores de silicio tienen también las ventajas de una corriente inversa muy baja y de poder funcionar a temperaturas ambientales relativamente elevadas.

Recordemos de nuevo, hablando en términos generales, que un diodo semiconductor es un dispositivo electrónico semiconductor con dos ter-

minales que deja paso a la corriente en una dirección y lo impide en la contraria.

Sabemos que esta cualidad de conducción unidireccional se debe a las características de la unión PN o barrera, la cual puede ser de alguno de los tipos siguientes:

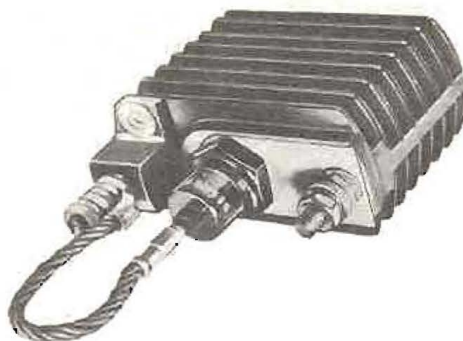
- Punto de contacto.
- Aleación.
- Formación.
- Difusión.
- Difusión mesa.
- Difusión planar.
- Difusión planar-epitaxial.



Diodo de silicio de gran potencia para rectificación de corrientes de 200 A.



Diodo de silicio de potencia con aletas de enfriamiento incorporadas.



Diodo de silicio de potencia montado sobre un bloque de aletas de enfriamiento.



Pequeño diodo de silicio bajo capsula de plástico.

UNION POR PUNTA DE CONTACTO

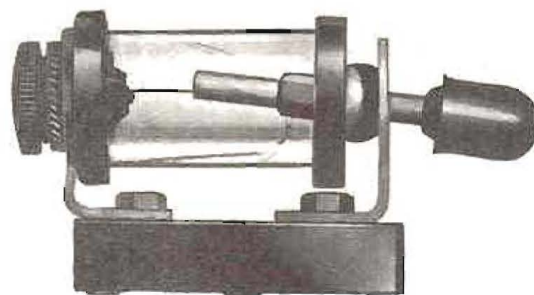
El diodo de contacto es realmente, como sabemos, el abuelo de los semiconductores, ya que constituye el detector de cristal de la telegrafía sin hilos.

El moderno diodo de punta de contacto nació con el de germanio, que fue ampliamente descrito como primera aplicación práctica de la teoría de las uniones semiconductoras PN. El diodo de germanio tiene grandes aplicaciones en electrónicas, aunque limitadas a las corrientes débiles.

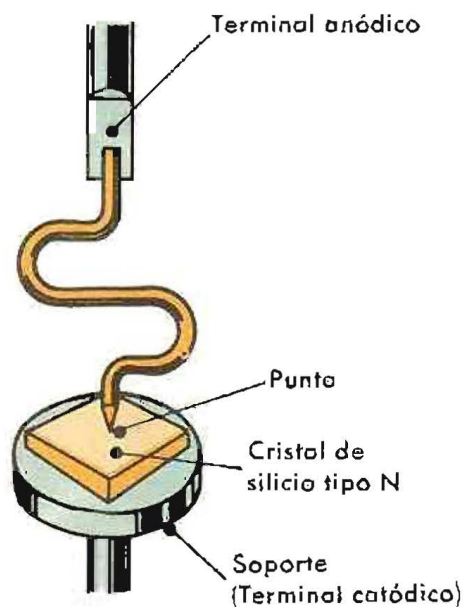
En efecto, la unión PN de punto de contacto tiene una superficie muy pequeña (la del punto o zona de contacto), y en consecuencia también es reducida la cantidad de corriente que puede ser conducida.

Es decir, el inconveniente de los diodos de punto de contacto consiste en su baja conducción de corriente por causa de su minúscula zona de influencia; por ello son inadecuados para su uso como rectificadores de corriente de gran intensidad.

Por otro lado, la baja capacidad del punto de contacto (inferior a 1 pF) hace a estos diodos muy adecuados para su empleo en circuitos de muy alta frecuencia (de 300 a 70.000 Mc/s), como detectores de microondas (radar), etc.



Antiguo detector de galena.



Diodo de silicio del tipo punta de contacto.

UNION POR ALEACION

Con el fin de lograr una área mayor de influencia o superficie de unión PN se desarrolló el tipo de diodo semiconductor de unión por aleación. Esta unión se obtiene calentando en un horno adecuado un cristal de silicio del tipo N, sobre el cual se coloca una pequeña cantidad de material tipo P. El material semiconductor tipo P consiste

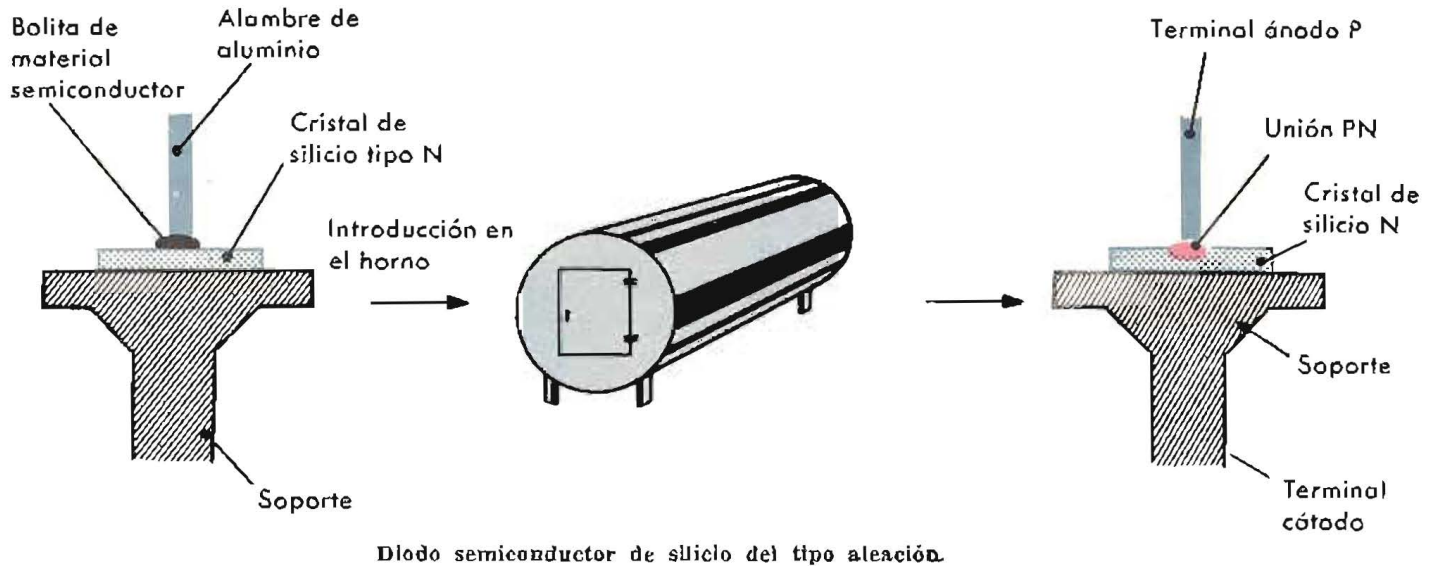
muchas veces en una pequeña esfera o en un trocito de alambre de aluminio.

La bolita de material tipo P se coloca en el centro de una luz de las caras del cristal de silicio y el conjunto se introduce en el horno. A la temperatura de 600-650° C se forma la aleación en un área casi igual a la proyección de la esfera, dando lugar a la zona de barrera o unión PN.

En general, el poder de conducción o capacidad de una unión del tipo *aleación* es algo su-

perior que el de una por *punta de contacto* y menor que el de la unión por *difusión*, principalmente en razón de sus correspondientes áreas de influencia.

Los diodos semiconductores de silicio del tipo aleación se emplean como *tipos para aplicaciones generales*, ya que poseen elevada conductancia, pueden utilizarse para tensiones altas y, además, su precio no es elevado por razón de su fácil manufactura.

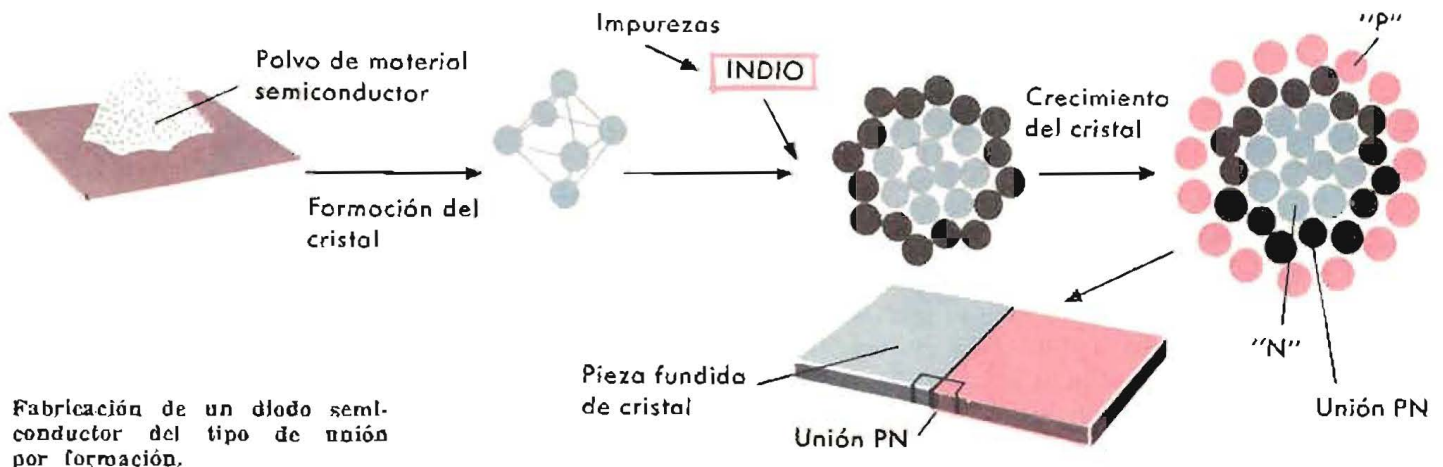


UNION POR FORMACION

La unión por formación difiere de los otros tipos en que se realiza durante la formación del cristal semiconductor.

Durante la fabricación del semiconductor, mediante polvo del material, se hace crecer un cristal de semiconductor tipo N; y durante este cre-

cimiento se le introducen *impurezas* (tal como indio, oro, etc.) en pequeña proporción. A partir de entonces el resto de cristal se convierte en semiconductor tipo P, formándose en la zona de separación una barrera o unión tipo PN, tal como se ha explicado en la lección anterior.



Durante la manufactura, el cristal así formado se corta en barritas de tal forma que cada una de ellas contenga cristal N-unión PN-cristal P.

Un inconveniente de la unión *por formación* es su gran caída de tensión directa (en el senti-

do de conducción), que puede ser de 8 a 10 V, contra la de alrededor de 1 V en las uniones por aleación o por difusión. Por ello no tienen gran aplicación en electrónica, aunque se emplean industrialmente como rectificadores para 1000 y 1500 V.

UNION POR DIFUSION

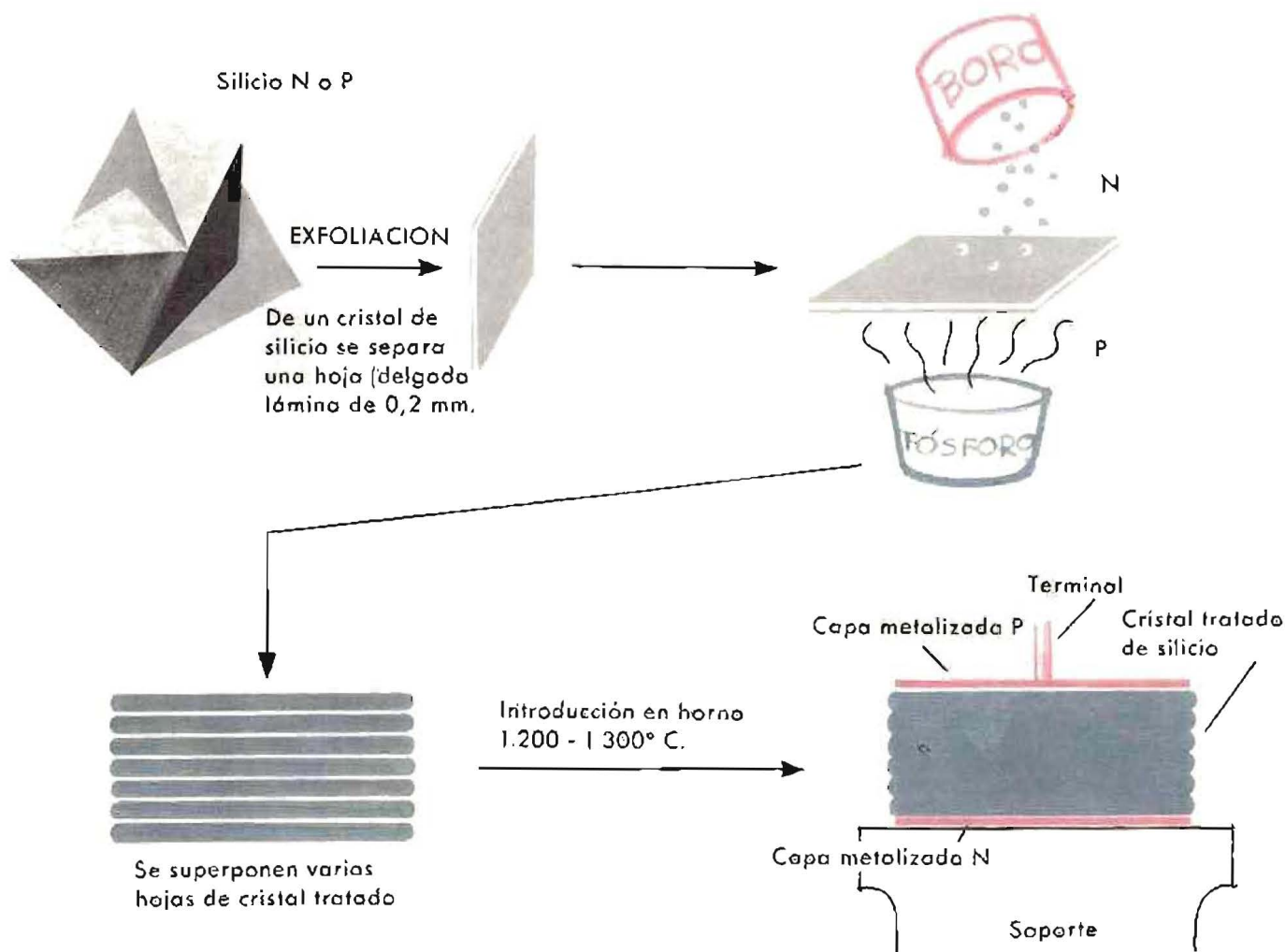
La introducción del proceso de *difusión* en estado sólido, en el año 1955, permitió difundir (esparcir) átomos donadores en el interior de la estructura del cristal, dando lugar a una zona de barrera o unión de gran extensión. Recordemos que los átomos donadores provienen de ciertas impurezas y aumentan la conductividad del material semiconductor cediendo electrones.

En este proceso se separa una hoja de un cristal de silicio del tipo N o del tipo P (esta hoja es una delgadísima lámina de alrededor 0.2 mm de espesor), sobre cuya superficie se depositan

las impurezas o donadores. Sobre un lado se deposita vapor de fósforo, que constituye el material tipo N; sobre el otro, boro, que constituye el material tipo P.

A continuación se superponen varias láminas o discos, de forma que se correspondan las caras con boro y las caras con fósforo. El conjunto se introduce en un horno a una temperatura comprendida entre 1200 y 1300° C.

En cada hoja de cristal de silicio, y desde sus dos superficies tratadas, penetra el fósforo por un lado y el boro por el otro en forma de difu-



Formación de un diodo semiconductor del tipo de unión por difusión.

sión gaseosa (como en la mezcla de dos gases, en que uno penetra en el otro hasta en sus moléculas más internas).

Los diodos semiconductores de silicio del tipo de difusión tienen muchas y muy variadas apli-

UNION POR DIFUSION MESA

Aunque los diodos del tipo de difusión tienen muchas ventajas derivadas de su extensa zona de influencia, en cambio tienen el inconveniente de presentar una capacidad elevada, ya que equivalen a un condensador con placas de gran superficie; por ende, no son muy adecuados para alta frecuencia.

Para eliminar o disminuir este inconveniente en estos diodos se ha desarrollado la variante llamada *mesa*. Esta es en su origen una unión por difusión, tal como se ha descrito en anteriores líneas, pero a la que se ha recortado o adelgazado gran parte de la superficie de unión. Este recorte de material deja como una pequeña mesera de área activa metalizada; de aquí su nombre de mesa.

La menor capacidad de la unión hace que este diodo pueda actuar en frecuencias más altas que las que pudieran aplicarse en la totalidad del área de la unión. Una de sus principales aplicaciones es como diodo computador en circuitos contadores.

UNION POR DIFUSION PLANAR

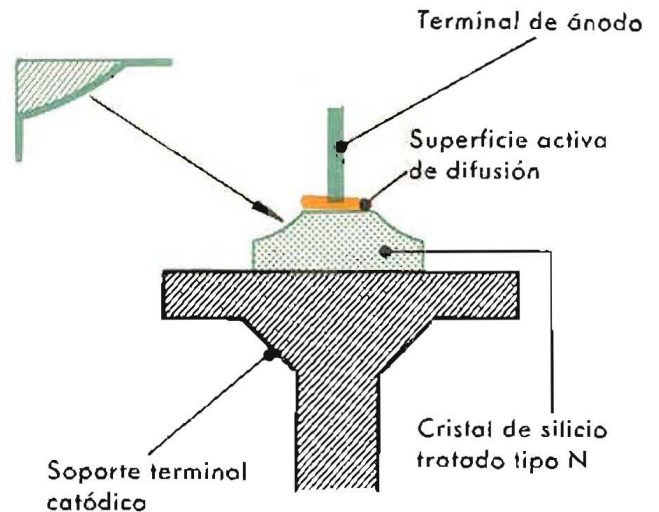
La unión PN por difusión llamada *planar* es una unión normal por difusión con una superficie inactiva (una capa entera de óxido como protección) que se aplica al cristal antes de que se forme la unión.

Este tipo es similar a la unión mesa por su reducida área de difusión para reducir la capacidad interelectrónica, lo que hace posible el trabajo en frecuencias elevadas. En el planar se consigue esto quitando la capa de óxido protector inactivo en una pequeña superficie del centro del cristal y formando luego la unión por difusión, mientras el resto queda protegido con la capa de óxido.

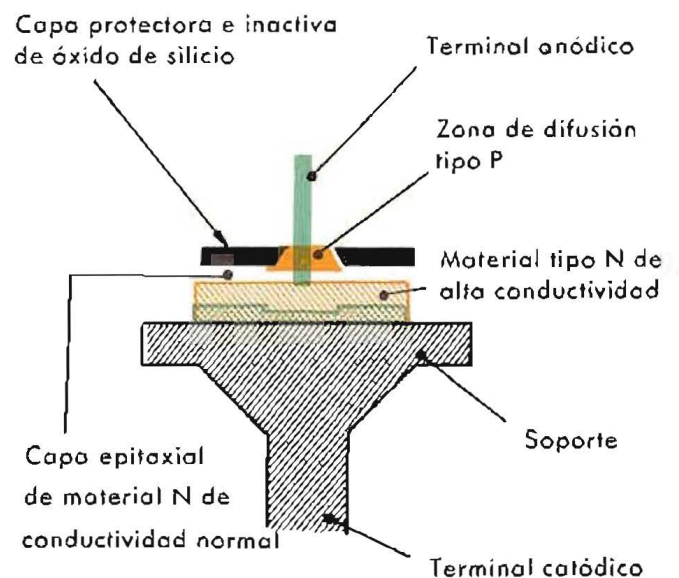
Lo mismo que el diodo tipo mesa, el planar tiene principal aplicación como computador en circuitos contadores, pero con la ventaja de estar protegido contra la alteración de sus características.

caciones debido a su extensa zona de influencia, que tiene una elevada conductancia en el sentido directo o de paso. Tienen una capacidad elevada y pueden trabajar en alta tensión. Se fabrican para usos general, para diodos Zener, etc.

Exceso arrancado o recortado del cristal tratado



Estructura del diodo semiconductor de silicio del tipo de unión por difusión mesa.



Estructura del diodo semiconductor de silicio del tipo de unión por difusión planar.

UNION POR DIFUSION PLANAR-EPITAXIAL

Los dispositivos *epitaxial* empezaron a introducirse en 1960. La palabra *epitaxial* proviene de las dos palabras griegas *epi* y *taxis*, que significan respectivamente *sobre* y *preparar*.

Tal denominación se eligió teniendo en cuenta que un diodo semiconductor de este tipo se forma calentando una película de material tipo N de alta conductividad en presencia de un compuesto de silicio (tetracloruro de silicio), que se descompone y, en condiciones favorables, se deposita sobre dicha película de silicio. La estructura cristalina de la película así tratada continúa *creciendo*, formando un solo y único cristal.

Sobre la superficie tratada de la película se difunde la impureza tipo P para formar la unión PN en forma similar a la unión por difusión normal. Asimismo, igual que como se hace con el diodo *planar* anteriormente descrito, la superficie tratada se protege con una capa de óxido de silicio, salvo en la zona de contacto.



Estructura del diodo semiconductor de silicio del tipo de unión por difusión planar-epitaxial.

RECTIFICADORES CONTROLADOS DE SILICIO

La aparición en el mercado de muchas variantes de dispositivos semiconductores con varias *capas* o uniones (*barreras*) ha llevado al desarrollo continuo de aparatos que controlan, amplifican, generan y conmutan corrientes eléctricas con mayor precisión, velocidad y seguridad de funcionamiento que cualesquiera de los dispositivos de control anteriormente conocidos.

El incremento durante la última década en la producción de semiconductores hace posible que, en la actualidad, la industria pueda emplear tales componentes en dispositivos de control automático, en los que antes se empleaban casi exclusivamente relevadores electromagnéticos.

El rectificador controlado de silicio constituye un dispositivo sumamente adecuado para reemplazar al relé electromagnético, por las ventajas siguientes:

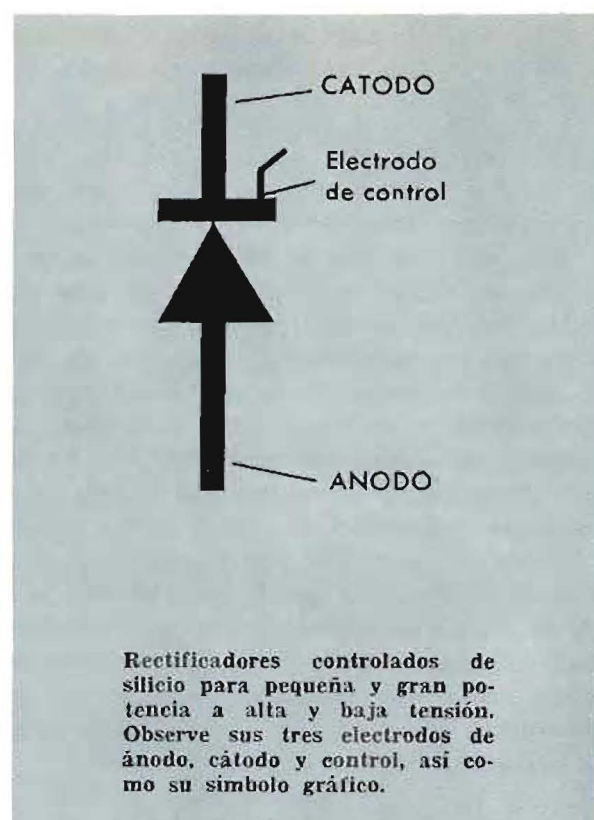
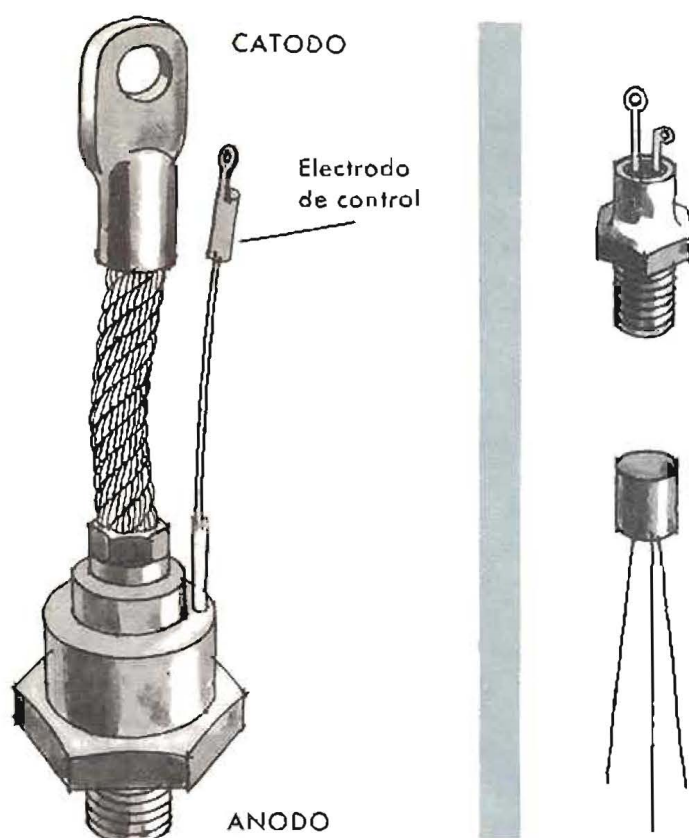
- Gran resistencia a los choques.
- Gran resistencia a las vibraciones.
- Funcionamiento extremadamente rápido (unas 10 millonésimas de segundo).
- Gran duración.
- Funcionamiento seguro.
- Ausencia de contactos móviles (con lo que se evita el desgaste de los contactos, su rebote y su oxidación, que constituyen los inconvenientes típicos de los relés electromagnéticos).

El rectificador semiconductor controlado de silicio tiene un aspecto semejante al del diodo de silicio, con la diferencia de que se le agrega un tercer electrodo llamado *electrodo de control*. (Algunos autores o fabricantes lo denominan también *compuerta*, *puerta* o *entrada*.)

Denominamos *rectificador controlado* y no *diodo controlado* porque hasta la fecha tales dispositivos semiconductores se han proyectado y utilizado para la rectificación de corriente, mas no para los fines de detección u otros de frecuencia elevada o de corriente muy débil. Es decir, en realidad constituyen diodos de potencia con un electrodo de control.

Básicamente, estos dispositivos están formados por los dos electrodos gruesos (el ánodo y el cátodo) del rectificador y un terminal de poca sección para la aplicación de una débil corriente de control. Es usual que el conjunto se monte sobre un bloque enfriador constituido por aletas de aluminio refrigeradoras.

El circuito rectificador principal ánodo-cátodo normalmente no es conductor en ninguna de las dos direcciones. En realidad, ya sabemos que no es total el bloqueo de corriente en un semiconductor; en el rectificador controlado de silicio la resistencia al paso de la corriente, tanto en un sentido como en otro, es muy elevada (por ejemplo, unos 100.000 Ω).



Rectificadores controlados de silicio para pequeña y gran potencia a alta y baja tensión. Observe sus tres electrodos de ánodo, cátodo y control, así como su símbolo gráfico.

El circuito de control (electrodo control-cátodo) es equivalente a un pequeño diodo. Si se aplica una señal (tensión) positiva al electrodo de control, circula una pequeña corriente por el diodo, la cual tiene por efecto disminuir el valor de la resistencia de paso del rectificador principal en el sentido de *ánodo positivo a cátodo negativo*. La resistencia en la dirección opuesta no varía. Es decir, por efecto de la corriente de control, el rectificador principal está en condiciones de conducir corriente en el sentido habitual de todo diodo semiconductor. De ahí la denominación de compuerta que a veces se da al diodo de control, ya que verdaderamente actúa como tal.

Según sea la corriente de control, la resistencia al paso de la corriente en el circuito rectificador principal varía entre un valor muy elevado ($100\text{ K}\Omega$), igual al de la resistencia en sentido inverso (dirección de bloqueo), hasta valores muy bajos del orden de una centésima de ohmio ($0.01\text{ }\Omega$).

Aunque la variación de resistencia es muy grande, dando lugar a grandes variaciones de corriente o de tensión, en cambio se necesita muy poca potencia (tensión de corriente) en el electrodo auxiliar para controlar tales variaciones.

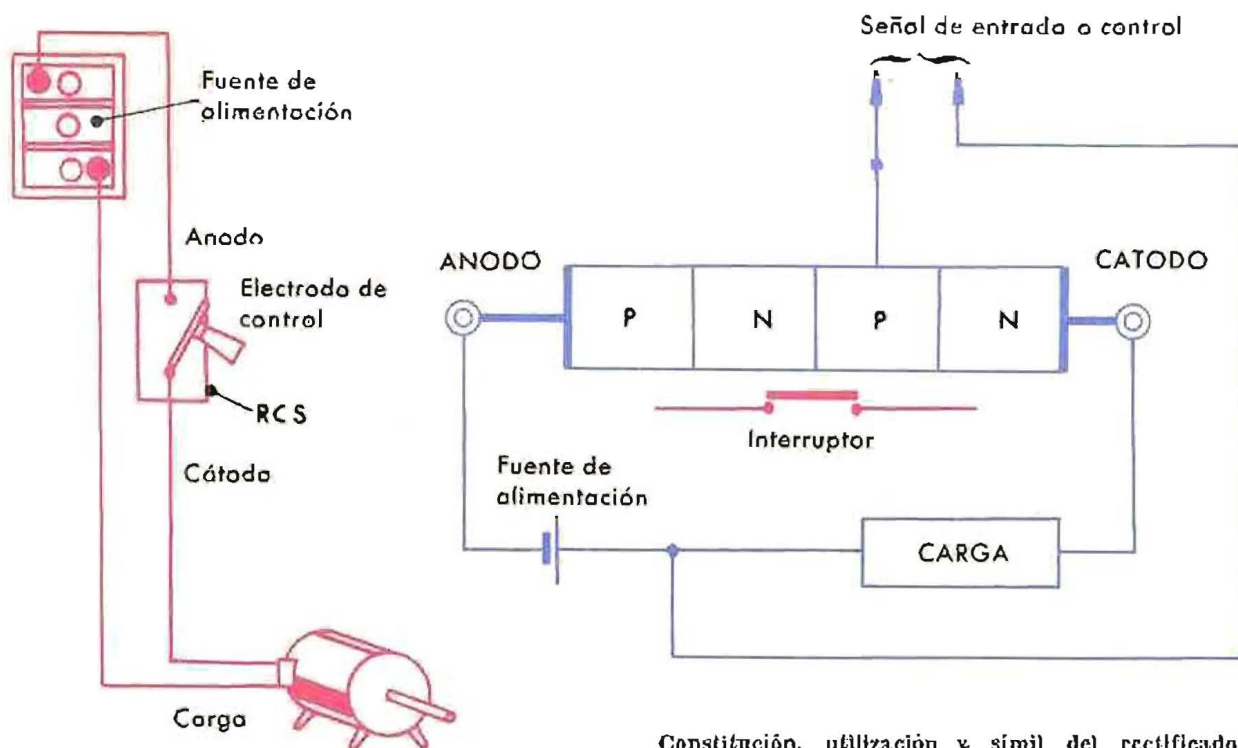
El rectificador semiconductor controlado podría compararse a un interruptor con gran velocidad de conexión-desconexión. En efecto, en po-

sición normal o de reposo (cuando el electrodo auxiliar de control no está polarizado positivamente) este semiconductor impide el paso de la corriente tanto en un sentido como en otro (interruptor abierto o posición de desconectado); cuando el electrodo de control está adecuadamente polarizado, el rectificador conduce al igual que un diodo semiconductor (interruptor cerrado o posición de conectado).

Es muy importante darse cuenta que en el rectificador controlado, a diferencia del interruptor mecánico, no hay estados intermedios entre las condiciones de conectado o desconectado. El tiempo necesario para pasar de una condición a otra es extremadamente corto, de pocas millonésimas de segundo. No obstante, una vez está en condición de conectado, el rectificador controlado tiene un funcionamiento muy estable.

En tanto que una corriente sustancial fluye de ánodo a cátodo, las características directa e inversas son similares a las correspondientes de un diodo rectificador.

En posición conectado, la única diferencia entre las características del diodo y del rectificador controlado es que, en éste, si la corriente conducida se reduce paulatinamente hasta cero se produce un súbito incremento de la caída de tensión directa, lo cual representa la desconexión.



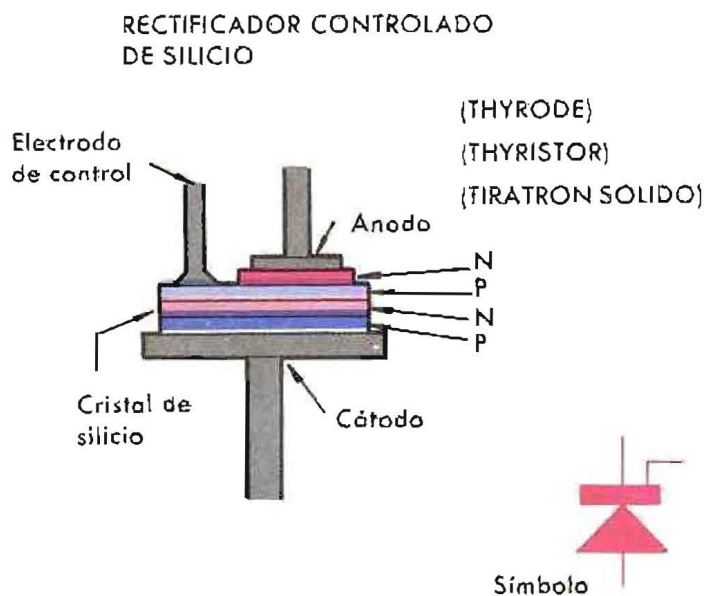
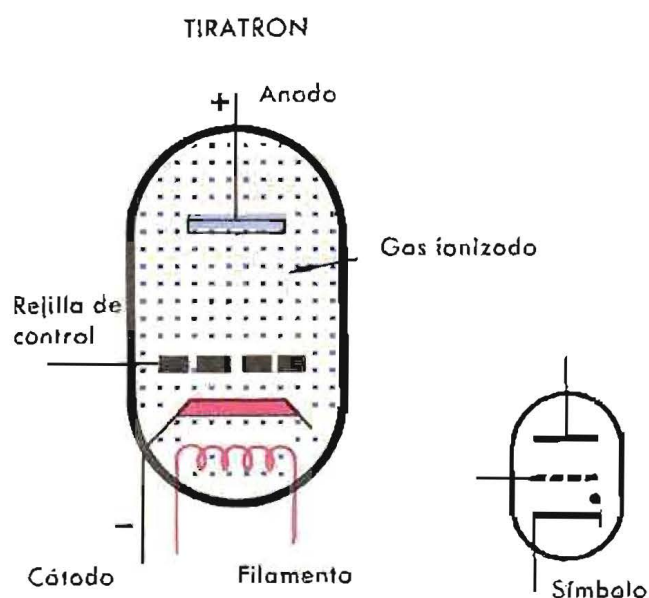
Constitución, utilización y símbolo del rectificador controlado de silicio (RCS).

Cuando el rectificador controlado se desconecta vuelve a su estado normal de bloqueo de corriente en ambas direcciones. Si de nuevo se aplica una señal a su entrada o electrodo de control, asume otra vez la función de diodo rectificador. Estos cambios de funcionamiento pueden ocurrir en cualquier tiempo o punto del ciclo directo (es decir, el intervalo durante el cual las conexiones principales del rectificador contro-

lado están polarizadas en la dirección directa, ánodo positivo y cátodo negativo, al igual que cualquier diodo rectificador).

Cuando el rectificador controlado se halla en posición conectado debe considerársele como un diodo rectificador semiconductor corriente. Por ello debe procurársele un enfriamiento suficiente, debe protegerse contra las sobrecargas, etc.

Las consideraciones de bloqueo en sentido in-



El rectificador controlado de silicio (dispositivo semiconductor) es comparable, por su funcionamiento y aplicaciones, a los tiratrones (válvulas termoiónicas).

verso se aplican siempre tanto si, en sentido directo, se halla en posición conectado como desconectado.

El hecho de que el rectificador controlado tiene tres terminales (en realidad dos, más uno de control) induce a querer compararlo con un transistor. Tal cosa es errónea, puesto que, a pesar de que la técnica de su fabricación es muy parecida, su conducta y sus aplicaciones son fundamentalmente diferentes. Debe hacerse notar que un rectificador controlado es similar a un diodo semiconductor y no a un transistor.

Los transistores pueden emplearse en circuitos muy variados, pues tienen gran flexibilidad de funcionamiento. En cambio, los rectificadores controlados sólo pueden operar como dispositivos interruptores de *conectado-desconectado*.

Por otra parte el rectificador controlado de si-

licio (dispositivo semiconductor) es comparable, en cuanto a su funcionamiento y aplicaciones, a los tiratrones (válvulas termoiónicas) que se estudian en electrónica industrial. No obstante, es obvio que un semiconductor no tiene las mismas características que una válvula termoiónica.

Como sabemos, una vez el rectificador controlado está en posición conectado permanece en ella mientras conduzca corriente; invirtiendo la polaridad del ánodo, se desconecta. También el *tiratrón* se conecta por un elemento de control (la rejilla de toda válvula triodo) y se desconecta por la inversión de la polaridad del ánodo.

Precisamente por la semejanza de su funcionamiento con el de la válvula electrónica *tiratrón* (*thyatron*), también se denomina *thyristor* o *tiratrón sólido* al rectificador controlado semiconductor.

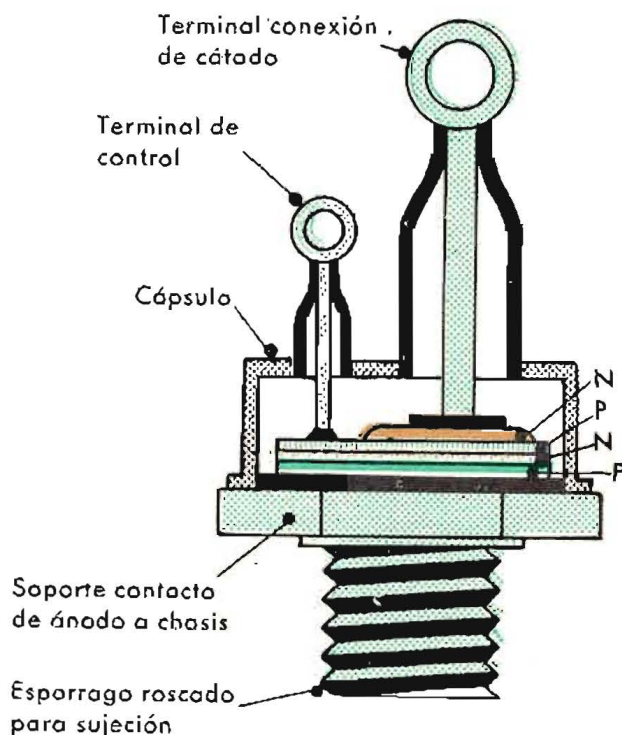
CONSTITUCION DE UN RECTIFICADOR CONTROLADO

El rectificador controlado es un dispositivo que se emplea en aparatos eléctricos o electrónicos para conducir automáticamente (controlar la circulación) una determinada potencia eléctrica.

En sí, todo dispositivo semiconductor se caracteriza por ser diminuto; pero —especialmente en los de potencia, como el rectificador controlado— por lo general debe ir acompañado de ciertas piezas o partes accesorias que son las que en realidad le confieren cierto volumen y peso. Estos accesorios son, por ejemplo, los terminales de conexión, el bloque de aletas de refrigeración, la cápsula de protección contra el aire ambiente, los soportes o sujeciones, etc.

La parte activa del rectificador —es decir, el semiconductor propiamente dicho— está constituida por un diminuto disco de silicio de muy alta calidad y muy puro (excepto las impurezas que se le han agregado deliberadamente). Estructuralmente no es un cristal único, pero la distribución de las impurezas añadidas es muy uniforme o regular.

El disco de cristal de silicio contiene cuatro capas diferentes que son alternativamente de tipo N y P, obtenidas por difusión de impurezas adecuadas para cada tipo N o P. El disco así formado por capas tiene gran diámetro en relación con su espesor (unas veinte veces); por ello la conducción de corriente eléctrica de ánodo a cátodo se efectúa sobre una gran superficie de contacto y a través de un delgado espesor de material semiconductor.



Constitución del rectificador controlado de silicio (RCS).

La superficie del disco que sobresale de los electrodos de contacto se oxida o recubre de óxido de silicio con el fin de aislar convenientemente el ánodo del cátodo; no debe olvidarse que en posición desconectado —es decir, cuando el rectificador bloquea o aísla— existe cierta diferencia de potencial entre sus terminales.

Asimismo, la capa exterior se recubre con barniz duro para protegerla contra cualquier golpe o rayadura durante la fabricación del rectificador.

La mayor parte del disco se extiende entre el ánodo y el cátodo, que están separados, como se ha indicado, por cuatro capas cristalinas. No obstante, la capa tipo N del cátodo no llega en un lado hasta cerca del borde, dejando al descubierto en esta zona la superficie de la segunda capa, de tipo P, en la cual se conecta el terminal de control.

De esta forma existe entre el electrodo de control y el cátodo una unión PN que constituye el circuito de control, además del circuito principal de conducción ánodo a cátodo a través de las cuatro capas.

El área de conducción o superficie activa entre ánodo y cátodo ha de ser grande para dar paso a grandes intensidades de corriente; en cambio, una pequeña parte de la superficie del disco es suficiente para que a través del canto de la cuarta capa (la catódica) pueda pasar la débil señal de control.

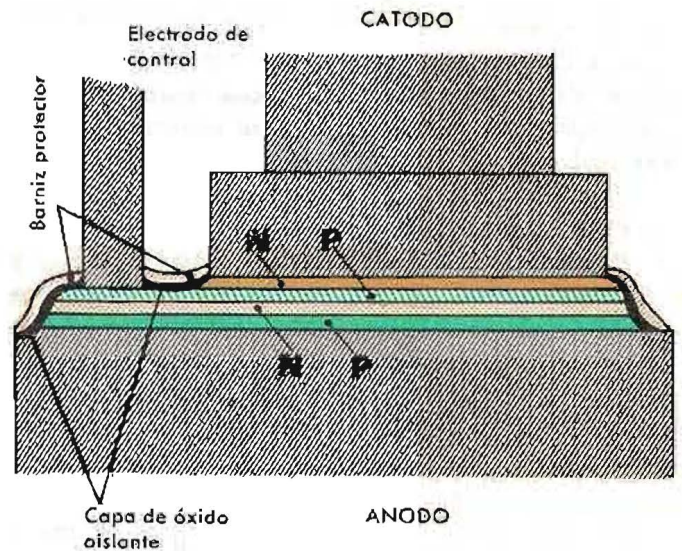
La constitución de las cuatro capas cristalinas del disco de silicio es la siguiente:

Capa de cátodo de material semiconductor tipo N, en contacto con el electrodo de cátodo.

Capa de control de material tipo P, a la que se conecta el terminal de control.

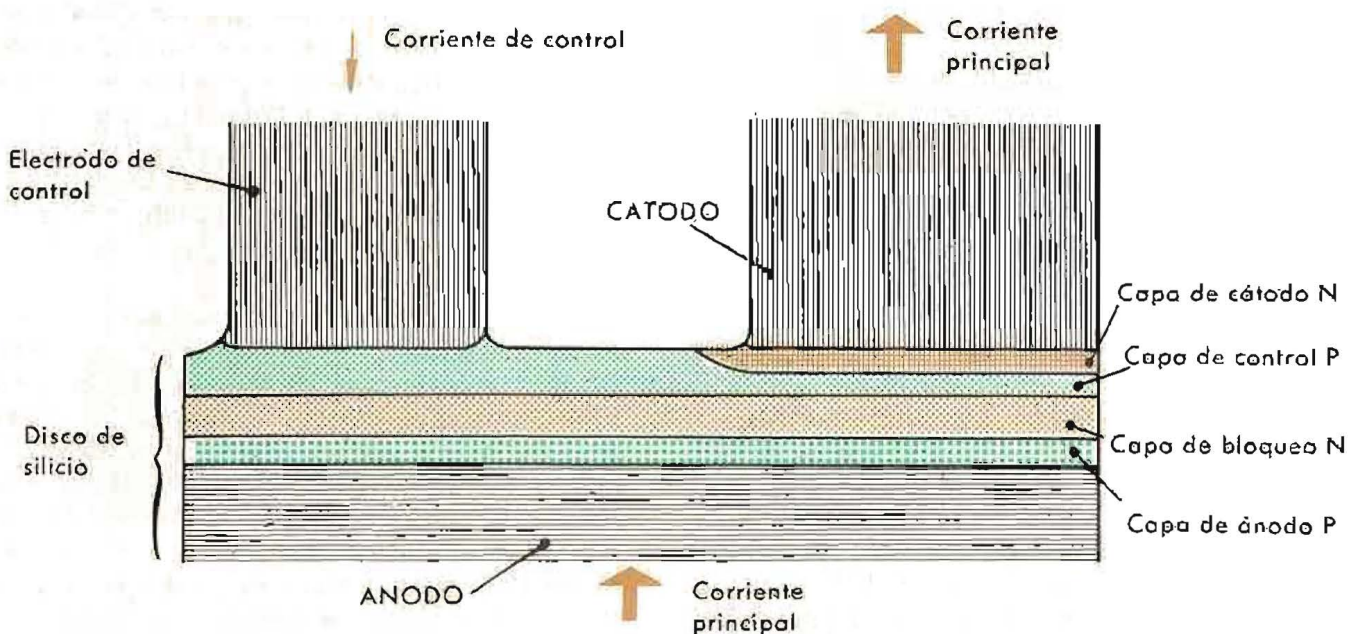
Capa de bloqueo de tipo N, de gran espesor. Es la capa principal de conducción o de interrupción.

Capa de ánodo de tipo P, en contacto directo con el electrodo anódico.



Corte de la parte activa del RCS.

Estas capas cristalinas se obtienen a partir de un disco de silicio homogéneo, perfectamente monocristalino, de tipo N, y constituyen de hecho la capa central de bloqueo. Sobre este silicio original virgen se aplican las capas de ánodo y de control (una a cada lado), difundiendo en cada una de las dos caras del disco las impurezas adecuadas que confieren a las superficies del material básico tipo N las características de tipo P. La capa de cátodo se obtiene por difusión de impurezas de tipo N sobre la casi totalidad de la capa de control (excepto en la zona de conexión del terminal de control).



EL CONTROL DE LA CONDUCCION ELECTRONICA EN EL TIRATRON SOLIDO

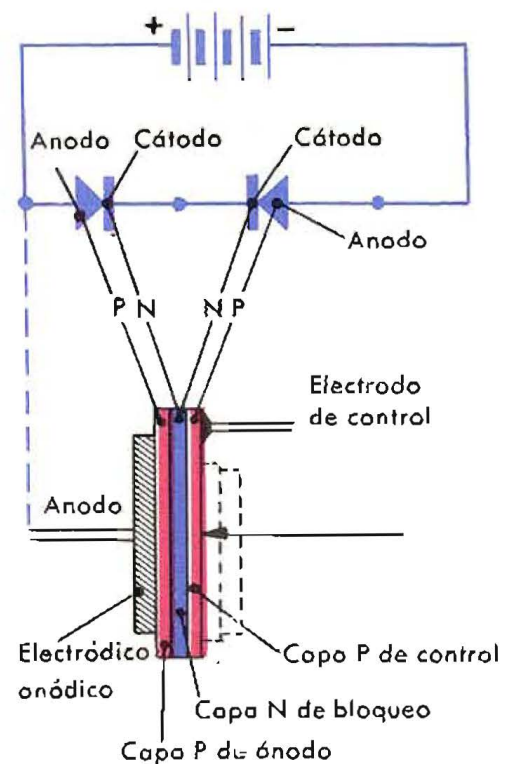
El conjunto de la capa central de tipo N o de bloqueo y la capa de ánodo de tipo P forma una unión PN semejante a la de cualquier diodo semiconductor; de dicha unión se aprovecha como propiedad principal la de bloquear la corriente en el sentido inverso, como en un diodo que tenga la misma polaridad.

El conjunto de la capa de control de tipo P y la capa central de bloqueo de tipo N forma una unión PN intermedia que bloquea la corriente en el sentido directo. Es decir, las tres capas actúan como dos diodos semiconductores conectados en serie (uno a continuación de otro), pero en sentido inverso, con lo cual no puede pasar corriente ni en un sentido ni en otro.

Por la presencia de las cuatro capas de material semiconductor: P (ánodo), N, P (control), N (cátodo), puede considerarse el rectificador controlado semiconductor como formado por dos uniones PN sucesivas. Existen dos posibilidades de funcionamiento. Si el cátodo es positivo con respecto al ánodo, las dos uniones extremas están polarizadas en sentido inverso y el rectificador se comporta como una unión clásica polarizada en sentido inverso. Si se invierte la polaridad de la fuente de alimentación (ánodo positivo y cátodo negativo), la unión central PN que queda entonces polarizada en sentido inverso. Los extremos P y N representan ahora unos emisores de cargas; pero de hecho, por la unión central, el elemento continúa bloqueando el paso de la corriente.

Si se aumenta ahora la tensión de la fuente de alimentación, cada vez se inyectan en la unión central PN más portadores de cargas positivas por un lado y negativas por el otro, con lo que se aumenta constantemente el campo eléctrico interno. La inyección cada vez más acelerada de carga positivas y negativas libera por colisión nuevas cargas móviles en la unión central, hasta que llega un momento en que se produce una verdadera reacción en cadena, avalancha, ionización, o como quiera llamársele, que hace completamente conductora a la unión central, como lo es el vacío enrarecido de gas ionizado de una válvula electrónica de vapor de mercurio.

El mismo efecto puede producirse a tensiones mucho más bajas, inyectando portadores de carga a la unión central directamente por medio del electrodo de control. Una vez se ha cebado el fenómeno de conducción, el electrodo de control ya no ejerce influencia alguna en dicho fenómeno. Sólo puede hacerse volver a su estado inicial el rectificador controlado semiconductor de blo-



Las tres capas de ánodo, bloqueo y control constituyen dos uniones PN (dos diodos semiconductores) en serie, conectadas en sentido inverso, de forma que una impide el paso de corriente en un sentido y la otra lo impide en el otro, con lo cual no puede haber conducción de corriente en ningún sentido. (Bloqueo en sentido directo e inverso.)

queo por anulación del potencial aplicado a sus bornes, por inversión de polaridad o si la corriente anódica desciende a un valor tan bajo que abre el interruptor que constituye.

La tensión y corriente que debe aplicarse al electrodo de control es independiente de las características del circuito principal y sólo depende de la temperatura de servicio. En líneas generales, la tensión entre cátodo y electrodo de control es de muy pocos voltios y de unos pocos miliamperios, cuando por el circuito principal se puede conducir corrientes de hasta 500 A y a la tensión de incluso 1000 V.

Un resumen final: a) El rectificador controlado semiconductor no conduce en ningún sentido en su estado normal de bloqueo. b) El circuito principal es el de ánodo a cátodo. c) El electrodo de control únicamente dispara el mecanismo de conducción del circuito principal; una vez disparado, aquél no tiene ningún efecto. En definitiva, igual que un interruptor eléctrico, en el que la manecilla o empuñadura es el electrodo de control y su corriente de disparo es nuestra acción de cerrarlo.

DIODOS ZENER DE SILICIO

Como es sabido, no es total la propiedad de los semiconductores de bloquear la corriente en el sentido inverso; en efecto, con una tensión inversa normal y a la temperatura ordinaria, sólo franquean la unión PN algunos electrones favorecidos por el movimiento térmico o de excitación. Esta corriente inversa que podríamos calificar de fuga es de solamente algunos μA (millonésimas de amperio).

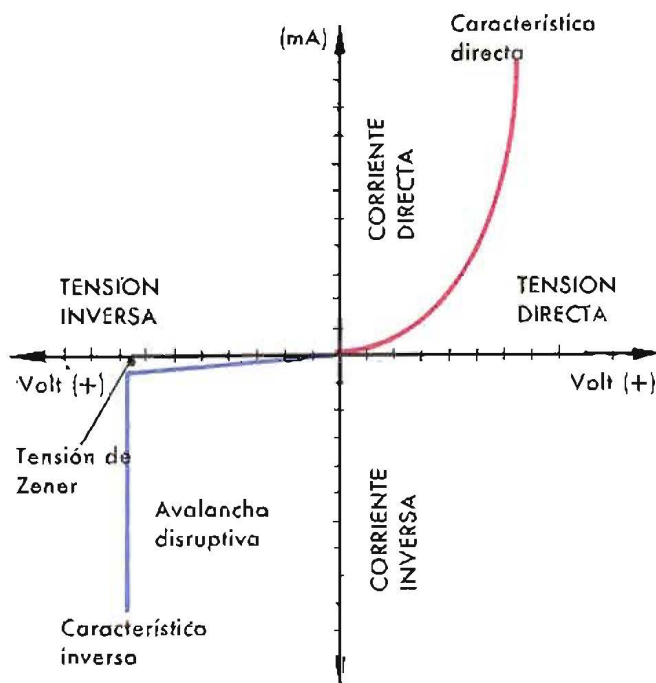
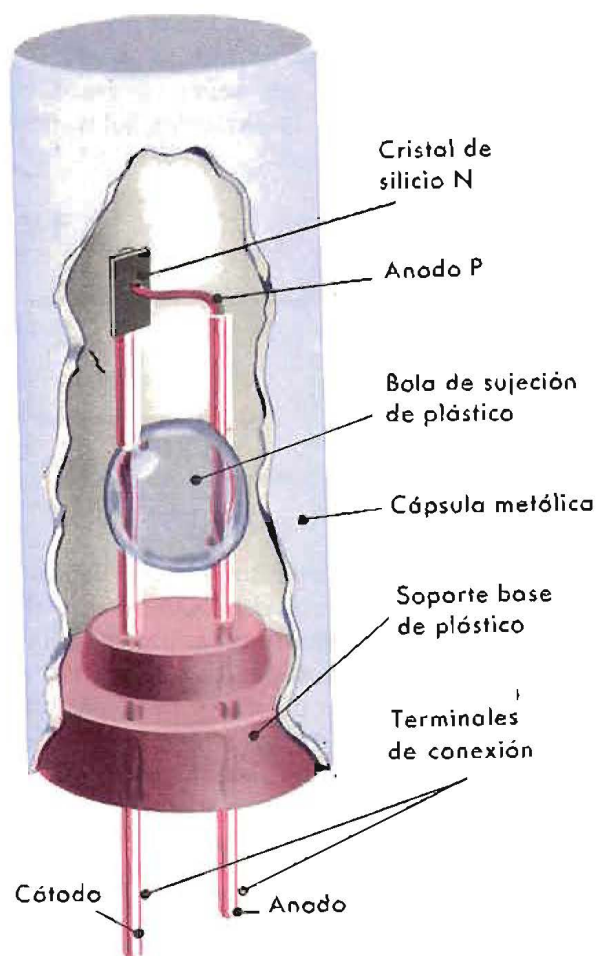
Si se aumenta la tensión aplicada en el sentido inverso (tensión inversa) la corriente de fuga aumenta muy poco en proporción a lo que aumenta la tensión, hasta que llega un momento en que la tensión aplicada es tal que la corriente inversa aumenta en forma considerable, fenómeno que puede considerarse como un cortocircuito. Observe la característica inversa de los diodos semiconductores, dada en el gráfico del principio de esta lección, y verá que indica el fenómeno a que nos hemos referido.

Los portadores de carga positivos y negativos (huecos y electrones), formando la conocida barrera de potencial, se oponen al paso de la co-

rriente; pero bajo el influjo de la tensión cada vez más elevada son acelerados (excitados) cada vez más, hasta que alcanzan elevadas velocidades de desplazamiento y adquieren la energía suficiente para que por su impacto sean capaces de desalojar (ionizar) electrones de valencia limítrofes de otros átomos de silicio. Este choque entre portadores de carga y átomos origina una multiplicación de nuevos portadores que también son acelerados por el intenso campo eléctrico; este proceso, llamado de *avalancha*, implica un brusco y rapidísimo aumento de la corriente inversa.

Este valor extremo de la tensión por el cual se produce este fenómeno queda definido como **TENSIÓN DE ZENER**.

En los diodos normales la aplicación de una tensión inversa igual a la de Zener ocasiona necesariamente el deterioro. Sin embargo, existen diodos, llamados precisamente **DIODOS ZENER**, en que el mecanismo de avalancha se ha controlado de tal forma que pueden trabajar dentro de esa zona de la característica inversa entre ciertos límites de la corriente conducida.



Característica de un diodo Zener o de avalancha.

◀ Diodo Zener de aleación de silicio para regulación de tensión.

La característica de un diodo Zener es la que aparece en la figura de la página anterior.

Como puede ver, la característica directa es igual a la de otro diodo cualquiera. La característica inversa presenta una zona en que la corriente aumenta muy lentamente a medida que aumenta la tensión; esa zona es casi horizontal.

Cuando la tensión alcanza el valor V_z (tensión de Zener) la característica presenta un cambio brusco y cualquier pequeño incremento de la tensión ocasiona un gran aumento de corriente. A partir del codo, la característica es prácticamente vertical. La región en que la tensión en los ex-

tremos del diodo se mantiene constante (o casi) a pesar de los aumentos de intensidad es la llamada *zona de estabilización*.

Los diodos Zener presentan la gran ventaja, en relación con los otros estabilizadores conocidos, de su pequeñez, ligereza, robustez y larga duración; tienen además la posibilidad de trabajar en tensiones muy bajas y admitir intensidades muy elevadas. Otra de sus ventajas es que pueden fabricarse para estabilizar tensiones de pocos voltios, mientras que las válvulas estabilizadoras necesitan trabajar a tensiones relativamente elevadas.

APLICACIONES EN CORRIENTE ALTERNA

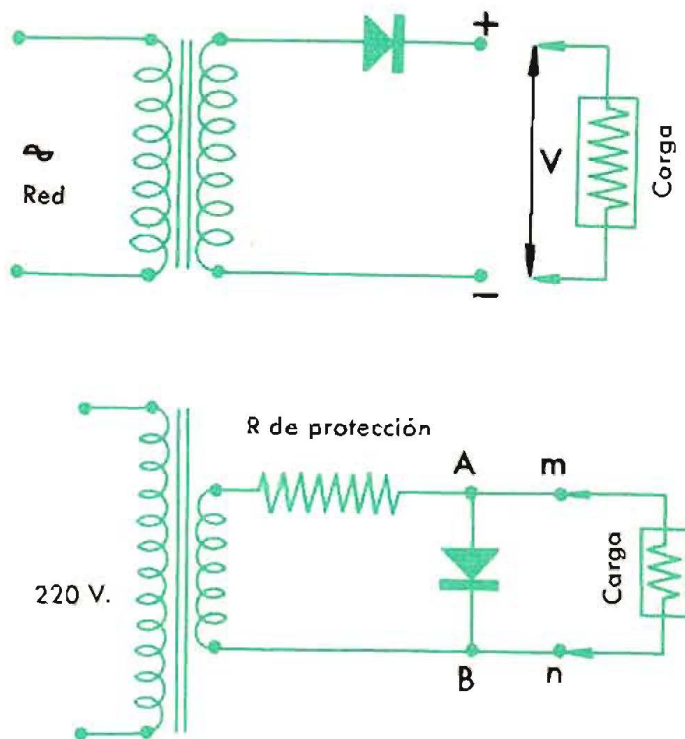
Las aplicaciones de los diodos Zener como estabilizadores y limitadores de tensión son ilimitadas. A continuación daremos una breve idea de su utilización y funcionamiento en circuitos básicos de rectificación.

La siguiente figura recuerda el clásico circuito rectificador de media onda, cuyo principio es ya conocido por usted.

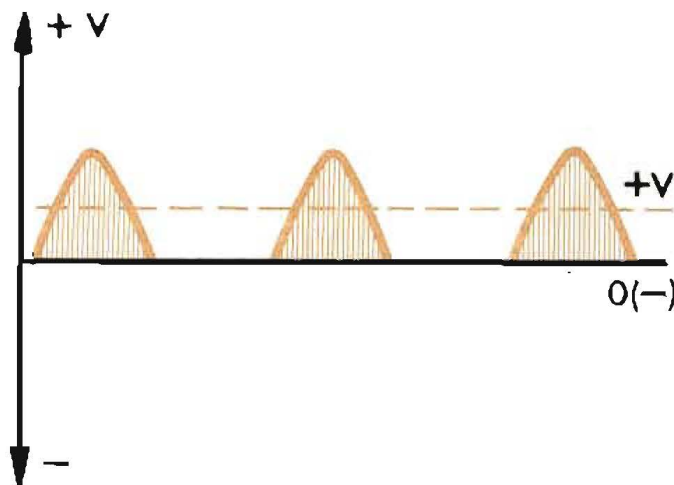
En el circuito rectificador de media onda el

diodo solo deja pasar los semiperíodos positivos, dando lugar a una serie de impulsos positivos cuya tensión varía desde cero hasta un valor máximo. Esta serie de impulsos puede considerarse como una corriente continua pulsatoria que puede aún *nivelarse* por medio de un filtro.

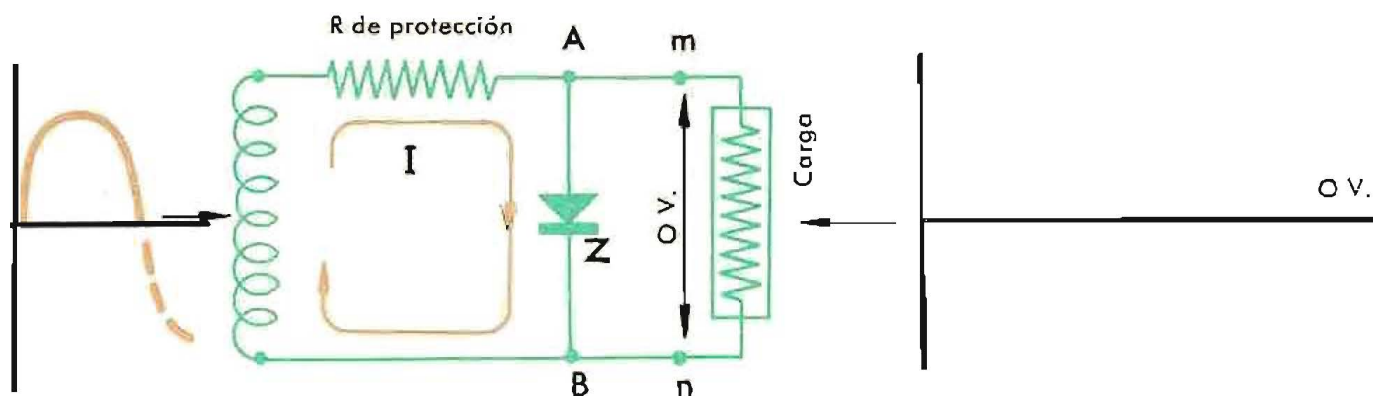
El montaje de la figura siguiente representa un circuito equivalente al anterior, pero utilizando un diodo Zener.



Circuito básico rectificador-estabilizador de media onda con diodo Zener.



Observemos que en este montaje el diodo Zener está colocado en derivación. Cuando en el secundario del transformador está presente la semionda positiva (punto A positivo) el diodo está polarizado en el sentido directo y conduce; como su resistencia al paso de la corriente en el sentido de la conducción es despreciable en comparación con la resistencia de cualquier aparato que conectemos entre sus bornes, toda la corriente en el circuito del secundario del transformador circula por el diodo y no por la carga; es decir, NO HAY TENSIÓN EN LOS BORNES (m y n).

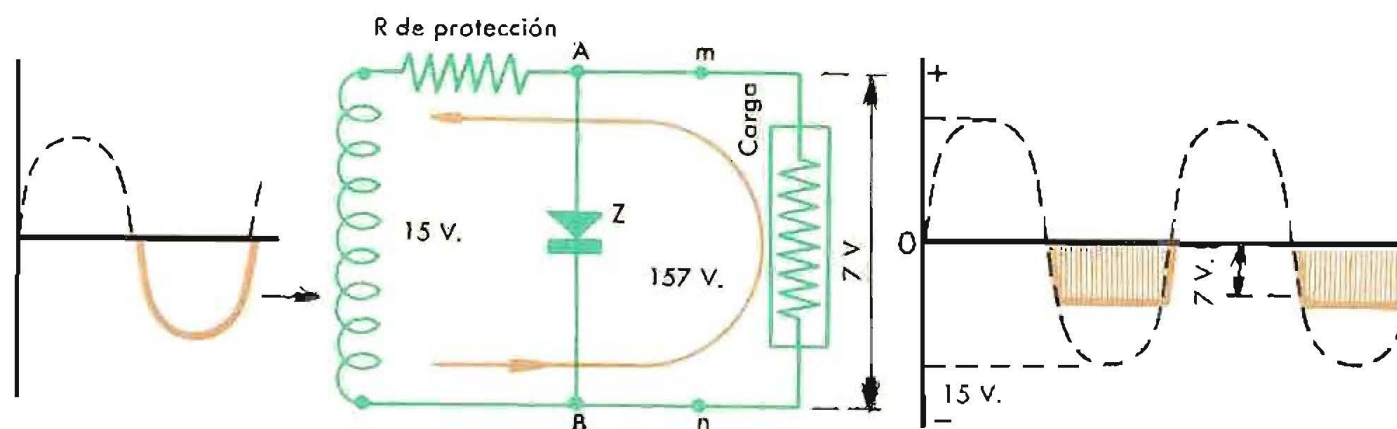


En el instante en que en el secundario del transformador se produce la alternancia positiva toda la corriente circula por el diodo y vuelve al transformador. Al no circular corriente por la carga, la tensión en bornes del rectificador-estabilizador es cero.

Cuando en el secundario del transformador está presente la semionda negativa, el diodo está polarizado en el sentido inverso y no conduce; o sea, la tensión de la alternancia negativa aparece en los bornes del rectificador, por circular toda la corriente por la carga. Ahora bien, cuando la tensión inversa de la alternancia negativa en los bornes del diodo alcanza el valor del codo de Zener, se produce la avalancha y el diodo conduce, con lo que se produce en la resistencia de protección R una caída de tensión suplementaria que reduce la tensión en los bornes del rectificador hasta el valor de Zener y la mantiene en dicho valor mientras el valor de la tensión de la

alternancia negativa no descienda siguiendo la forma de onda hasta cero. Es decir, en este caso, el diodo Zener estabiliza el valor de la tensión de la alternancia negativa al valor de Zener. (En el caso de la figura anterior, la tensión alterna de valor máximo 15 V es rectificada en un tren de impulso negativo de tensión constante de 9 V.)

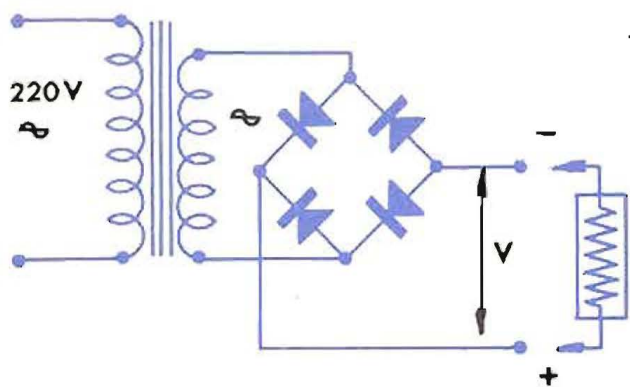
Es decir, el montaje descrito con diodo Zener constituye un rectificador similar al clásico de media onda pero recortando los impulsos a un valor preestablecido de Zener, por lo que se obtiene una corriente continua pulsatoria cuyo valor de pico es independiente, dentro de ciertos límites, del de la tensión de entrada.



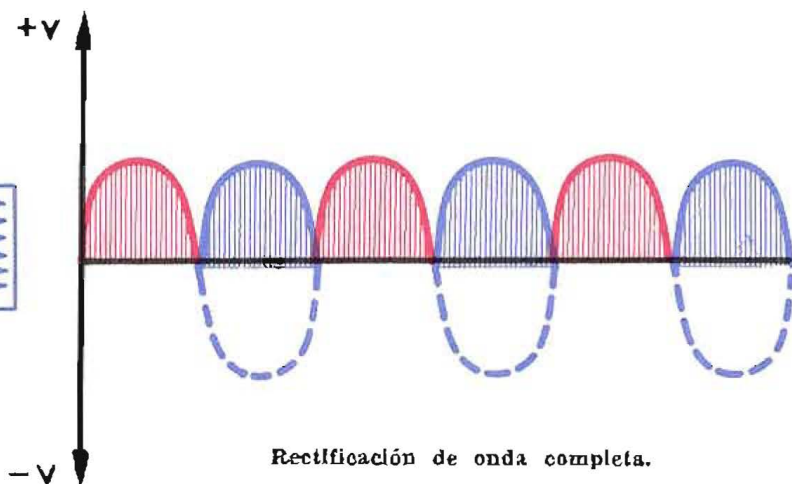
En el instante en que se produce la alternancia negativa en el secundario del transformador, la corriente circula por la carga, ya que el diodo está polarizado en bloqueo; pero cuando se alcanza el valor de Zener el diodo conduce y da lugar a una caída de tensión en la resistencia que estabiliza la tensión en bornes del rectificador al valor de Zener.

La figura siguiente recuerda el clásico circuito rectificador de onda completa en conexión de

puente, cuyo principio también nos es muy conocido.



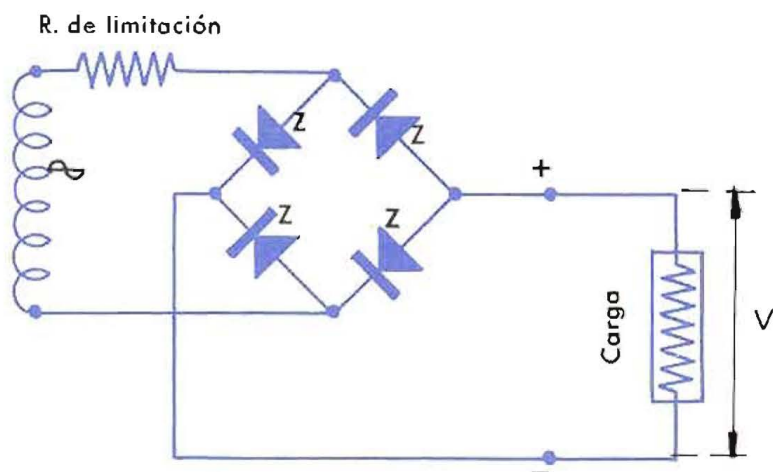
Circuito clásico rectificador en puente.



Rectificación de onda completa.

Siguiendo el mismo razonamiento del caso a), puede establecerse un montaje de rectificación en puente, de onda completa, con diodos Zener que

recorten los impulsos de la tensión continua (de las alternancias) a un valor constante correspondiente a la tensión de Zener.



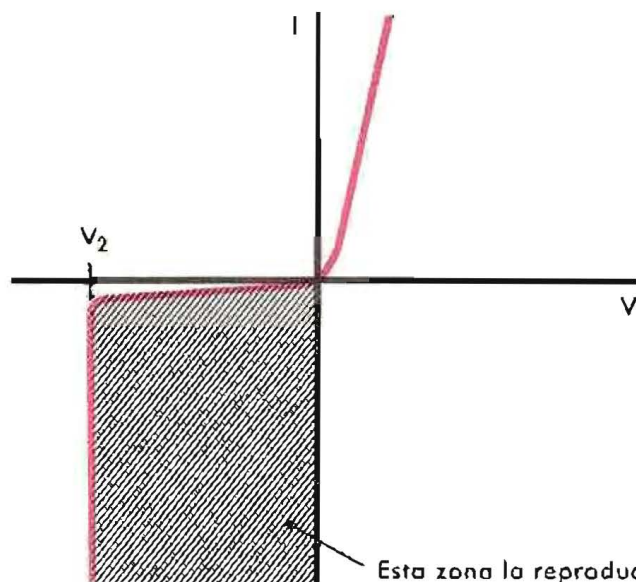
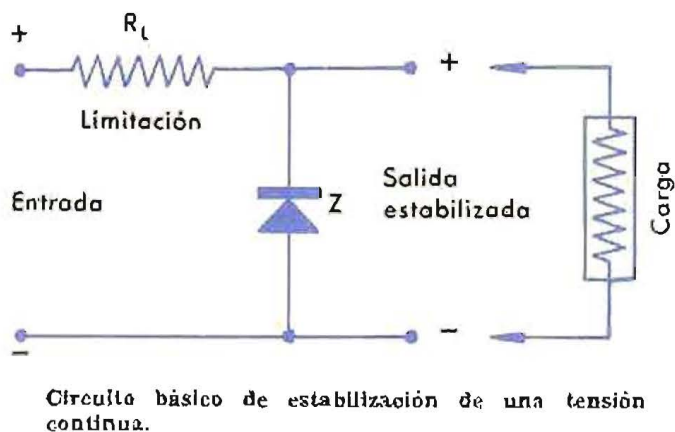
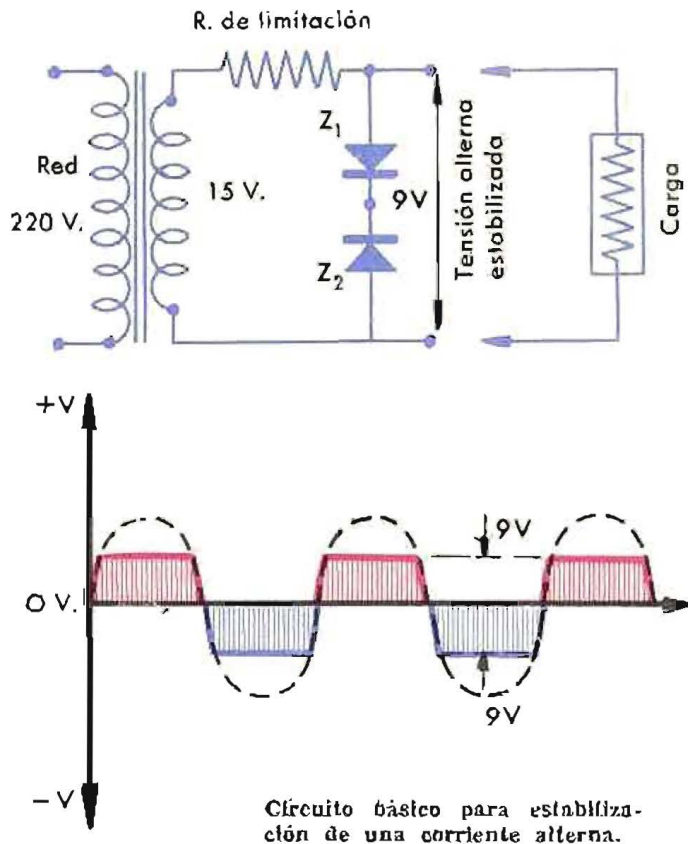
CORRIENTE CONTINUA RECTIFICADA Y ESTABILIZADA A LA TENSION ZENER

Circuito básico rectificador en puente estabilizado con diodos Zener.

Hemos tratado antes de la aplicación de los diodos de Zener para rectificación estabilizada de corriente alterna en corriente continua. Supongamos ahora que para un uso determinado se necesita corriente alterna, o bien, no hace falta que empleemos corriente continua (como, por ejemplo, en la alimentación de filamentos de válvulas electrónicas de caldeo directo); si por exigencias del aparato a que se destinan estas válvulas se necesita que la tensión alterna aplicada no exceda de cierto valor y se mantenga constante en él dentro de cada alternancia, puede adoptarse

un circuito estabilizador con diodos Zener en la forma que indica la figura.

Cuando en el secundario del transformador está presente la semionda positiva, el diodo Z_1 está polarizado, por ejemplo, en sentido inverso; luego no conduce y la corriente pasa por la carga; pero cuando el valor instantáneo de la tensión de esta alternancia alcanza el valor de Zener del diodo Z_1 , éste conduce por avalancha, porque la corriente puede circular por el diodo Z_2 que está conectado en sentido directo, con lo que se produce una diferencia de tensión que, restada de la instantánea de la alternancia, mantiene en los bornes de la carga un valor estable



(el de Zener) durante esta alternancia positiva.

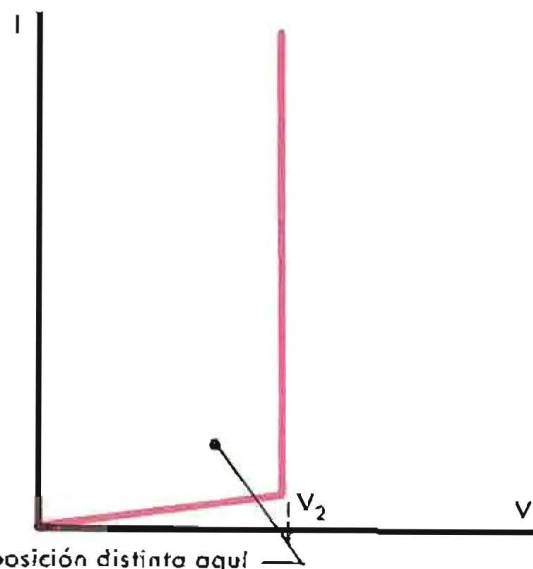
Igualmente durante el inicio de la alternancia negativa el diodo Z_2 se halla conectado en sentido inverso y no conduce, por lo que la corriente circula por la carga; pero cuando el valor instantáneo de la tensión de la alternancia alcanza el valor de Zener, este diodo Z_2 conduce por avalancha. La corriente de avalancha puede circular por el diodo Z_1 , que en este caso está conectado en sentido directo, y produce una diferencia de tensión que, restada de la instantánea de la alternancia, mantiene en los bornes de la carga un valor constante de Zener durante esta alternancia negativa.

Con ello, a la salida de la conexión estabilizadora con los dos diodos Zener en oposición se obtiene una tensión alterna, cuyo valor se mantiene constante a la tensión Zener de los diodos, como muestra la onda del dibujo.

APLICACIONES EN CORRIENTE CONTINUA

El diodo Zener tiene la particularidad de producir un efecto de filtro muy parecido a la de un condensador electrolítico (impedancia muy baja). Además de su efecto de filtro, si se coloca en derivación en el circuito limita la tensión en el mismo a la tensión de su código de Zener.

El montaje de la figura permite aplicar a la carga una tensión continua uniforme, cualesquiera que sean, dentro de ciertos límites, las variaciones de la tensión de entrada. Para comprender cómo funciona debemos fijar nuestra atención en la zona de característica inversa, que reproducimos de nuevo situándola en otra posición para mayor comodidad:



Es fácil percatarse de que la resistencia de limitación R_L y el diodo constituyen un divisor de tensión del mismo tipo que el constituido por un triodo y su resistencia de carga; de manera que si se pretende saber cómo se reparte la tensión entre R_L y el diodo se emplea el método gráfico descrito en la lección 16, lo que nos conduce al gráfico siguiente.

Dado que la tensión de entrada es de 15 V y la de Zener de 10 V, se ve que la tensión en el diodo es de 10 V y la tensión en extremos de R_L de 5 V. Si por cualquier causa la tensión de entrada pasa a ser mayor, de 17 V por ejemplo, la nueva recta de carga para R_L sigue dando un punto de intersección con la misma abscisa que el anterior, de manera que la tensión es en el diodo de 10 V y de 7 V en la resistencia. La variación de tensión ha sido, pues, totalmente absorbida por la resistencia de limitación. Puesto que la carga está en paralelo con el diodo, la tensión aplicada a ella es invariable.

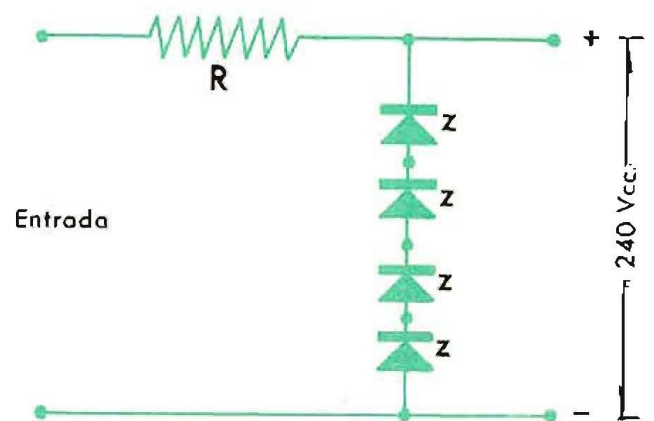
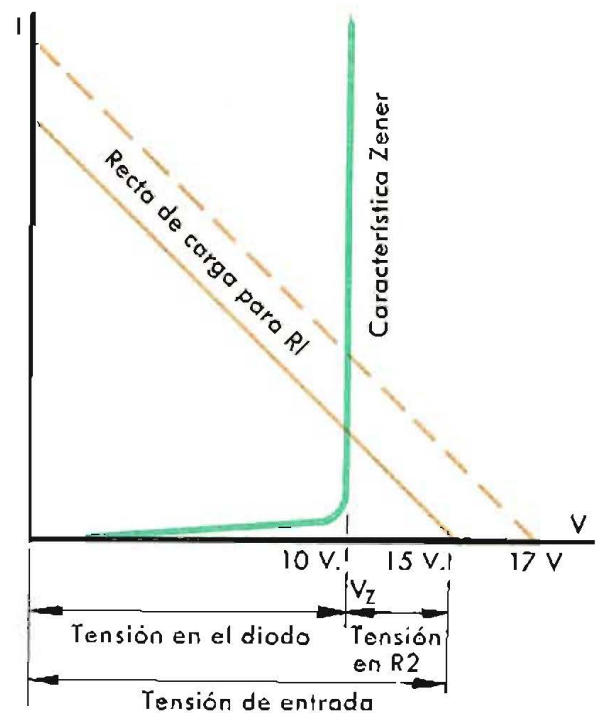
Desde luego, si se quiere que la tensión en bornes de salida (en bornes de la carga) no exceda de cierto valor dado, debe elegirse un diodo cuyo codo de Zener se produzca al valor de tensión citado. Si la tensión a estabilizar es muy elevada y no se encuentran diodos Zener con codo situado en una tensión inversa tan elevada, pueden disponerse varios en serie, de forma que la suma de sus tensiones inversas de Zener dé el valor de la tensión a estabilizar.

Cada uno de tales diodos montados en serie soporta en sus terminales una parte definida de la tensión total. Es decir, la cadena de diodos equivale a un divisor de tensión continua formado por resistencias.

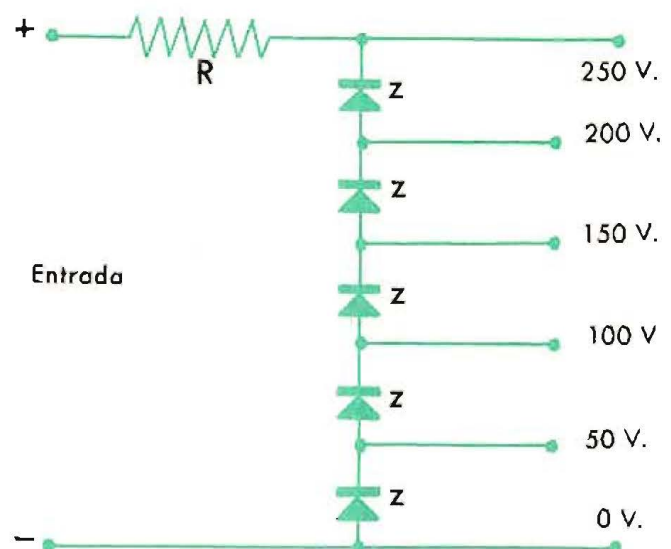
Aunque el precio de los diodos Zener es más elevado que el de un divisor de tensión por resistencias, este último consume mucha corriente, que disipa en forma de calor por efecto Joule; y los diodos Z no. Además, un divisor de tensión con diodos Zener proporciona tensiones intermedias perfectamente estabilizadas a valores prefijados.

Hemos descrito un divisor estabilizado, fijo, con valores escalonados de tensión; pero también podemos pensar en un divisor de tensión que pueda regularse y estabilizarse al valor ajustado, como se indica en la figura siguiente.

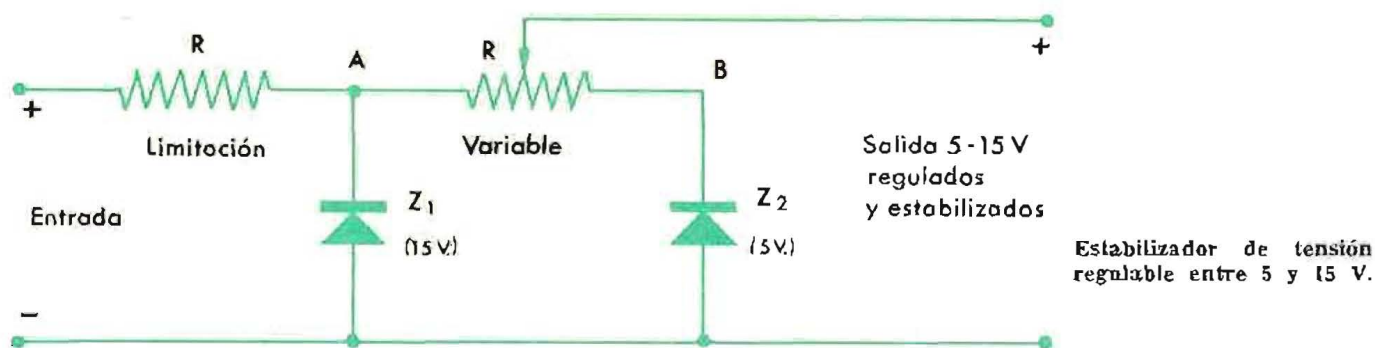
En este montaje el primer diodo estabiliza en 15 V la tensión en el punto A; y el segundo la estabiliza en 5 V en el punto B. Así, la caída de tensión en la resistencia variable es de exactamente 10 V. Según sea la posición del contacto



Estabilización de una tensión continua de 240 V por medio de cuatro diodos Zener de 60 V de tensión inversa de Zener.



Divisor de tensión estabilizado con diodos de Zener de 50 V.

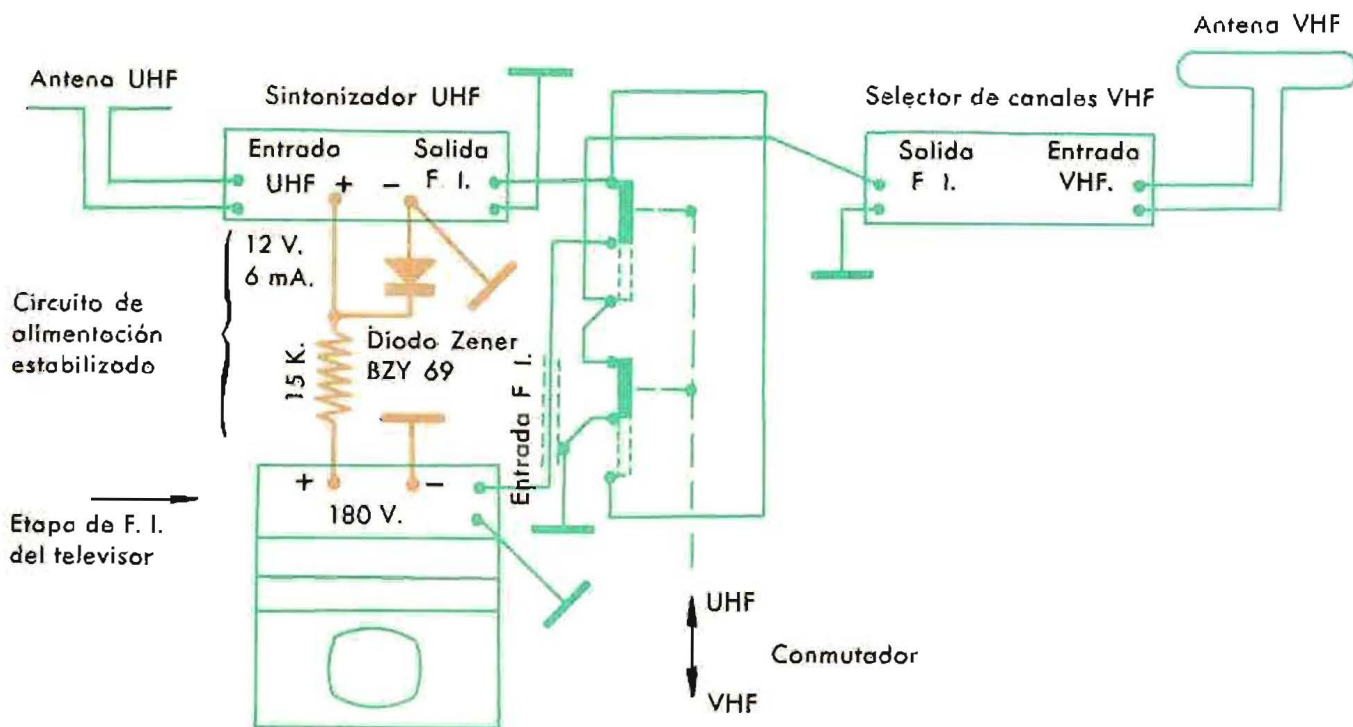



móvil del potenciómetro se obtiene una tensión estabilizada de valor comprendido entre 5 y 15 V en bornes de salida.

Otra aplicación, hoy día muy en boga por la introducción del segundo programa (UHF) de TV, es la alimentación estabilizada del sintonizador, convertidor o adaptador de UHF al televisor de VHF. Por lo general las unidades sintonizadoras-conversoras con transistores deben alimentarse a la tensión de 13 V c.c.

Si el sintonizador se instala dentro del mismo

muelle se obtienen los 13 V c.c. a partir de los 160 ó 180 V c.c. de que se dispone en la alimentación del circuito de frecuencia intermedia, por ejemplo; y si el sintonizador forma parte de un adaptador independiente que se conecta a la entrada de antena del televisor, la alimentación se efectúa a partir de un diminuto rectificador. En cada uno de los dos casos es muy aconsejable estabilizar esta tensión de alimentación de 13 V para proteger a los dos transistores del sintonizador y para que trabajen en forma correcta.





El transistor
Teoría de funcionamiento
Transistores de puntas y
transistores de unión
Características del transistor
Los tres circuitos fundamentales

LECCION 40

El transistor Teoría del transistor

El transistor es un dispositivo semiconductor con tres terminales, equivalente al triodo termoiónico o válvula de vacío.

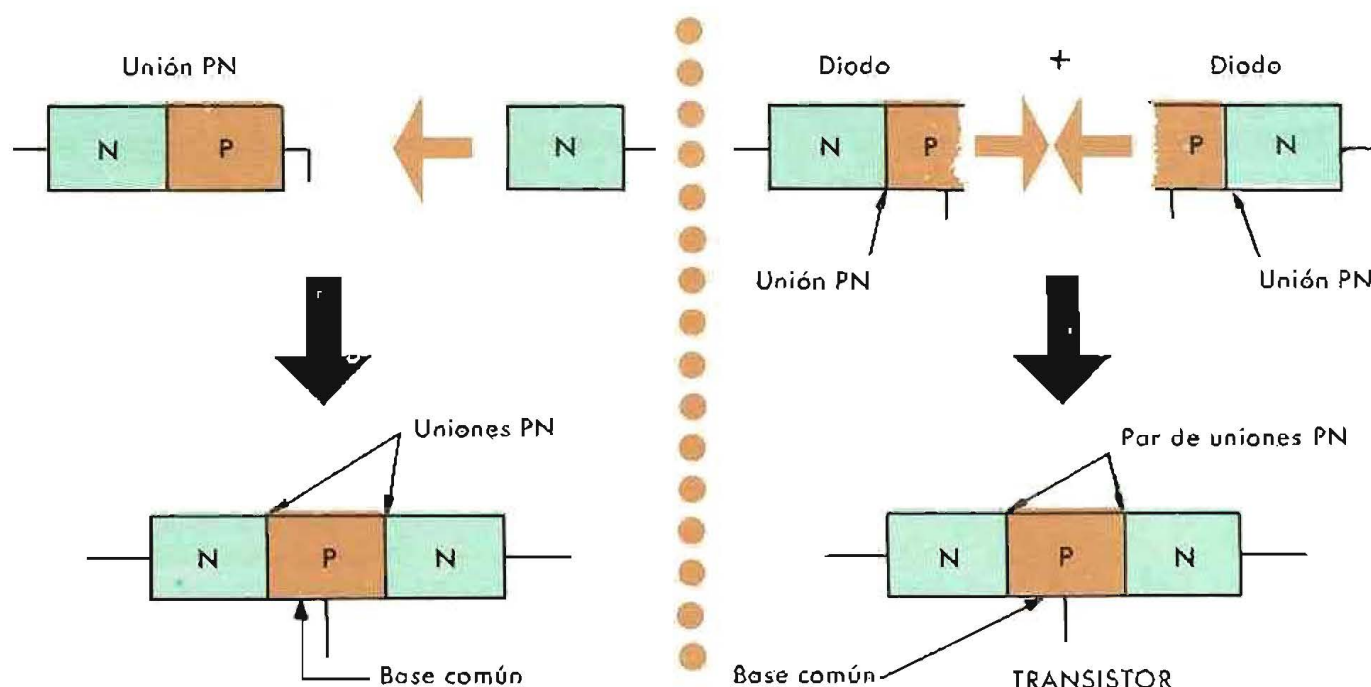
Fue inventado en 1947 por los físicos americanos Bardeen y Brattain, en los laboratorios de la Bell Telephone Company, que lo dieron a conocer como un nuevo método de amplificar una señal eléctrica.

El funcionamiento de estos amplificadores se basa en la teoría de los semiconductores y, en especial, en la de las uniones PN, que ya ha sido descrita. Importa mucho haber comprendido bien la forma en que se produce la conducción electrónica (electrones y huecos) en un diodo de cristal, ya que un transistor no es sino un par de uniones PN con una base común; según que la base común sea de tipo N o P, el transistor es de tipo PNP o NPN respectivamente.

Por ejemplo, supongamos que a un diodo semiconductor o unión PN, formado por material tipo P en contacto con material tipo N, se agrega de nuevo un material tipo N que haga contacto con el material P del diodo original. Encontraremos que el material P del diodo hace contacto con el material N del diodo por un lado y con el nuevo material N por el otro. Es decir, un mismo material P forma uniones con uno y otro material N. Así se constituye un transistor, que en este caso es del tipo NPN, ya que el material P es común a las dos uniones PN.

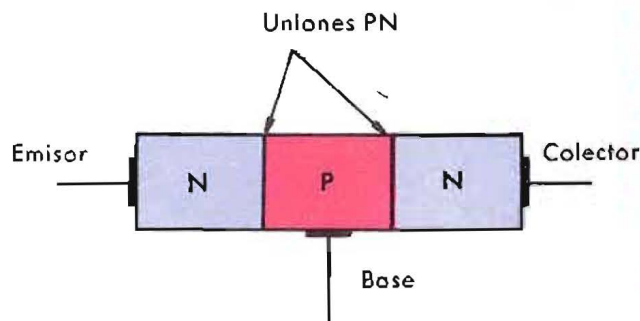
Hemos indicado que el transistor es un amplificador electrónico, con tres terminales. Cada uno de éstos se conecta a cada uno de los tres materiales que, como hemos indicado, forman el par de uniones PN que es un transistor.

Al material común a las dos uniones se le

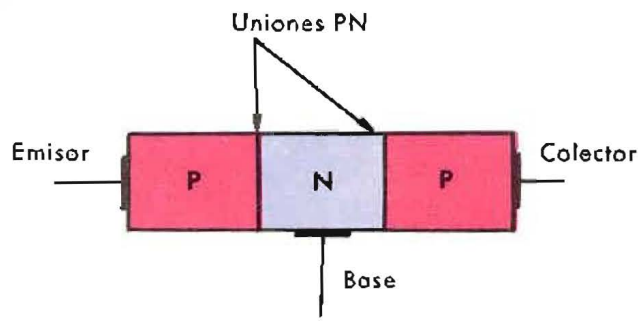


Formación de un transistor NPN.

TRANSISTOR NPN



TRANSISTOR PNP



El transistor es un dispositivo semiconductor con tres terminales: **BASE**, que conecta el material central o común al par de uniones PN; **EMISOR** y **COLECTOR**, que conectan a los materiales extremos o materiales independientes de las dos uniones PN.

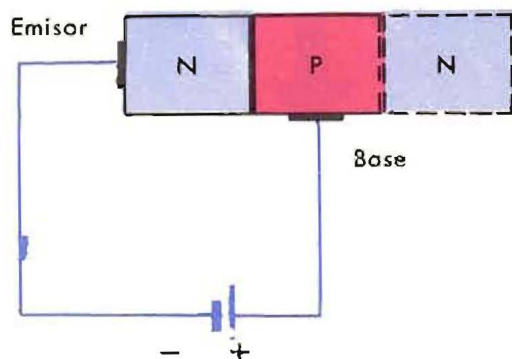
conecta un terminal que se denomina *base*; a cada uno de los dos materiales extremos, o materiales independientes de las dos uniones, se les conectan los correspondientes terminales, uno de los cuales es *emisor* y el otro *colector*.

Para comprender el funcionamiento de un transistor ha de estudiarse el de cada una de las dos uniones PN o diodos que lo componen. Supongamos un transistor NPN; es decir, con *emisor* y *colector* de material N y base de material P. Si al diodo elemental (unión PN) emisor-base se conecta una fuente de alimentación de corriente continua (por ejemplo, una pila) en el sentido directo —es decir, el polo positivo al terminal *base* y el polo negativo al terminal *emisor*—, el diodo conduce. La intensidad de la corriente conducida está en función del campo eléctrico aplicado; es decir, de la tensión en bornes de la batería.

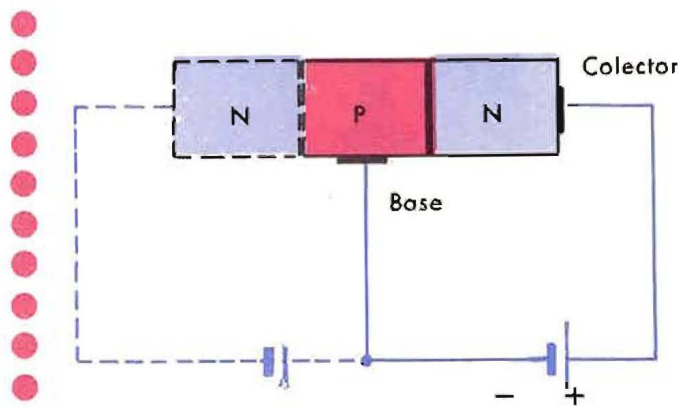
Consideremos ahora la segunda unión PN o

diodo base-colector: si se aplica una tensión continua polarizada en sentido inverso —es decir, el polo positivo al colector (material N) y el negativo a la base (material P)—, es lógico que este diodo no conduzca (bloqueará), salvo una débil corriente de fuga.

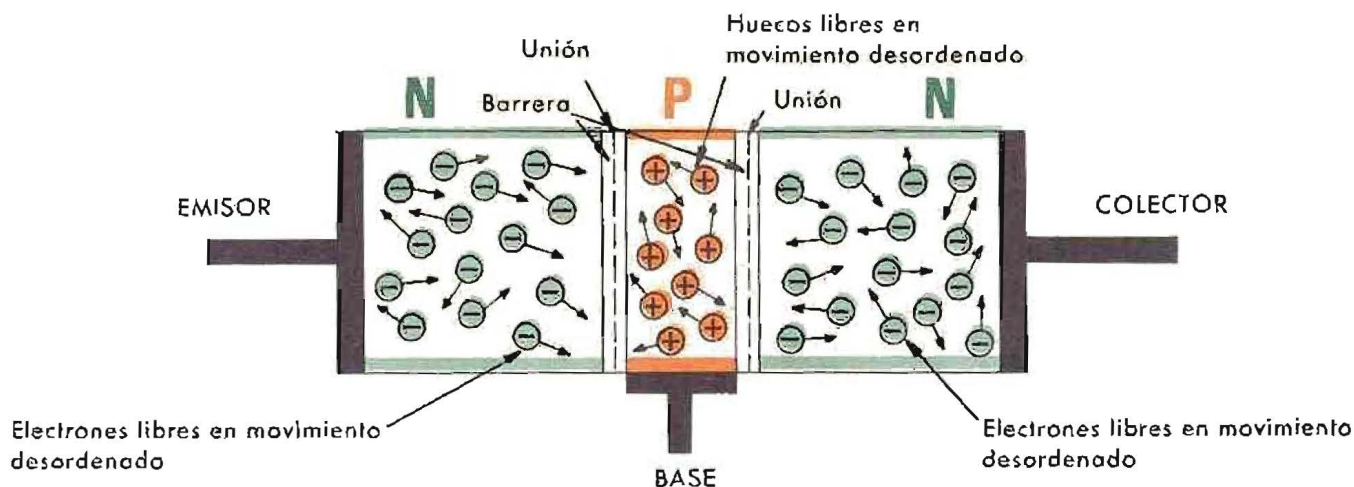
En los dos ejemplos que anteceden hemos analizado el comportamiento general de los dos diodos que forman un transistor cuando se les aplican las polaridades a que se somete normalmente el transistor, de lo que volveremos a tratar más adelante. Ahora supongamos el transistor como formado por tres capas de material semiconductor N, P y N, en estado de reposo; es decir, sin aportar energía alguna a las dos uniones PN. Sabemos que los electrones libres de un material y los huecos del otro se encuentran en movimiento desordenado, formando una nube; que unos y otros se atraen y en la línea de unión se combinan



El diodo emisor-base está polarizado en sentido directo, es decir, el polo + de la batería con el material P y el polo negativo —con el N. **EL DIODO CONDUCE.**



El diodo colector-base está polarizado en sentido inverso; es decir, el polo + de la batería con el material N y el polo negativo —con el P. **EL DIODO BLOQUEA.**

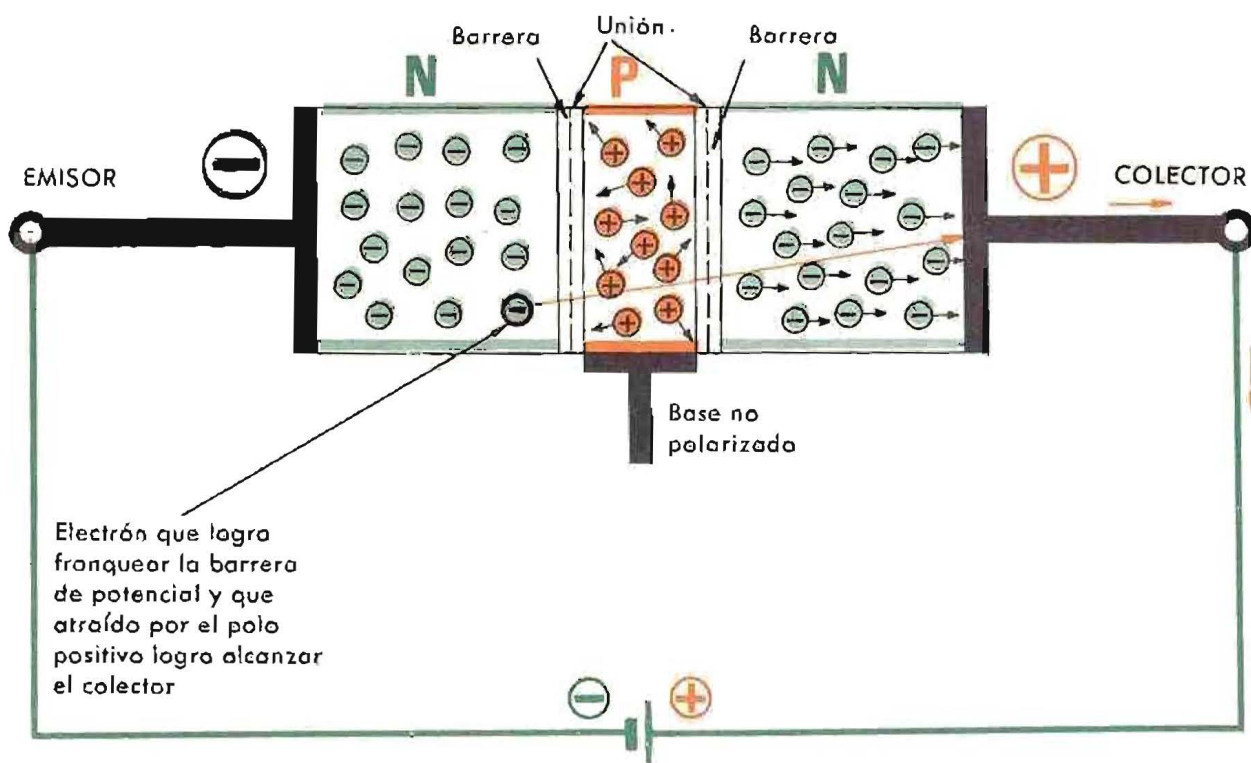


Transistor NPN en reposo.

entre sí (electrones-huecos), formando una barrera que a su vez repele a uno y otro lado a portadores de cargas positivos y negativos.

Apliquemos ahora una tensión continua entre el emisor y el colector, dejando por el momento sin polarizar la conexión de base. Conectemos el polo positivo al colector y el negativo al emisor, con lo que los electrones libres del emisor son repelidos, y los del colector, al contrario, son atraídos. O sea que se produce un desplazamiento conjunto de las cargas en dirección emisor a co-

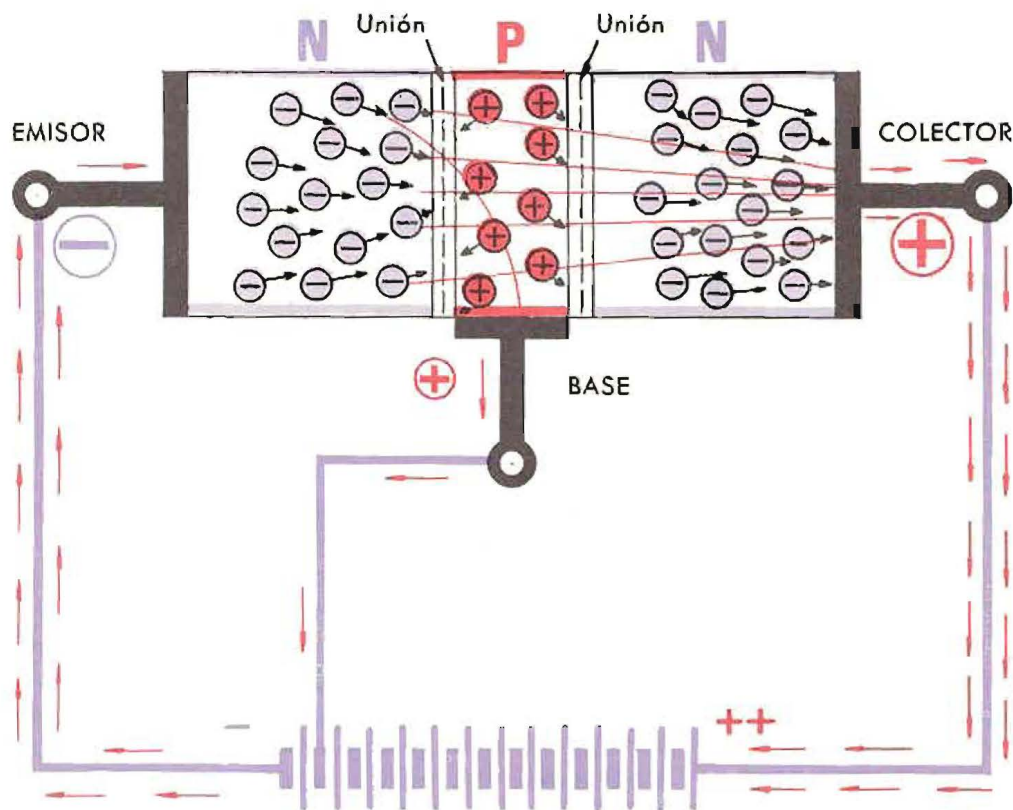
lector; no obstante, los electrones del emisor no poseen suficiente energía para atravesar las barreras de las uniones, que los repelen, y por ello no llega a producirse ninguna conducción electrónica apreciable. Sólo unos poquitos de electrones del emisor franquean la barrera de potencial constituida por la primera unión, en cuyo momento se encuentran atraídos por el polo positivo y alcanzan finalmente el colector; no obstante, se comprende que esta corriente es tan débil que podría considerarse como una corriente de fuga.



Transistor NPN polarizado solamente en el emisor y en el colector.

Vemos que el principal abastáculo para que los electrones libres del emisor alcancen el colector, se encuentra en la primera barrera de potencial, pues en cuanto lo hayan franqueado estarán bajo la influencia del campo eléctrico del polo positivo,

que los atraerá al colector. Para ayudarles se aplica a la base una tensión débilmente positiva con respecto al potencial del emisor (es decir, tal como se indicó, en polarizar el diodo emisor-base en sentido directo).



Transistor NPN polarizado en sus tres terminales. La base, polarizada con signo positivo con relación al emisor, acelera los electrones libres de éste, los cuales pueden atravesar más o menos fácilmente la unión PN al igual que en un diodo, con tendencia a dirigirse a la base; pero cuando se encuentran en el material P se sienten fuertemente atraídos por el polo mucho más positivo del colector que de la base, por lo que muchos electrones se dirigen al colector y sólo unos pocos a la base. La corriente que pasa por la base es proporcional a la que pasa por el colector; es decir, el efecto emisor-base queda amplificado en el efecto emisor-colector.

En efecto, tal como se indicó para el diodo emisor-base, si se aplica una tensión positiva a la base (tipo P) con relación al emisor (tipo N), los electrones libres de éste se excitan y logran saltar la barrera de potencial entre los dos elementos con intención de dirigirse a la base; pero, bajo el influjo del campo eléctrico muy positivo del colector, muchos pasan por la segunda barrera de potencial (base-colector) al ser atraídos por el polo del colector, mucho más positivo que el de la base, y se dirigen hacia aquél. En definitiva, se ha logrado que los electrones del emisor alcancen el colector; es decir, existe conducción electrónica por el transistor.

Desde luego, unos pocos electrones se sustraen a la influencia del colector y entran por el electrodo de la base. La cuantía de electrones que se dirijan a la base o al colector depende de la proporción en que el colector esté polarizado más positivamente que la base.

Si se aplica a la base una tensión positiva del mismo valor que la que se aplique al colector, prácticamente ningún electrón del emisor se diri-

ge al colector, ya que todos escogen el camino más corto de la base, la cual influye mucho más por estar más cerca del emisor que el colector.

Si se aplica a la base una tensión positiva de valor muy bajo, el justamente necesario para hacer salvar la barrera a los electrones, éstos, una vez hayan saltado, se dirigen en gran proporción al colector, al que se ha aplicado una tensión positiva de valor mucho más elevado que el de la base.

Si se varía la débil tensión positiva aplicada a la base, varía el número de los muchos electrones que alcanzan el colector. Es decir, las débiles variaciones que se introduzcan en el cátodo quedan amplificadas en mayor o menor proporción en el colector, del mismo modo que en una válvula triodo se varía en gran proporción la corriente electrónica que circula de cátodo a ánodo cuando se varía la débil tensión de rejilla.

Resumiendo: la polarización de la base no hace más que facilitar el paso de los electrones libres del emisor a través de la unión; sólo una pequeña parte de estas cargas llega realmente a

la conexión exterior de la base y las otras, que son mayoría, alcanzan el colector. La base de un transistor equivale, pues, a la rejilla de mando de una válvula termoiónica.

Si suponemos que un total de diez electrones atraviesa la primera barrera (la del emisor-base), en un instante dado, sólo dos, por ejemplo, son verdaderamente captados por la base; los ocho restantes, antes de llegar a ella, son fuertemente atraídos (succionados) por el colector. Los dos electrones captados por la base constituyen la corriente de base; puesto que la tensión aplicada a ésta es la que gobierna la conducción emisor-colector, también puede llamarse *corriente de mando*.

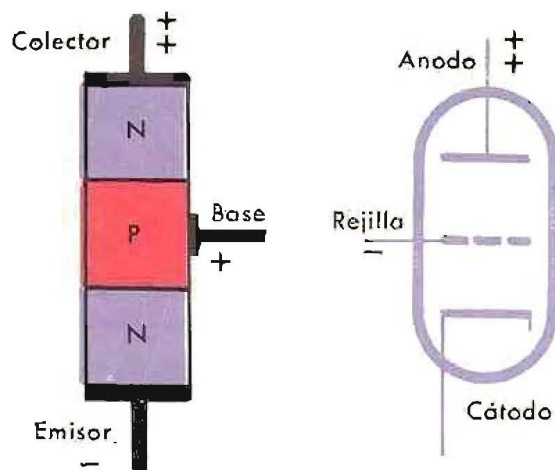
Esta corriente de mando resulta amplificada, puesto que, en el ejemplo anterior, por cada dos electrones que circulan por la base hay ocho que lo hacen por el colector; en este caso la amplificación es de 4. En la realidad, los coeficientes de amplificación de los transistores son de 10 como mínimo y en algunos llegan a ser de incluso 200.

Desde luego, la amplificación de corriente en un transistor es tanto más elevada cuanto menor sea el número de electrones captados por la base en proporción con los que alcanzan el colector. Ello se consigue haciendo que el espesor de la capa de base sea el menor posible; así, una vez el electrón franquea la unión emisor-base se encuentra tan cerca del material del colector sometido a su polo positivo que se siente fuertemente atraído por este; y en comparación, la influencia del electrodo de base es muy débil.

Hasta aquí hemos hablado de una polarización de base débilmente positiva y de una polarización de colector muy positiva. Esto es así en valores relativos (comparándolos entre sí); pero en valores absolutos la polarización de colector es de unos pocos voltios y la de base de unas décimas de voltio. La proporción entre una y otra es aproximadamente de 10 a 50 veces.

El emisor, base y colector de un transistor pueden compararse con el cátodo, rejilla y ánodo de una válvula electrónica. Igualmente puede hablarse de la pendiente de un transistor, a semejanza de la válvula, que en aquél es la relación entre una variación de corriente de colector y la variación correspondiente de la tensión aplicada entre emisor y base.

Una de las diferencias que existen entre el transistor y la válvula es que en aquél la base es ligeramente positiva con relación al emisor; en la válvula, la rejilla es ligeramente negativa con relación al cátodo.



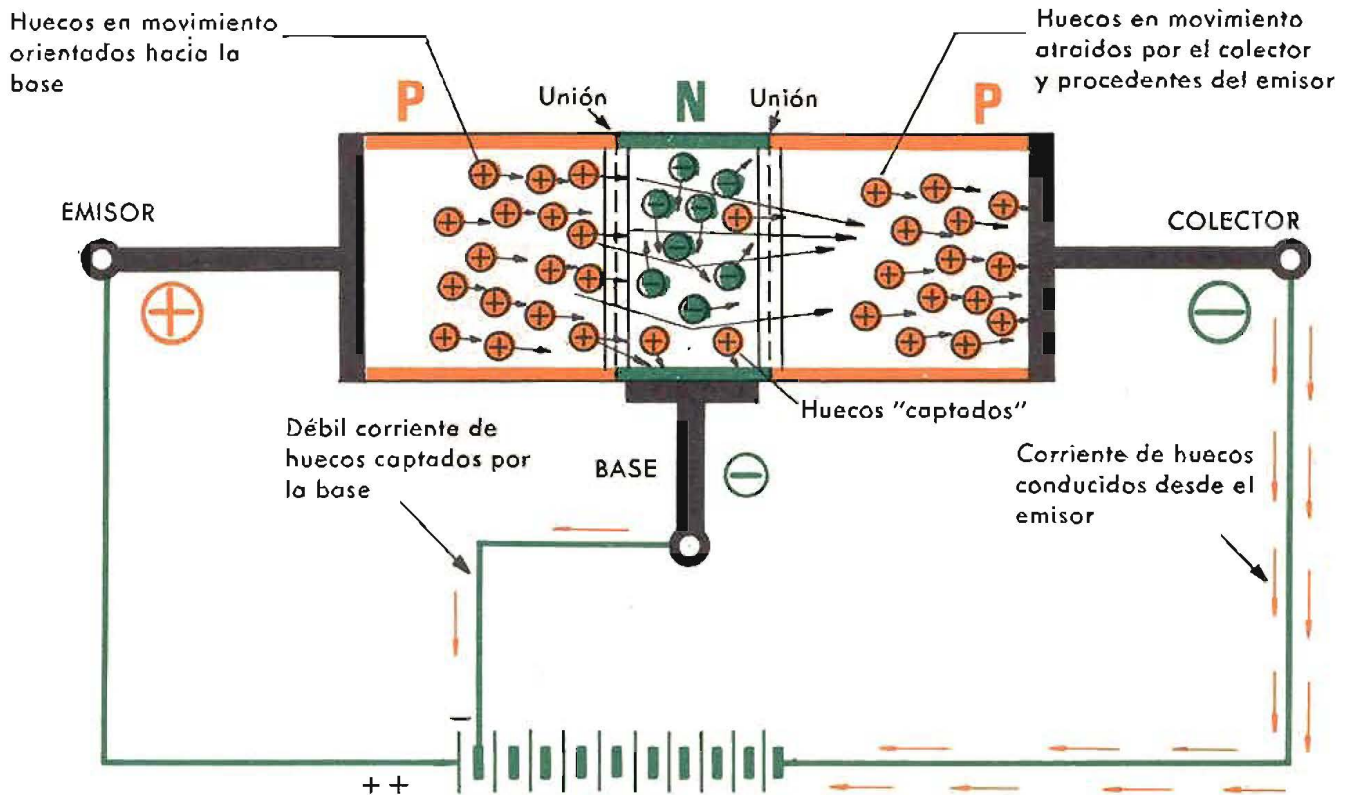
Un transistor es comparable a una válvula triodo. Las variaciones de corriente de base (rejilla) quedan amplificadas en el colector (ánodo). La base (rejilla) gobierna la conducción electrónica de emisor a colector (de cátodo a ánodo).

El funcionamiento de un transistor ha sido explicado para el tipo NPN, que actúa por medio de una corriente de electrones. El mismo principio se aplica en los transistores de tipo PNP, aunque en este caso la conducción electrónica está constituida por una corriente de *huecos* (lo que equivale a decir una corriente de electrones en el sentido opuesto), por lo cual deberá invertir la polaridad de las baterías que suministran las tensiones base-colector y base-emisor.

En el transistor PNP las tres capas también se denominan emisor, base y colector, respectivamente. La capa intermedia de base también es sumamente delgada; y aunque en principio no existe diferencia entre emisor y colector, como en el transistor NPN, en la construcción sí la hay, como veremos más adelante.

Igualmente, el diodo emisor-base se conecta en la dirección de paso y el diodo colector-base en la de bloqueo. El emisor se conecta, en este caso, al polo positivo de la batería y el colector al negativo; la base se conecta a una tensión ligeramente menos positiva que la del emisor (ligeramente negativa con relación al emisor). En cifras absolutas, diremos que la base estará polarizada *negativamente* en unas décimas de voltio y el colector en algunos voltios.

Descrito de modo sucinto, el funcionamiento del transistor PNP, a semejanza del NPN, es el siguiente: en la superficie de contacto entre colector y base se forma una capa de bloqueo, ya que el diodo colector-base está polarizado en el

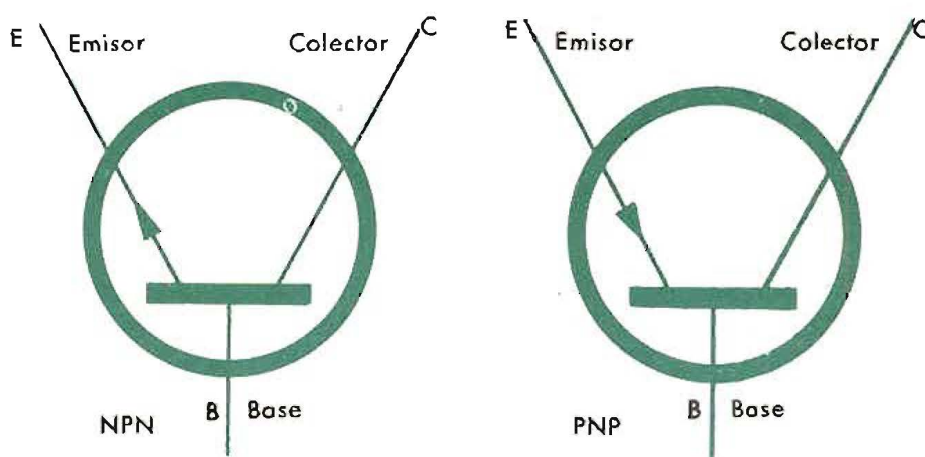


Transistor PNP polarizado en sus tres terminales.

sentido de la *no conducción*; el colector repele los electrones libres de la base (material N) y la base rechaza los huecos móviles del colector (material P), de forma análoga al cristal o unión PN conectada en sentido inverso. Por otra parte, al estar conectado el diodo emisor-base en la dirección de paso, la zona P (el emisor) atrae los electrones de la zona N (la base); reciprocamente, los huecos del emisor son solicitados por la base polarizada un poco negativamente con relación al emisor, lo que da lugar a una corriente de huecos hacia la base (de la misma forma que en el

transistor NPN se producía una corriente de electrones también hacia la base).

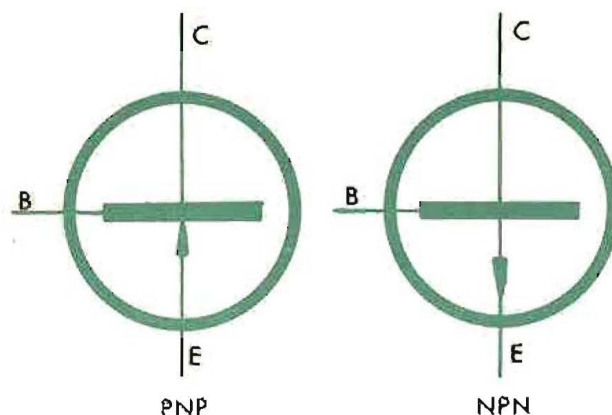
Como también en este caso la base (de tipo N) es muy delgada, la mayor parte de huecos que *saltan* la unión emisor-base se encuentran en seguida bajo la influencia del polo fuertemente negativo del colector y se dirigen hacia él. Igualmente, sólo unos pocos huecos son captados por la base; la relación entre los muchos que se dirigen al colector y los pocos que son captados por dicha base da el coeficiente de amplificación del transistor PNP.



Símbolo gráfico del transistor. El sentido de la flecha indica el sentido de circulación de la corriente de huecos; por ella se interpreta si se trata de un transistor NPN o PNP.

En los esquemas se dibuja el transistor dentro de un círculo que representa la cápsula (a veces se omite, del mismo modo que en la representación de válvulas a veces no se representa la ampolla). Dentro de este círculo, la base *b* se designa por medio de un trazo horizontal o vertical del que parten en direcciones separadas dos trazos oblicuos: uno representa al emisor *e* y el otro al colector *c*. El trazo oblicuo del emisor termina en una flecha que según sea su sentido indica la dirección de la corriente de huecos. Así, en el transistor PNP esta corriente de huecos circula hacia la base, y en ese sentido se dibuja la flecha; en el NPN la corriente de huecos circula en la dirección opuesta (es decir, los electrones van del emisor a la base), por lo que la flecha indica que los huecos se alejan de la base.

Finalmente, una observación a tener en cuenta: hemos tratado la teoría del transistor como si estuviera formado por tres placas de material semiconductor entre las cuales se forman las dos



Otro tipo de símbolos también utilizados para la representación de transistores.

uniones PN. En la realidad el transistor está formado por una placa de material semiconductor, que se trata de una manera u otra para conseguir la formación de las otras dos zonas en el mismo material, como veremos más adelante.

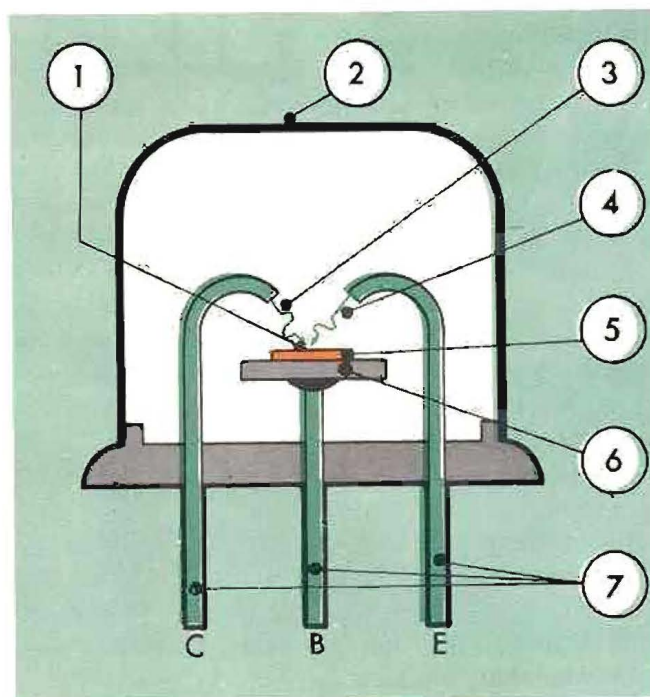
EL TRANSISTOR DE PUNTAS DE CONTACTO

El dispositivo amplificador semiconductor con tres terminales, que Bardeen y Brattain anunciaron en 1948 que habían inventado, era un elemento electrónico similar al diodo de cristal, pero con dos puntas metálicas separadas entre sí 0'05 mm aproximadamente que hacían contacto con una pastilla de germanio.

En el transistor de puntas de contacto podemos considerar unas áreas de contacto, o zonas de influencia, que se comportan como uniones. Por ello el principio de este transistor, similar al más conocido de unión, fue descrito por sus uniones o barreras de potencial.

En la actualidad este transistor ha perdido importancia, por haber mejorado en gran manera la técnica de fabricación de los transistores de unión; sin embargo, para ciertas aplicaciones especiales se emplea con ventaja y se desarrollan nuevos tipos.

El transistor de puntas de contacto consta en esencia de un trozo de cristal semiconductor (casi siempre de germanio) de tipo N o P (según se trate de un transistor PNP o NPN), de unos $2 \times 2 \times 1$ mm, que forma la base del transistor, en el que se apoyan dos puntas metálicas (hilos finísimos de tungsteno) separadas entre sí 0'05 milímetros. Una de las puntas actúa como emisor que introduce electrones libres o huecos en el material base (según se trate de un transistor

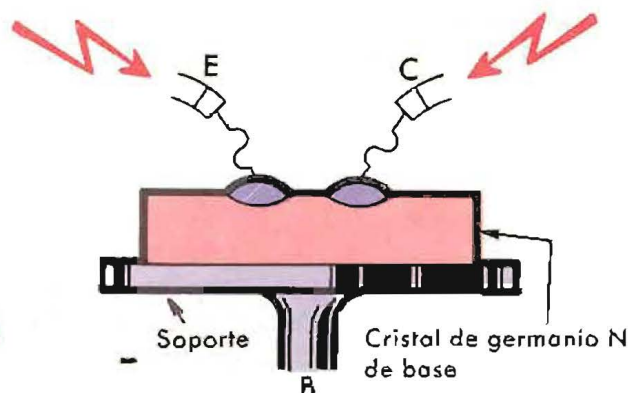


Transistor de puntas de contacto.
1. Puntas del emisor y colector separadas 0'05 mm en la zona de contacto. — 2. Cápsula metálica o de plástico. — 3. Emisor (hilo finísimo de tungsteno). — 4. Colector (hilo finísimo de tungsteno). — 5. Cristal de germanio. — 6. Soporte metálico del cristal (base del transistor). — 7. Terminales para conexión.

NPN o PNP); la otra actúa como colector *reco-
giendo* electrones o huecos.

Para formar el transistor se aplican impulsos de corriente en las puntas, lo que tiene por efecto que éstas introduzcan impurezas en el cristal de germanio de base creando zonas de unión alrededor de dichas puntas. (Si el cristal de base es de tipo P se crean zonas de tipo N y viceversa.)

La aplicación de impulsos de corriente a las puntas de emisor y colector cambia en las respectivas zonas de contacto la estructura del cristal semiconductor de base, creando así el par de uniones PN.



LOS TRANSISTORES DE UNION

La reducida potencia de salida de los primeros transistores de puntas de contacto limitó su empleo a algunos aparatos especiales (audífonos para combatir la sordera, aparatos de medida, aparatos militares, pequeños receptores de radio, etcétera). Por otra parte, los procedimientos de fabricación no les producían grandes series; como consecuencia los transistores no se encontraban con facilidad en el mercado y su precio era relativamente elevado.

En los últimos años se han desarrollado nuevas técnicas de fabricación gracias a las cuales los transistores son más asequibles y se fabrican en grandes series. Al propio tiempo, pueden manejar mayores potencias o trabajan satisfactoriamente en frecuencias cada vez más elevadas.

Aunque todos los transistores son de unión —precisamente su funcionamiento se debe a las dos uniones emisor-base y colector-base—, se conviene en llamar *transistores de unión* a todos los que están formados por capas superpuestas de material semiconductor, los cuales constituyen en la actualidad la mayor parte de los tipos que no son de *puntas de contacto*.

Los principios de muchas de las técnicas de fabricación de los transistores de unión son los mismos explicadas para los diodos de silicio (aleación, difusión, difusión epitaxial, epitaxial-mesa, epitaxial-planar, etc.).

Lo mismo que en los diodos de silicio, toda técnica de unión se basa en un tratamiento apli-

cado siempre a una pequeña placa o disco de material semiconductor. Este material de base debe ser monocristalino; es decir, de estructura cristalina regular para que sea posible sustituir a voluntad y con cierta exactitud algunos átomos del material por otros de impurezas bien definidas (donadores o aceptores) y formar así los materiales semiconductores N o P.

Los materiales semiconductores más empleados en la fabricación de transistores son el germanio y el silicio. Una vez se ha refinado o purificado en alto grado el mineral, sea obtenido de la naturaleza o por procesos industriales, se prepara en barras o bastones y se introduce en un horno para proceder a una nueva purificación.

Una vez se obtiene el material que puede estimarse prácticamente puro, se funde de nuevo el metal semiconductor y se le agregan en proporciones bien establecidas las impurezas donadoras oceptoras elegidas para convertir el semiconductor en tipo P o N.

Del lingote o barra así obtenida se cortan delgadas placas o discos, que a su vez se tratan del modo conveniente, por algún proceso técnico, para formar el transistor.

De hecho, los métodos de fabricación y la constitución de los transistores de unión son los mismos que los descritos para los diodos de silicio de unión en la lección anterior. La única diferencia reside en que el transistor tiene tres electrodos y el diodo solamente dos.

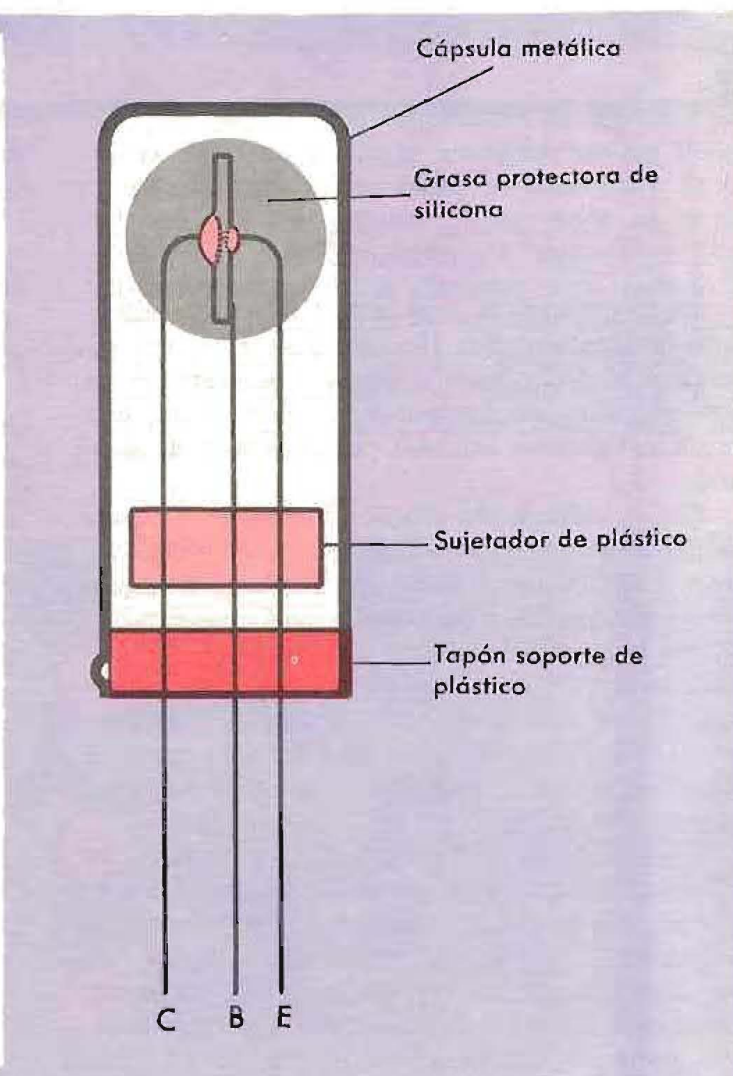
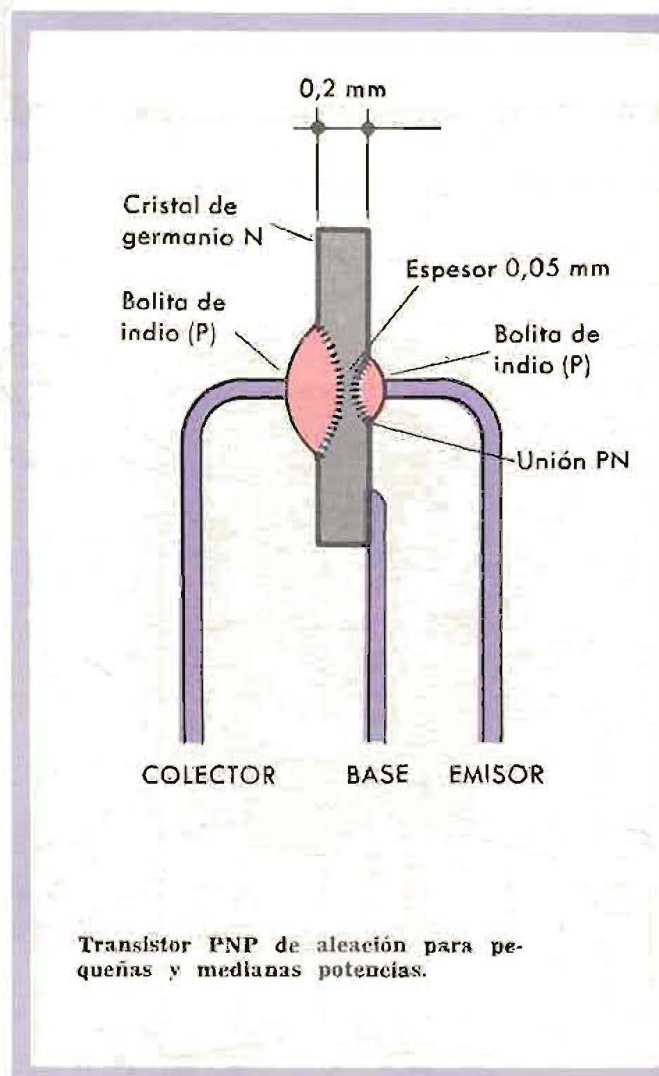
UNION POR ALEACION

La placa de cristal semiconductor N, preparada del modo que se ha explicado, constituye la

base del transistor, sobre cuyas caras se aplican el emisor y el colector en forma de dos bolitas

de material P (generalmente indio en los transistores de germanio y aluminio en los de silicio). El conjunto se introduce en el horno; a una temperatura bien determinada, se forma en cada cara una región o zona de aleación indio-germanio (o de aluminio-silicio) de características P, que con el cristal N forman las dos uniones PN típicas del transistor. La penetración en el cristal de las impurezas de indio o de aluminio depende de los tiempos y de las temperaturas de fusión y de enfriamiento o recristalización, que se regu-

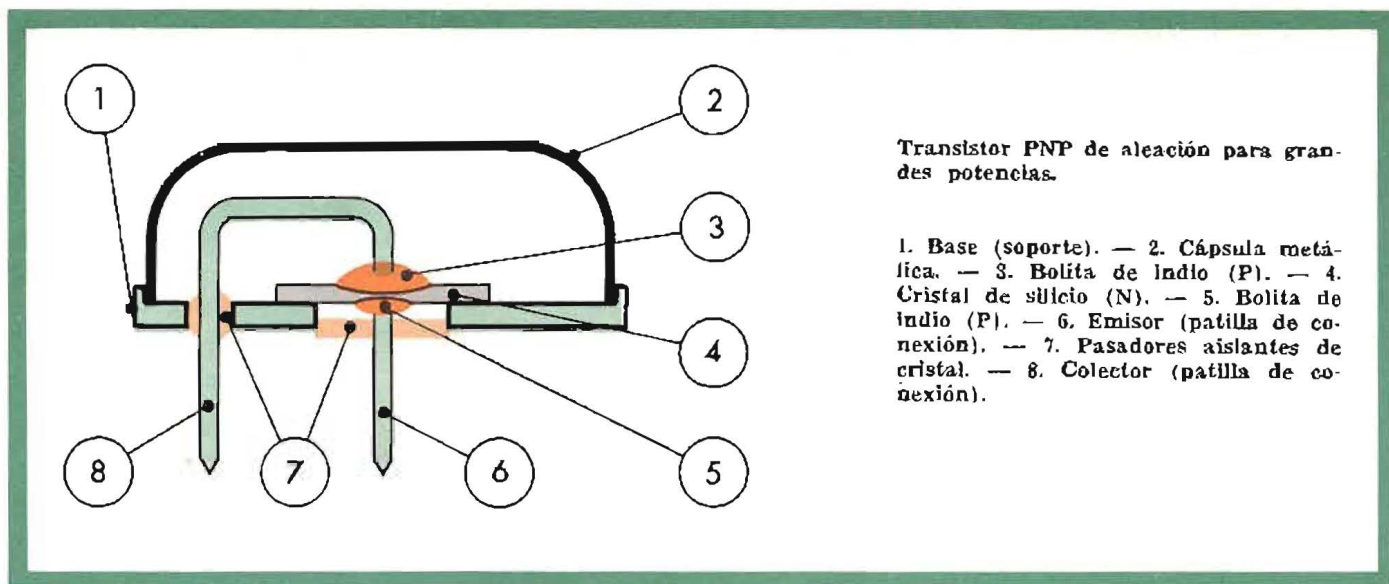
lan muy cuidadosamente para obtener una penetración suficiente y exacta en cada cara de forma que quede solamente una zona muy estrecha (0,05 mm) de cristal N de base. Las tres zonas se dotan de sus respectivos terminales de conexión, se recubren de grasa silicona para protección y se introducen en una cápsula que cierra herméticamente. La cápsula puede ser metálica, de material plástico opaco o de plástico traslúcido o transparente, en cuyo caso se recubre de laca negra.



Es lógico que la parte activa o corazón sea de mayores dimensiones en los transistores destinados a conducir potencias relativamente grandes. Muchas veces se suelda directamente el cristal semiconductor a un soporte (por lo general de níquel) de gran espesor y superficie, para disipar el calor producido.

Por el procedimiento de aleación se obtienen

transistores que poseen una elevada amplificación de corriente; pero las capacidades interelectrónicas debidas al grueso de la unión son relativamente elevadas, lo que limita su empleo a las frecuencias inferiores a 20 Mc/s. Esta limitación llevó al desarrollo de nuevos métodos de fabricación para producir transistores, que trabajasen en frecuencias muy elevadas.

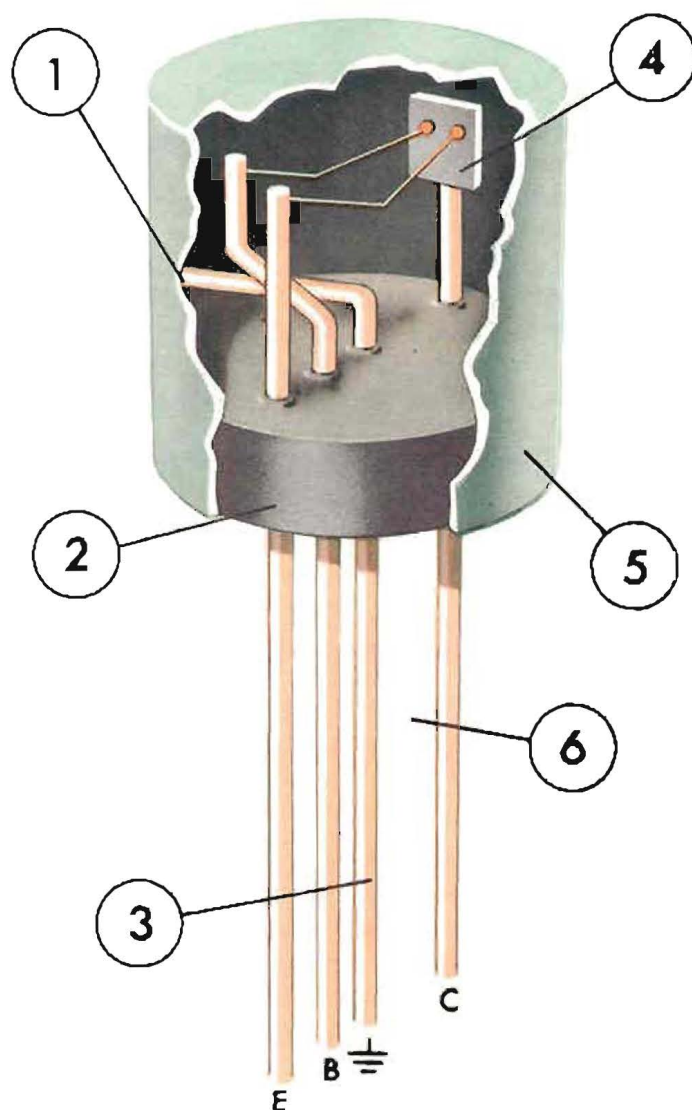


UNION POR DIFUSION

En la práctica es muy difícil fabricar transistores de aleación cuya frecuencia de corte sea superior a 20 Mc/s, pues el espesor necesario de la capa de base es demasiado pequeño para que pueda adelgazarse aun más por la técnica de aleación.

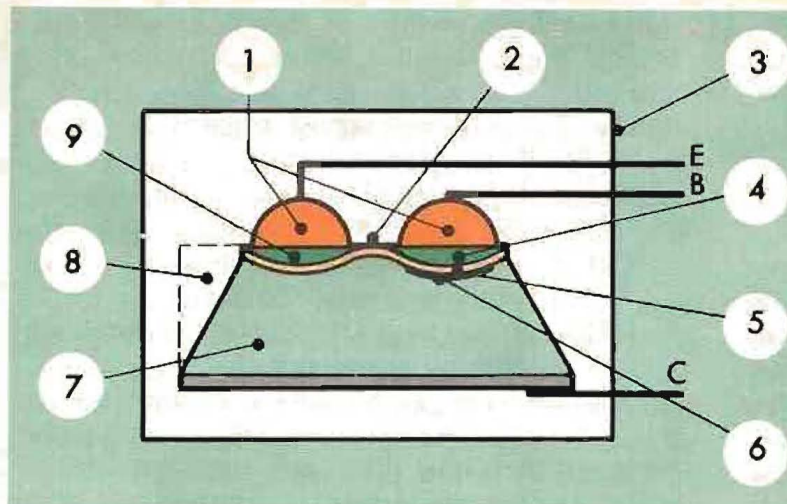
Por el método de difusión (digamos de paso que es muy lento) pueden conseguirse capas muy finas mediante un control preciso de la temperatura y tiempo de difusión. Se parte igualmente de una plaquita de cristal de germanio, en este caso, de tipo P, que constituye el colector. Sobre una sola cara de este cristal se colocan dos bolitas de indio, una de las cuales (el emisor) contiene impurezas de tipo P y N; la otra (la base) contiene impurezas de tipo N solamente.

Este conjunto se introduce en el horno. En las zonas limítrofes el germanio se disuelve con el indio; manteniendo durante cierto tiempo la temperatura precisa, se produce la difusión de las impurezas de las bolitas de indio. Es decir, los átomos de éstas penetran en el germanio sólido, pero las impurezas de tipo P de la bolita del emisor apenas se difunden. En cambio, las



Transistor de germanio de aleación difusa.

1. Conexión blindaje. — 2. Base o zócalo soporte de conexiones. — 3. Terminal de masa de blindaje. — 4. Cristal de germanio (colector). — 5. Cápsula metálica de blindaje y protección. — 6. Terminales.



Constitución física de un transistor de germanio PNP de aleación difusa para alta frecuencia (tipo mesa).

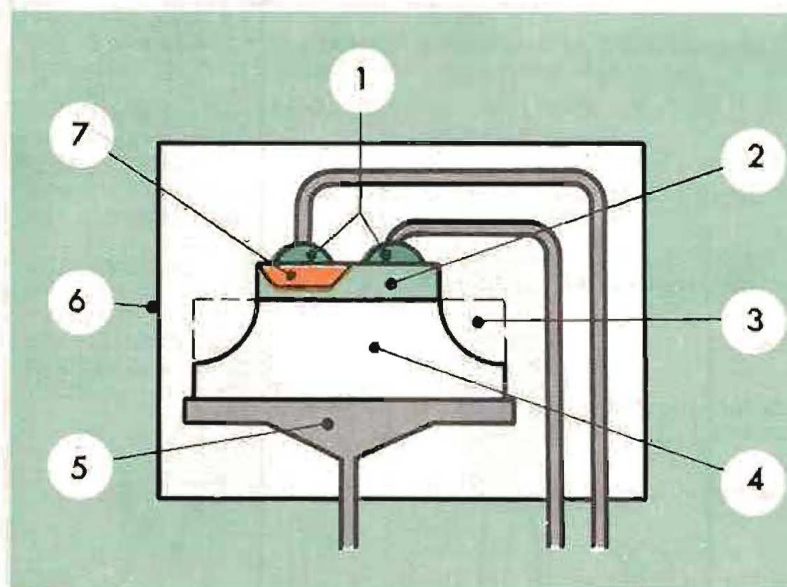
1. Bolitas de indio. — 2. Unión PN (emisor base). — 3. Cápsula metálica (blindaje alta frecuencia). — 4. Impurezas tipo N aún no difundidas. — 5. Capa difusa tipo N. — 6. Unión PN (colector base). — 7. Cristal de germanio tipo P. — 8. Zona recortada por corrosión. — 9. Capa de impurezas tipo P apenas difundidas.

de tipo N de esta misma bolita y de la base tienen una velocidad de difusión mucho más elevada y penetran en el germanio sólido, constituyendo una delgada capa N bajo las bolitas.

Como las uniones PN entre colector y base y entre emisor y base están constituidas por la capa difusa, que es finísima, la frecuencia de trabajo de estos transistores es muy elevada (70 Mc/s y aún mayor).

Existen otros procedimientos similares a los descritos aquí y al tratar de los diodos de silicio.

Al igual que en estos últimos, si se suprime gran parte de la capa difusa alrededor de las bolitas (especialmente la de base) se disminuye la superficie útil del colector, y por tanto su capacidad, y por ende se aumenta la aptitud de servicio a frecuencias más elevadas. Este recorte de material generalmente se efectúa por corrosión química. Por la forma que adopta el conjunto (recuérdese la del diodo de silicio correspondiente) se denomina a estos transistores como de *aleación difusa mesa*.



Transistor NPN de silicio de aleación difusa mesa.

1. Aluminio. — 2. Base difusa tipo P. — 3. Zona recortada por corrosión. — 4. Cristal de silicio tipo N (colector). — 5. Soporte conexión de colector. — 6. Cápsula metálica (blindaje de alta frecuencia). — 7. Capa difusa tipo N (emisor).

NOMENCLATURA DE LOS TRANSISTORES

Lo mismo que con las válvulas, existen dos nomenclaturas bien diferenciadas para la designación de los transistores: la americana y la europea.

En la nomenclatura americana los semiconductores se designan por el número de uniones o ba-

rreras de potencial. Así, en esta nomenclatura un diodo semiconductor se designa por la sigla 1N (una uNión) y los transistores por 2N (dos uNiones). A continuación de esta sigla se indica un número que corresponde a un modelo dado. Por lo general esta cifra es particular del fabricante

o grupo de fabricantes; por no estar normalizada no pueden interpretarse las características generales sin consultar las aclaraciones dadas por el fabricante.

EJEMPLO DE DESIGNACIÓN AMERICANA

1N316 Diodo semiconductor de silicio
2N1305 Transistor de germanio
2N756 Transistor de silicio

En la nomenclatura europea cabe distinguir la antigua y la moderna. En la nomenclatura antigua una primera letra O siempre designa que se trata de un semiconductor; la segunda letra designa un diodo si es una A, un transistor si una C o un diodo con características de resistencia si es una R. Si se trata de un dispositivo especial puede añadirse una tercera letra que lo indique; por ejemplo, P indica que es un dispositivo sensible a la luz y utilizado como para tal finalidad. De igual modo que en la nomenclatura americana, después de esta sigla o grupo de letras se da

un número que designa un tipo o modelo en particular, y que tampoco aclara sus características generales.

EJEMPLO DE NOMENCLATURA EUROPEA ANTIGUA

OA70 Diodo de germanio
OA210 Diodo de silicio
OC70 Transistor de germanio
OAP12 Fotodiodo de germanio
OCP70 Fototransistor de germanio
ORP30 Resistencia o célula fotoconductora de sulfuro de cadmio.

Recientemente se ha puesto en práctica una nueva designación de los dispositivos semiconductores europeos que diferencia algo más las diferentes ejecuciones. Aunque después de un grupo de letras se indica un número, como anteriormente, sólo designa un modelo de un fabricante o grupo de ellos. Por su mayor complejidad, resumimos en una tabla esta moderna nomenclatura europea.

La primera letra indica el material semi-conductor empleado	La segunda letra indica la construcción y/o principal aplicación	Número de serie
<p>A Germanio</p> <p>B Silicio</p>	<p>A Diodos (excepto fotodiodos, diodos Zener, diodos túnel, diodos de potencia)</p> <p>B Transistores para aplicaciones de baja frecuencia (excepto transistores de potencia)</p> <p>E Diodos túnel</p> <p>F Transistores para aplicaciones de alta frecuencia (excepto transistores de potencia)</p> <p>L Transistor de potencia para aplicaciones de alta frecuencia</p> <p>P Elemento sensible a radiaciones</p> <p>R Elemento de control y conmutación que tiene una característica de ruptura (excepto elementos de potencia)</p> <p>S Transistor para aplicaciones de conmutación (excepto transistores de potencia)</p> <p>T Elemento de potencia para control y conmutación, que tiene una característica de ruptura</p> <p>U Transistor de potencia para aplicaciones de conmutación</p> <p>Y Diodo de potencia</p> <p>Z Diodo Zener (para referencia de tensión o regulación de tensión)</p> <p>Un semiconductor es de potencia si la resistencia térmica entre el cristal y la base de montaje es igual o inferior a 15° C/W.</p>	<p>Consta de:</p> <p>a) tres cifras para los tipos de uso general, con números comprendidos entre 100 y 999 (receptores de radio y TV, amplificadores de audio, magnetófonos, etcétera).</p> <p>b) una letra y dos cifras para los tipos diseñados principalmente para aplicaciones de tipo profesional.</p>

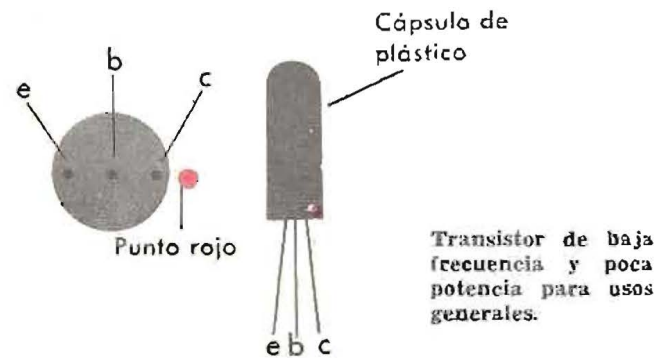
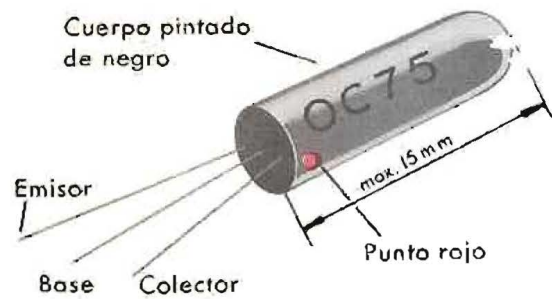
PRESENTACION Y CONEXION DE LOS TRANSISTORES

Los transistores se presentan en muy variadas formas, unas veces quizás debidas a la conveniencia o ansia de diferenciar los productos de un fabricante de los de otro, y en algunos casos también para que se adapten convenientemente al equipo a que van destinados.

No obstante, los transistores corrientes para las aplicaciones más usuales en baja frecuencia y para poca potencia tienen la forma de un pequeño cilindro de material plástico del que sobresalen los tres hilos terminales para conexión soldada. Estas tres conexiones están dispuestas en línea; la central siempre corresponde a la base, y las otras dos al emisor y al colector, las cuales se distinguen por medio de un punto de color rojo pintado cerca del terminal de colector. El cilindro de plástico está pintado de negro para impedir la influencia de las radiaciones luminosas, a las que el transistor es muy sensible.

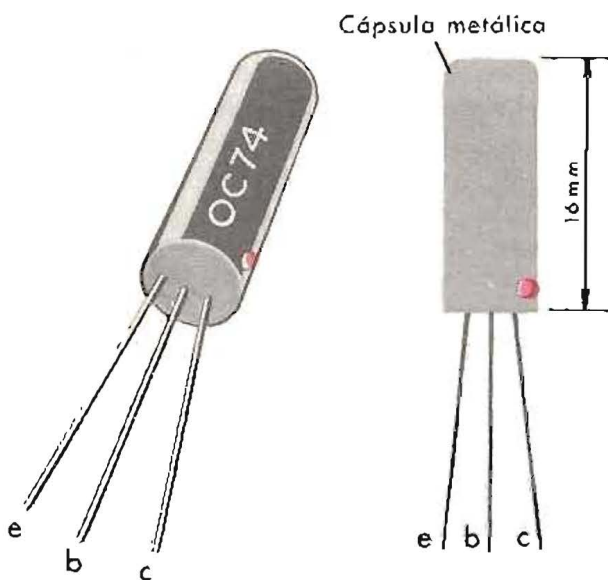
En el caso de tratarse de transistores corrientes para baja frecuencia y potencias medianas, la cápsula de protección es metálica, en lugar de ser de plástico, para lograr mejor disipación del calor.

Si bien, como vemos por las figuras, son dispositivos diminutos, estos mismos transistores para usos generales se fabrican en versiones subminiatura para los audifonos contra la sordera, vehículos espaciales, etc., en los cuales los tres terminales de conexión a veces no caben en li-

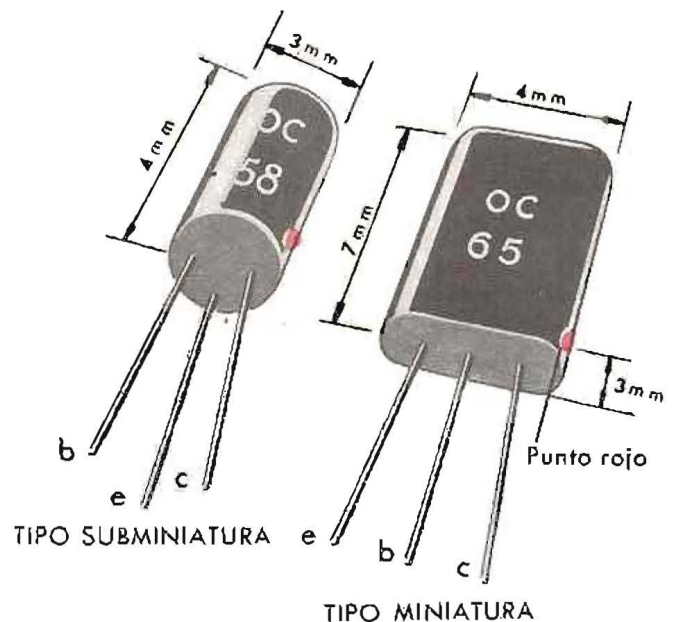


nea y deben distribuirse, por ejemplo, en triángulo.

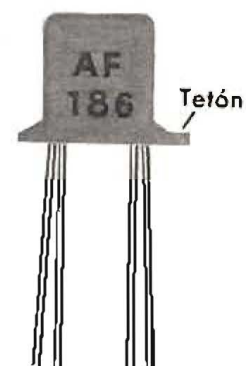
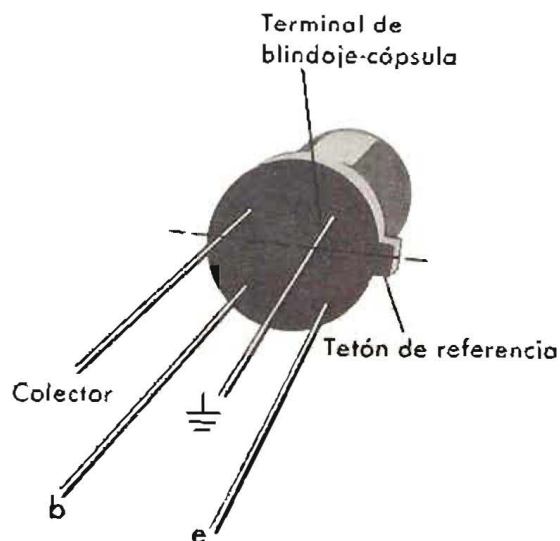
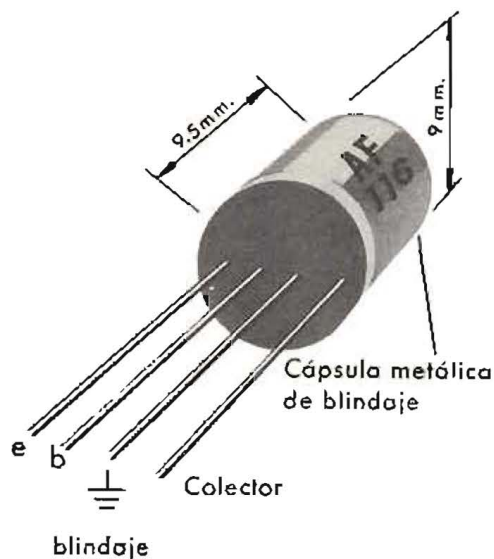
En los transistores para alta frecuencia la cápsula también es metálica; pero en este caso actúa como blindaje, por lo que llevan un cuarto terminal para la conexión a masa de dicho blindaje.



Transistor de baja frecuencia y mediana potencia para usos generales.

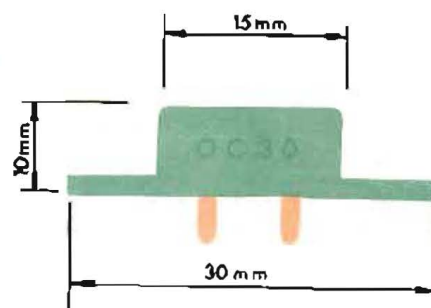
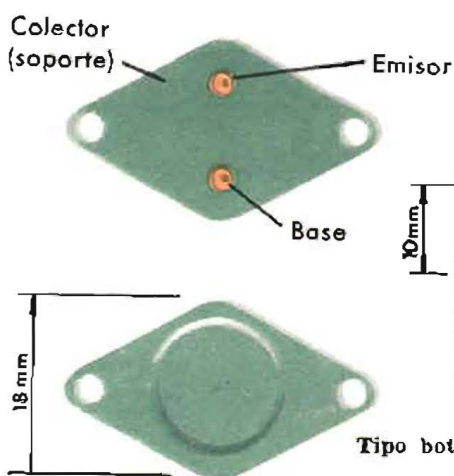
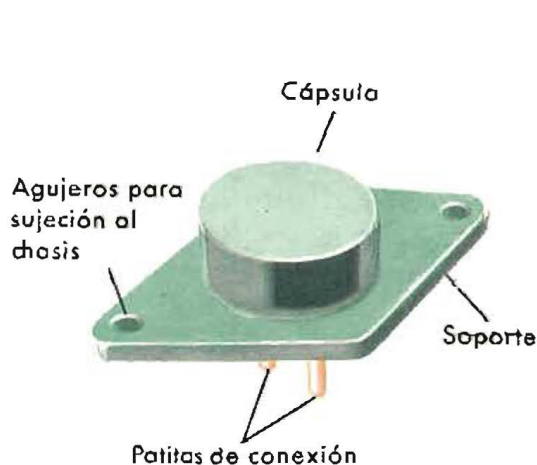


Transistores de baja frecuencia y poca potencia de tipos subminiatura y miniatura.

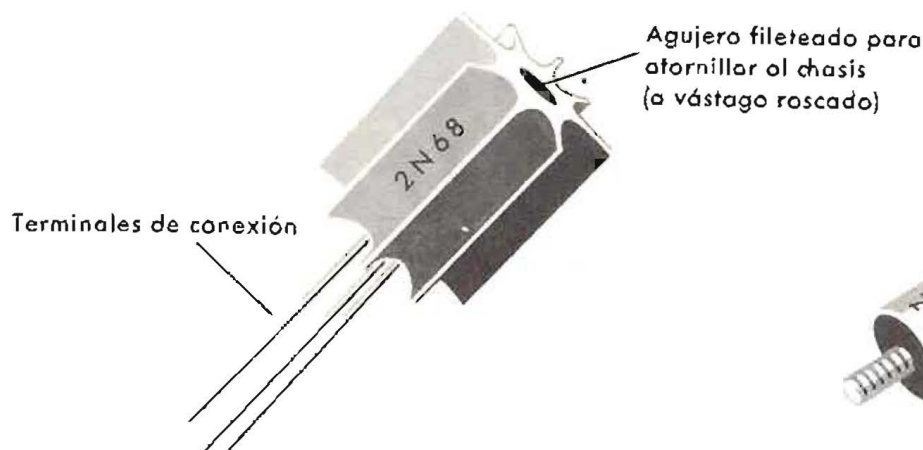


Transistores de alta frecuencia y poca potencia.

TRANSISTORES DE POTENCIA



Tipo botón, para sujeción al chasis.



TIPO CON CAPSULA DOTADA DE ALETAS DE REFRIGERACION



TIPO ADECUADO PARA ROSCARLO A UN BLOQUE REFRIGERADOR

TRANSISTORES DE POTENCIA

Los transistores de potencia, tanto los destinados a alta como a baja frecuencia, están provistos de un soporte metálico de gran superficie con el fin de disipar el mayor calor que desarrollan. La cápsula, que desde luego es metálica, tiene forma de botón; es decir, tiene poca altura y gran diámetro para transferir fácilmente el calor al soporte y éste al chasis del aparato en que van montados. Muchas veces el colector está conec-

tado a la cápsula y al soporte metálico, en cuyo caso sólo se distinguen dos terminales (emisor y base). Además, estos terminales no son alambres, sino verdaderas patitas de conexión semejantes a las de las válvulas electrónicas. En algunos el mismo cuerpo de la cápsula lleva aletas de refrigeración; en otros, el transistor se monta sobre un bloque de estas aletas, con lo que es posible darles un tamaño mayor.

TRES PRECAUCIONES A TENER MUY EN CUENTA EN EL EMPLEO DE LOS TRANSISTORES (El calor los destruye)

1. De la misma manera con los diodos de cristal, al soldar los terminales debe procurarse que el calor no se transmita al cristal por el mismo conductor terminal. Para ello se intercalarán unas pinzas alicates entre el punto de soldadura y el transistor.

2. Debe prestarse mucha atención al conectar la batería que alimenta un transistor o grupo de transistores, ya que el colector normalmente soporta una diferencia de potencial relativamente elevada con respecto a la base. Esta diferencia de potencial puede ser soportada porque el diodo colector-base se polariza en sentido inverso o de bloqueo; pero si por error se invierte la polaridad de la batería el diodo queda sometido en sentido directo a aquella elevada diferencia de potencial, lo cual provoca una verdadera avalancha de electrones o de huecos; es decir, que circularía una corriente de gran intensidad que calentaría en exceso el transistor y lo inutilizaría.

La inversión accidental de la polaridad de la batería de alimentación puede evitarse sencillamente intercalando un diodo de germanio o de silicio en uno de los conductores de alimentación. La conexión será tal que en la buena polaridad conduzca el diodo y en caso contrario bloquee automáticamente dicha alimentación; con este dispositivo, si se invierte la polaridad de la batería lo único que ocurre es que el aparato con transistores no funciona. (Bastará con cambiar la polaridad para que funcione; los transistores no habrán sufrido daño alguno.)

3. En las experiencias o montajes experimentales con transistores, así como en la medida de sus características, es recomendable intercalar una resistencia limitadora entre la base y su toma de potencial, para prevenir el peligro de conectar directamente a los bornes de la batería cualquiera de los dos diodos en el sentido directo (por inversión de polaridad en el diodo colector-base



Alimentación con diodo protector automático contra la inversión de polaridad de la batería de alimentación.

o por tensión excesiva en el diodo emisor-base), lo que daría lugar, como en el caso 2, a la circulación de corriente de intensidad elevada que calentaría excesivamente el transistor y lo inutilizaría.



Es aconsejable intercalar una resistencia de protección entre la base y la batería para limitar la corriente en el diodo emisor-base.

COMPORTAMIENTO DEL TRANSISTOR EN COMPARACION CON LA VALVULA ELECTRONICA

Puesto que los transistores sustituyen a las válvulas electrónicas en numerosas aplicaciones, no estará falto de interés que comparemos unos y otras desde el punto de vista eléctrico.

En el transistor, la conducción electrónica entre las diferentes capas semiconductoras se efectúa por el flujo de electrones libres o por los huecos móviles liberados por el emisor. En la válvula electrónica la conducción electrónica parte del cátodo. En consecuencia, podríamos decir que el emisor del transistor equivale al cátodo de la válvula.

Asimismo, como en el transistor el electrodo receptor es el colector y en la válvula lo es el ánodo, podemos considerar que uno y otro electrodo son también equivalentes. Como la corriente electrónica que desde el emisor (transistor) o desde el cátodo (válvula) se dirige al colector o al ánodo debe atravesar necesariamente la rejilla (válvula) o la base (transistor) para alcanzar aquellos electrodos, podemos decir que la base es en el transistor lo que la rejilla en la válvula triodo.

En la válvula la rejilla casi siempre es negativa con respecto al cátodo; la placa o ánodo, en cambio, siempre es positiva con respecto al cátodo. La función del ánodo es atraer los electrones emitidos por el cátodo; y como estos electrones constituyen cargas negativas se debe aplicar a la placa un potencial positivo para atraerlos.

Para que haya conducción electrónica en el transistor, debe iniciarse primeramente entre el emisor y la base; la batería polariza con un signo

u otro a cada uno de los dos electrodos según se trate de una corriente de cargas negativas (electrones) o positivas (huecos).

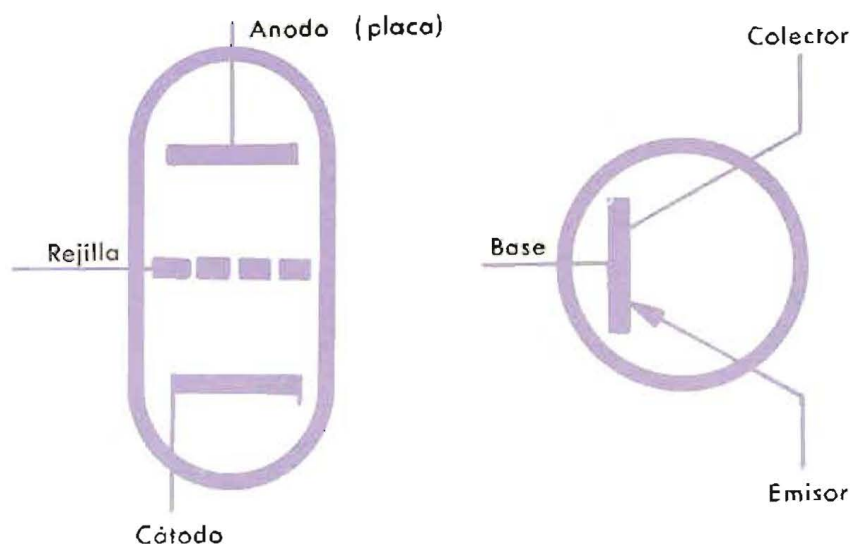
Comparando el funcionamiento de la válvula con el del transistor notaremos que para que haya conducción electrónica en aquella es necesario aplicar una *tensión* suficiente entre cátodo y ánodo; y para variar la conducción electrónica habrá que variar la *tensión* negativa aplicada a la rejilla. En el transistor, cuando los electrodos estén correctamente polarizados, la conducción electrónica se establece entre emisor y colector una vez circule corriente entre emisor y base; asimismo, si se desea variar el valor de la conducción electrónica debe variarse la corriente que circula por la base.

Es decir, las variaciones y la amplificación de tensión son en la válvula lo que las variaciones y amplificación de corriente en el transistor.

En el transistor el diodo colector base se conecta a la batería de alimentación en sentido inverso (el colector se conectará al polo positivo o al negativo, según se trate de material tipo N o P respectivamente).

Comparando las propiedades de la válvula y las del transistor, podemos resumir las siguientes ventajas en favor de éste:

— El transistor es mucho más pequeño que la válvula. Por ello, en general, los aparatos que utilicen transistores pueden ser mucho más compactos y reducidos, siempre y cuando el resto de los componentes electrónicos sean del tipo miniatura.



Electrodos comparables de una válvula electrónica y de un transistor.

— Por no necesitar filamento calefactor, con el transistor se logra un considerable ahorro de energía. (Recordemos que gracias al transistor hoy en día se utilizan en gran escala los receptores portátiles de pilas.) Además, al no existir el filamento calefactor puede decirse que casi no desarrollan calor, lo cual hace fácil la construcción de aparatos muy compactos.

— Su duración es muy larga, lo que reduce en gran manera el riesgo de averías.

— Resiste muy bien los golpes, lo cual hace que los aparatos equipados con transistores sean mucho menos frágiles que los dotados con válvulas.

CARACTERÍSTICAS DEL TRANSISTOR

Puesto que el lector ya conoce la electrónica y los dispositivos que utilizan válvulas termiónicas, y puesto que también un transistor constituye un dispositivo amplificador comparable a una válvula triodo, aprovecharemos nuestros conocimientos de ésta para comprender las características de semiconductor citado.

Las tensiones e intensidades características de la válvula triodo son:

V_g Tensión de rejilla (entre rejilla y cátodo).

V_a Tensión de ánodo (entre ánodo y cátodo).

I_k Intensidad de cátodo.

I_g Intensidad de rejilla (nula generalmente).

I_a Intensidad de ánodo.

Como estos valores característicos son interdependientes unos de otros, en la práctica se determinan por medio de las curvas características que traza el fabricante y que se reproducen en los manuales de válvulas. Así, una vez se adopta la tensión positiva de alimentación de la placa o ánodo, de acuerdo con las aconsejadas por el fabricante, por medio de la curva I_a/V_g se determina la corriente de ánodo en función de la tensión negativa de rejilla; se determina también la corriente anódica en función de la tensión aplicada a la placa, etc.

En el transistor las intensidades y tensiones características son las siguientes:

V_{BE} Tensión de base (entre base y emisor).

V_{CE} Tensión de colector (entre colector y emisor).

V_{BC} Tensión de base a colector (entre base y colector).

I_E Intensidad de emisor.

I_B Intensidad de base.

I_C Intensidad de colector.

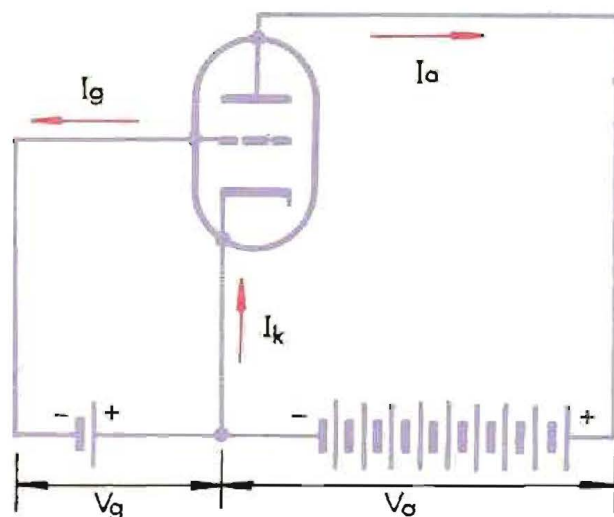
También existen ciertas relaciones o dependencias entre estas magnitudes, las cuales, para

las. Por la misma razón, los transistores no presentan microfónica.

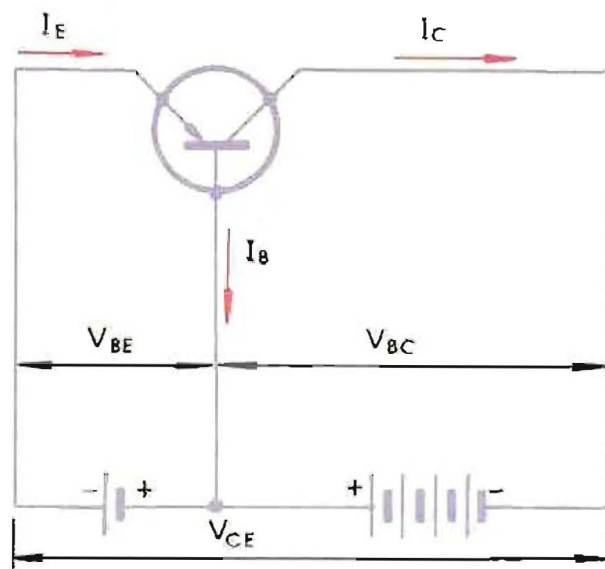
Sin embargo, los transistores presentan los siguientes inconvenientes en relación con las válvulas:

— Las propiedades de los transistores varían apreciablemente con la temperatura, por lo que debe proyectarse circuitos que compensen las variaciones de ésta.

— La amplificación de baja frecuencia es inferior a la de las válvulas; por ello en muchos aparatos normalmente se necesitan más transistores.



Magnitudes características del montaje con válvula termiónica.



Magnitudes características del montaje con transistor.

CARACTERISTICAS PRINCIPALES

VALVULA		TRANSISTOR	
V_o	Tensión de ánodo	Tensión de colector	V_{CE}
I_o	Corriente de ánodo	Corriente de colector	I_C
V_g	Tensión de rejilla control	Tensión de base	V_{BE}
I_g	Corriente de rejilla	Tensión de base colector	V_{BC}
I_k	Corriente de cátodo	Corriente de base	I_B
		Corriente de emisor	I_E

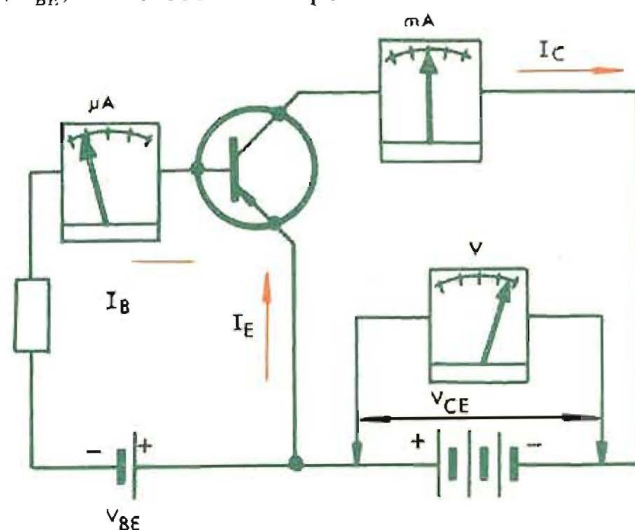
los fines prácticos, también se expresan por medio de curvas características.

En el transistor, la curva equivalente a la I_a/V_n de la válvula en función de V_g es la curva I_C/V_{CE} con I_B constante (corriente de colector en función de la tensión aplicada entre el colector y el emisor, para una corriente dada de la base).

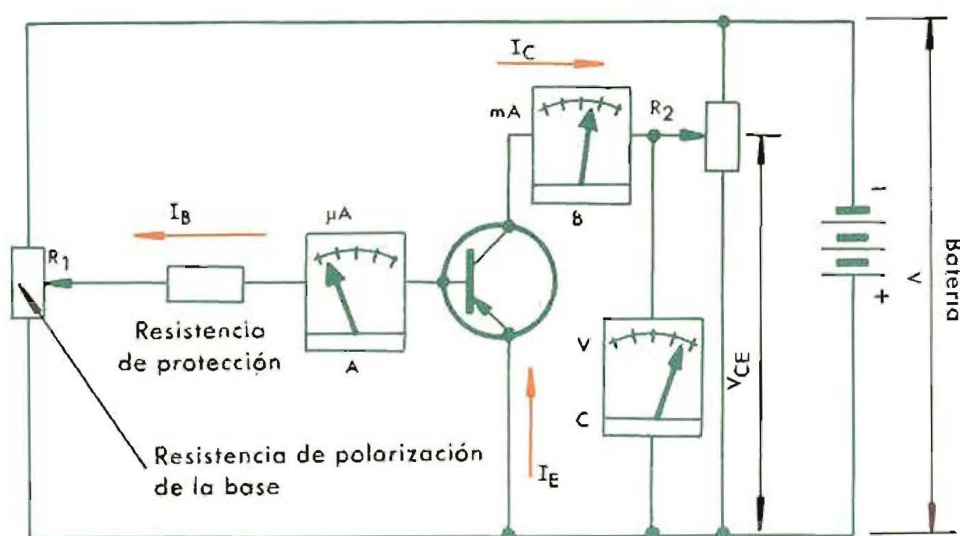
Los valores de esta curva I_C/V_{CE} se obtienen por medio del montaje siguiente, al que se denomina *circuito de emisor común* (o de emisor a masa, por su analogía con el montaje de válvulas con cátodo a masa).

No obstante, para trazar la curva debiera variarse las tensiones de polarización y así medir las variaciones de corriente resultantes, por lo que el montaje para obtener puntos de la característica I_C/V_{CE} manteniendo constante la corriente de base es el que se indica a continuación. En

este montaje la batería que polariza la base (V_{BE}) se ha sustituido por una resistencia alimentada



Montaje en circuito de emisor común con instrumentos para medir las magnitudes características.



Montaje para medir el valor de la corriente de colector I_C variando la tensión de colector V_{CE} para un valor constante de la corriente I_B de la base del transistor (circuito de emisor común).

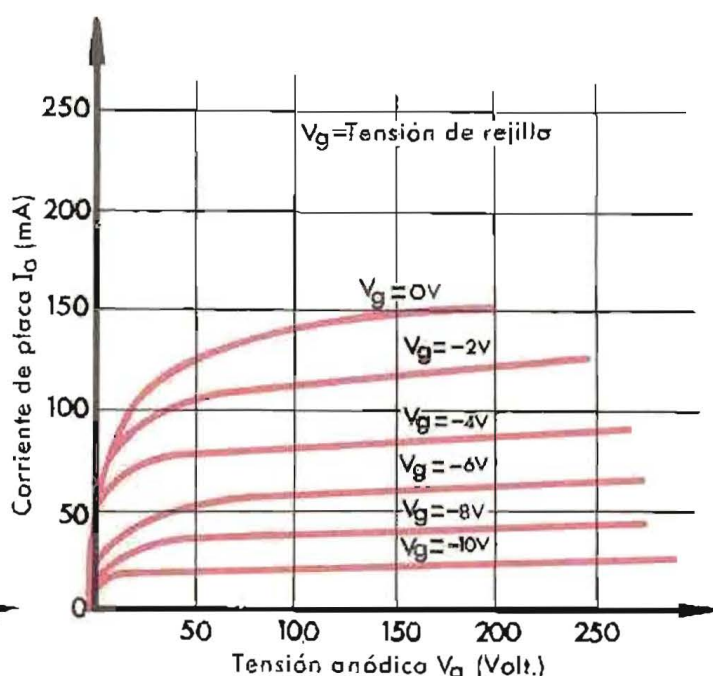
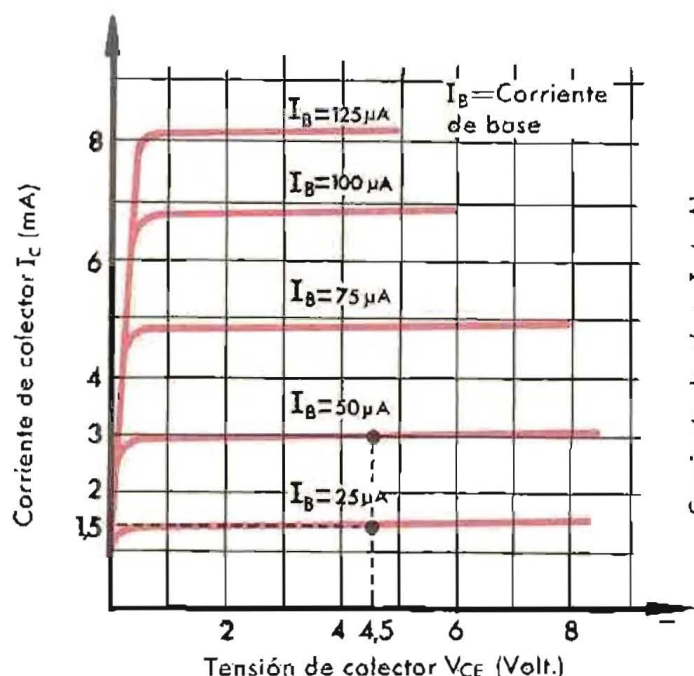
tada desde el negativo de la batería de cátodo que reduzca la tensión al valor conveniente de la base; y para ajustar dicha resistencia a un valor conveniente se utiliza un potenciómetro en lugar de una resistencia fija. Asimismo, en los bornes de la batería de alimentación se conecta un potenciómetro, a través de cuya toma ajustable se alimenta a diferentes tensiones el colector del transistor, con lo cual circulan por este electrodo diferentes corrientes, que se anotan para trazar la curva característica I_C/V_{CE} , de modo análogo a como se opera en el trazado de las características de las válvulas.

Observando el microamperímetro A, se ajusta el potenciómetro R_1 de forma que la corriente que circula por el diodo emisor-base sea de, por ejemplo, $25 \mu A$. A continuación se modifica la posición del potenciómetro R_2 . Por ejemplo, cuando en el voltímetro C se lee una tensión de colector V_{CE} de 2 V se anota la corriente de colector que circula por el miliamperímetro B (por ejemplo,

1'3 mA); y así para diferentes valores de V_{CE} que se leen en el voltímetro C (2, 4, 6, 8, 10 V, etcétera) se anotan los correspondientes valores de la corriente de colector I_C que se leen en el miliamperímetro B, que difieren de un transistor a otro según cuál sea la clase (por ejemplo, 1'3, 1'5, 1'6, 1'7, 1'8 mA, etc.).

Después se vuelve a hacer lo mismo para otros valores constantes de la corriente de base I_B (por ejemplo, 50, 75, 100, 125 μA , etc.) con ayuda de R_1 y A, anotando los valores de I_C leídos en B para diferentes tensiones V_{CE} leídas en C y ajustadas por medio de R_2 .

Todos los datos obtenidos pueden consignarse en un diagrama de coordenadas, en el que en sentido horizontal se anotan las tensiones de colector V_{CE} y en vertical las intensidades de corriente que circulan por este electrodo I_C para cada valor constante de la corriente de base I_B , con lo cual se obtiene una curva I_C/V_{CE} para cada valor de I_B constante.



Una de las curvas características más importantes del transistor es la que da la corriente de colector I_C en función de la tensión V_{CE} en este electrodo para una corriente dada de base. Esta curva equivale a la característica I_a/V_a de una válvula en función de una tensión dada de rejilla. Obsérvese la similitud entre una y otra, lo cual ayuda a comprender el funcionamiento del transistor gracias a los conocimientos adquiridos en el estudio de las válvulas. No obstante, son de señalar algunas diferencias esenciales: en la válvula se trata generalmente de algunos centenares de voltios para la tensión de placa; en el transistor, en cambio, se trata de unos pocos voltios para la tensión de colector. Además el funcionamiento de la válvula es función de una tensión (V_g) y el del transistor de una corriente (I_B). A pesar de que el transistor es un elemento de tres electrodos (tríodo), su curva característica se asemeja más a la de un pentodo que a la de un tríodo termiónico.

Observemos que, mientras en la válvula la curva I_a/V_a venía dada para un valor bien determinado de la tensión de rejilla de control, en el transistor la curva equivalente I_c/I_b viene dada para un valor también determinado de la corriente de base (de control). Recordemos que anteriormente habíamos indicado que la válvula termoiónica debía su funcionamiento a las tensiones que se aplicasen a sus electrodos; en cambio el funcionamiento del transistor está determinado por las corrientes que circulan por sus tres zonas o capas.

Aparte de esta diferencia, los valores de las tensiones y corrientes que entran en juego en cada uno de los dos dispositivos electrónicos son muy diferentes, en general, entre uno y otro. En cambio, una vez hecha esta salvedad, la forma de las curvas características es muy parecida para ambos, como demuestra la figura adjunta.

Se observará que en la característica I_c/V_{CE} las curvas para cada corriente de base se mantienen casi paralelas y con igual pendiente, lo que significa que la amplificación es lineal en la mayor parte del margen de funcionamiento.

El codo de las características del transistor aparece mucho más próximo al punto 0 de origen de coordenadas que en la válvula. Este codo, que corresponde al punto de saturación —es decir, cuando el colector ha absorbido casi todos los huecos o los electrones inyectados por el emisor—, aparece con tensiones de colector de algunas décimas de voltio, lo que significa que el rendimiento del transistor es mucho más elevado que el de la válvula.

De la curva I_c/V_{CE} puede deducirse una característica importante del transistor: LA AMPLIFICACIÓN DE CORRIENTE. En efecto, esta amplificación está dada por la distancia, en sentido verti-

cal, entre dos curvas de corriente de base. Si consideramos una tensión de colector de -4.5 V veremos que entre las curvas I_b de $25 \mu A$ y $50 \mu A$ existe una diferencia de corriente de colector de $3 - 1.5 = 1.5$ mA, de donde la amplificación de corriente del transistor es:

Amplificación de corriente =

$$\frac{\text{incremento de corriente de colector}}{\text{incremento de corriente de base}}$$

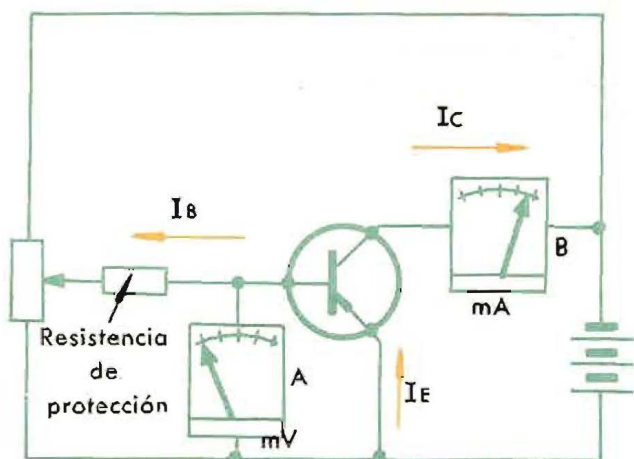
$$\beta = \frac{1.5 \text{ mA}}{(50 - 25) \mu A} = \frac{1.5 \text{ mA}}{0.025 \text{ mA}} = 60$$

La amplificación de corriente de un transistor se designa por la letra griega β , que según nos indica la fórmula representa la relación existente entre el incremento ΔI_c de corriente de colector originado al incrementar la de la base en una cierta cantidad ΔI_b , suponiendo que se mantenga constante la tensión V_{CE} .

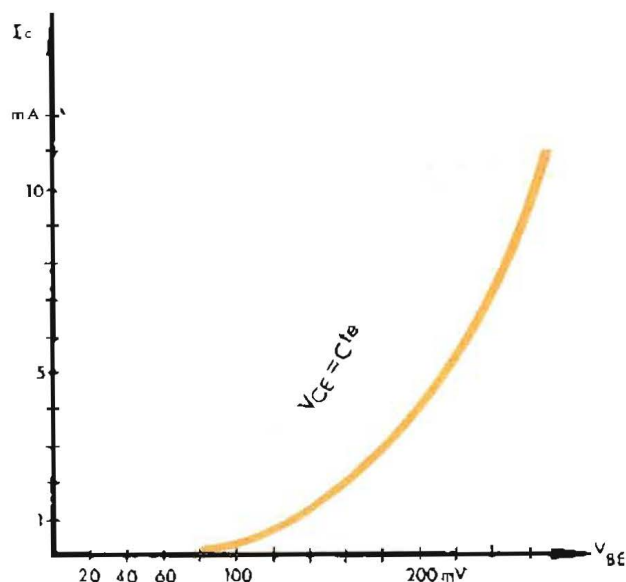
$$\text{Amplificación de corriente } \beta = \frac{I_c}{I_b}$$

Otra importante curva característica es la I_c/V_{BE} , que da la corriente de colector I_c en función de la tensión de la base V_{BE} . Esta característica es equivalente a la I_a/V_g de una válvula, que da la corriente de ánodo I_a en función de la tensión de rejilla V_g . En este caso el montaje experimental para determinar los distintos valores de I_c puede ser indicado a la izquierda.

Al igual que la característica I_c/V_{CE} , la característica I_c/V_{BE} queda reflejada en un diagrama en que se anotan los diferentes valores medidos con el miliamperímetro B y el milivoltímetro A.



Montaje para medir el valor de la corriente de colector I_c variando la tensión de base V_{BE} del transistor (montaje emisor común).



Característica I_c/V_{BE} del transistor.

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS

El manual de características de los transistores es indispensable para todo el que los utilice.

En estos manuales se dan las características que se considera estrictamente necesario conocer. Estas se subdividen en:

- Dimensiones y forma del transistor.
- Identificación de los terminales.
- Aplicaciones para las cuales es idóneo el transistor.
- Datos eléctricos límite o máximos.
- Datos eléctricos nominales.
- Características térmicas.

Dentro de los datos eléctricos límite, los cuales no deben nunca sobrepasarse, cabe mencionar la máxima tensión de colector que se puede aplicar con seguridad y la máxima corriente que puede circular por este electrodo sin recalentamiento, así como su disipación o potencia máxima del transistor. Asimismo se indica la temperatura máxima de funcionamiento de la unión y por ende del transistor.

Se dan luego las características medias, por lo

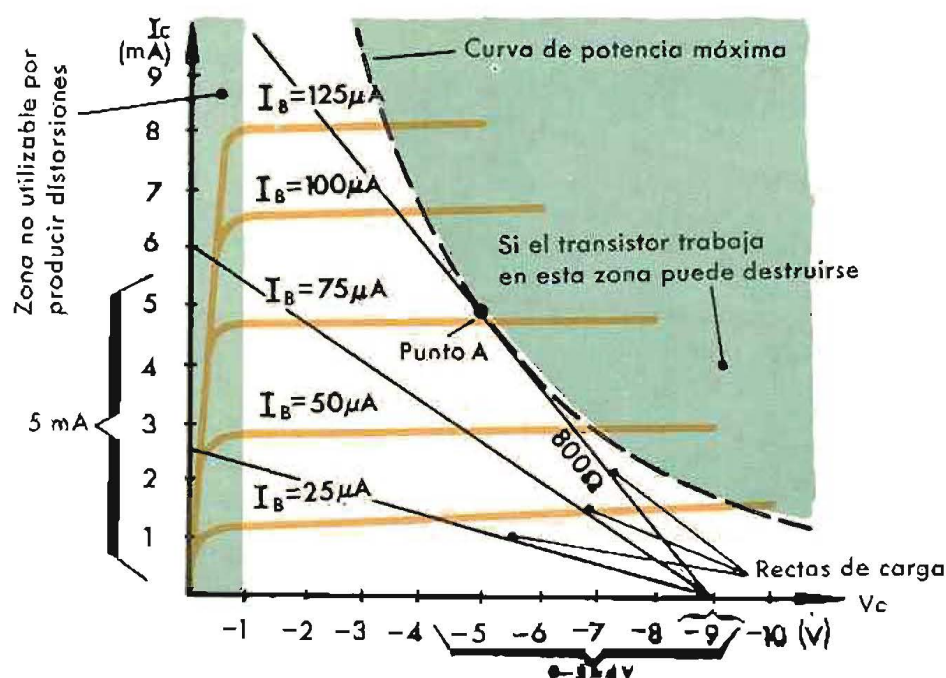
general para una temperatura ambiente de 25°C ; la tensión recomendada de colector (generalmente unas ocho a diez veces inferior a la máxima); corriente de colector; tensión continua de colector-emisor; frecuencia de trabajo y ganancia de corriente para las condiciones medias enumeradas.

Un dato que nunca falta en los catálogos de los fabricantes de transistores, y que siempre se da para la mayoría de estos elementos que se encuentran en el comercio, es la *resistencia térmica*, o mayor o menor dificultad en disipar en el aire ambiente el calor desarrollado en la unión de colector. Se expresa en grados centígrados por milivatio ($^{\circ}\text{C}/\text{mW}$), e indica cuántos grados es más elevada la temperatura de la unión que la temperatura ambiente cuando el transistor disipa 1 mW. Se designa por la letra K ; su magnitud para un transistor de poca potencia acostumbra ser $K = 0.4^{\circ}\text{C}/\text{mW}$, lo cual quiere decir que si este transistor disipa 75 mW, la temperatura de la unión es $75 \times 0.4 = 30^{\circ}\text{C}$ más elevada que la ambiente. (Si la temperatura ambiente es de 25°C , la de la unión es $25 + 30 = 55^{\circ}\text{C}$.)

POLARIZACION

Lo mismo que sucede con las familias de curvas de las válvulas electrónicas, en las de los transistores pueden trazarse las rectas de carga que determinan el funcionamiento de estos ingenios como dispositivos amplificadores.

En la figura siguiente se reproduce el diagrama de curvas características I_C/V_C que ya conocemos, al que se ha agregado también la curva de potencia máxima que puede desarrollar el transistor sin que se destruya. Es decir, deberá pro-



Resistencia de carga mínima para potencia máxima = $R_c = 1/0.005 = 800 \Omega$.

yectarse un funcionamiento del transistor en que las corrientes I_C e I_B y la tensión V_{CE} del montaje queden bajo dicha curva límite.

En este gráfico también se han trazado varias rectas de carga (al igual que en las válvulas) para una tensión de alimentación de 9 V. Por ellas vemos que la resistencia de carga mínima que puede intercalarse en el colector es de $800\ \Omega$ para dicha tensión. Esta resistencia es la más baja que puede utilizarse, ya que es tangente a la curva de potencia máxima; otro valor más bajo de R_C entraría en la zona en que el transistor puede inutilizarse por sobrecarga; además, con dicho valor de $800\ \Omega$ puede alcanzarse el máximo de la potencia de salida admisible del transistor.

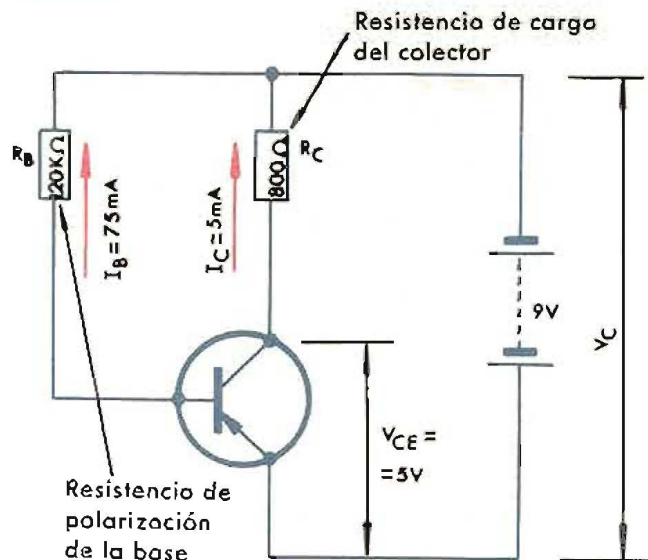
Para que la amplificación se efectúe sin distorsión es preciso que el punto de funcionamiento A esté aproximadamente en el centro de la recta de carga. Es decir —en el caso de la figura—, corresponde a unos $75\ \mu\text{A}$ de corriente de base I_B .

Con estos datos podemos calcular el valor de la resistencia que debe conectarse entre la base y el polo negativo de la batería de alimentación, de forma que con una sola batería puedan polarizarse tanto la base como el colector. El valor de esta resistencia de polarización será:

$$R_B = \frac{\text{Tensión batería, } V_C}{\text{corriente base, } I_B} =$$

$$= \frac{9\ \text{V}}{75\ \mu\text{A}} = \frac{9\ \text{V}}{0.000075\ \text{A}} = 120\ \text{K}\Omega$$

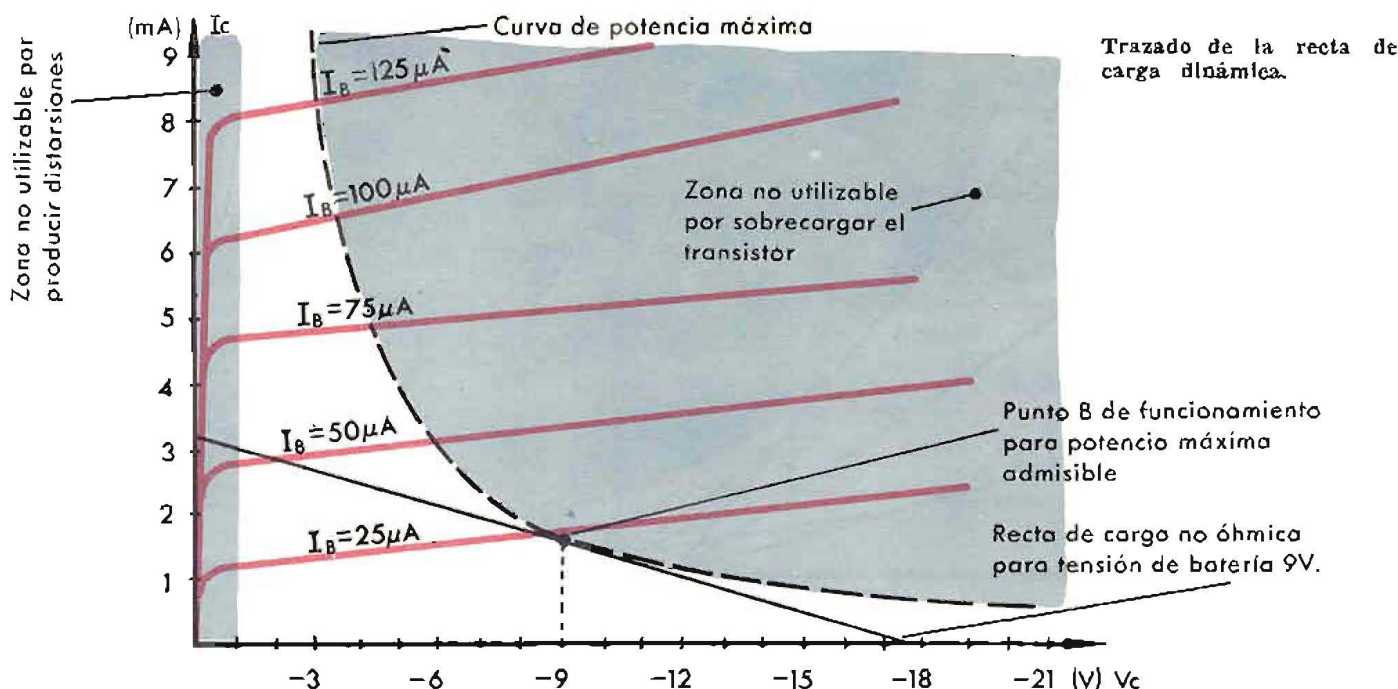
Con lo cual el circuito amplificador con tran-



Montaje básico amplificador con transistor en circuito de emisor común. Gracias a una resistencia de polarización para la base es posible utilizar una sola batería para alimentar los electrodos del transistor.

sistor conectado en emisor común sería el que a continuación se representa.

El cálculo de R_B indicado antes es válido en el caso de que la resistencia de carga R_C sea verdaderamente una resistencia; pero si en realidad se trata de una impedancia (caso de un transformador de acoplamiento entre etapas o entre la de salida y el altavoz) pueden aparecer en el colector tensiones de valor igual al doble del de la tensión de la batería. Por ello, si se mantiene el valor calculado de $R_B = 120\ \text{K}\Omega$, la tensión de la batería tendrá que ser de $9/2 = 4.5\ \text{V}$ si no se quiere inutilizar el transistor, o bien calcular R_B trazando una recta de carga para $9 \times 2 = 18\ \text{V}$, según indica la figura siguiente.



En este caso, el valor más bajo de la impedancia a utilizar como carga será de:

$$Z_c = \frac{18 \text{ V}}{3.2 \text{ mA}} = \frac{18 \text{ V}}{0.0032 \text{ A}} = 5625 \Omega \sim 5.6 \text{ K}\Omega$$

El punto de funcionamiento B se sitúa a la tensión de la batería; es decir, 9 V. Observando

el diagrama veremos que corresponde a una corriente de base de 25 μA . Finalmente, la resistencia de polarización de este electrodo tendrá el valor:

$$R_B = \frac{9 \text{ V}}{25 \mu\text{A}} = \frac{9 \text{ V}}{0.000025 \text{ A}} = 360 \text{ K}\Omega$$

LOS TRES CIRCUITOS FUNDAMENTALES

1. Emisor común

Al describir las características del transistor nos hemos basado siempre en el montaje fundamental del circuito emisor común; pero las características también pueden expresarse para los de base común y colector común, lo mismo que en los amplificadores con válvulas, en que se utilizan respectivamente los de cátodo a masa, rejilla a masa y placa a masa (también denominado seguidor catódico).

No obstante, dichas características han sido explicadas para el montaje emisor común por ser el que más se utiliza en la práctica, ya que proporciona la mayor ganancia de corriente. Para este montaje, se indicaron antes los criterios por los que se calculan las resistencias de carga del colector y de polarización de base-emisor. Sólo resta acoplar a la entrada la señal a amplificar y extraer de la salida la señal a inyectar en el paso siguiente, lo cual se lleva a efecto por medio de condensadores de gran capacidad que bloqueen la c.c. de polarización y no la alterna de baja frecuencia, o por medio de transformadores de baja

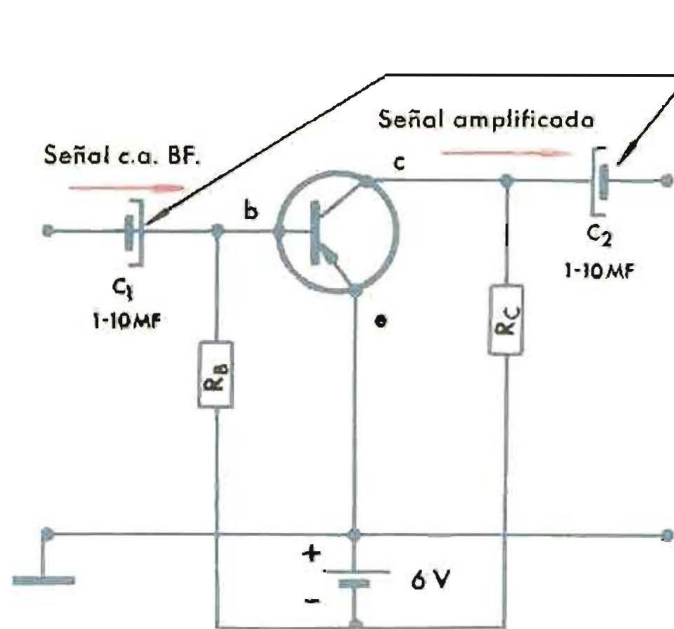
frecuencia. Por lo que el montaje ya conocido por el estudio se completa en la figura siguiente, en la que además se le compara con su equivalente en montaje con válvula con cátodo a masa y rejilla a masa (montaje también empleado con mucha frecuencia).

Como antes explicamos, en el montaje emisor común —es decir, aquel en que el emisor se conecta a masa y la señal de entrada se aplica a la base— la amplificación o *ganancia de corriente* del transistor se expresa por la relación entre las variaciones de corriente de colector y las variaciones de corriente de la base. Esta *ganancia de corriente* para montaje de emisor común se designa por la letra griega β .

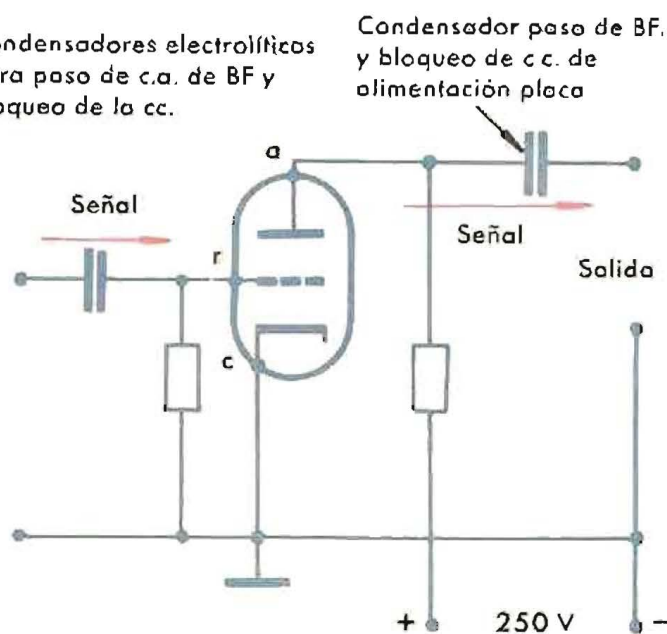
$$\text{Ganancia de corriente, } \beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_B} \quad (\text{circuito emisor común})$$

2. Base común

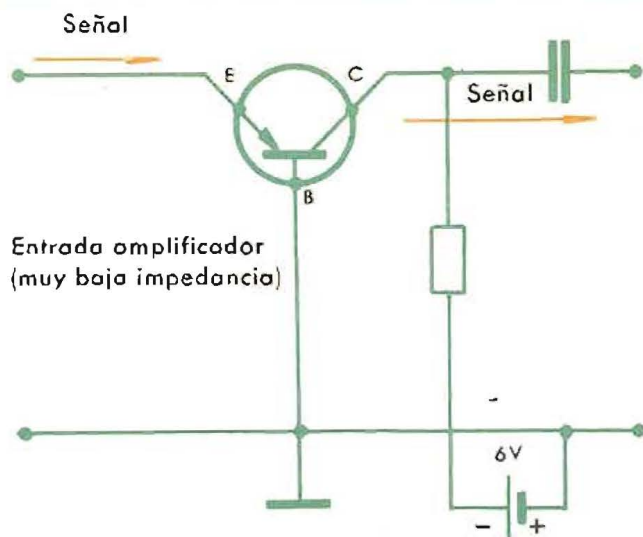
El circuito de base común se utiliza poco porque la ganancia de corriente es menor que la del



Amplificador con transistor en montaje emisor común.



Amplificador con válvula en montaje cátodo a masa.



Amplificador con transistor en montaje base común.

circuito de emisor común; no obstante, a veces su empleo es ventajoso en circuitos de alta frecuencia por proporcionar, en cambio, una gran amplificación o ganancia de tensión. Este circuito puede compararse con el montaje de rejilla a masa que a veces se emplea en los amplificadores con válvula para altas frecuencias.

Hemos indicado que la ganancia de corriente del circuito base común es menor que la del circuito emisor común. Ello es cierto; no obstante una y otra ganancia expresan cantidades diferentes, ya que en el montaje emisor común indicamos que la ganancia de corriente era de $\beta =$

$$= \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}; \text{ en cambio, cuando el transistor se}$$

conecta con la base a masa (base común) y la señal de entrada se aplica al emisor, se denomina ganancia de corriente a la relación entre la corriente de colector I_C y la del emisor I_E . Esta ganancia de corriente se designa por la letra griega α y su valor siempre es menor que la unidad (es de alrededor 0'95, y en los buenos transistores puede llegar a 0'98).

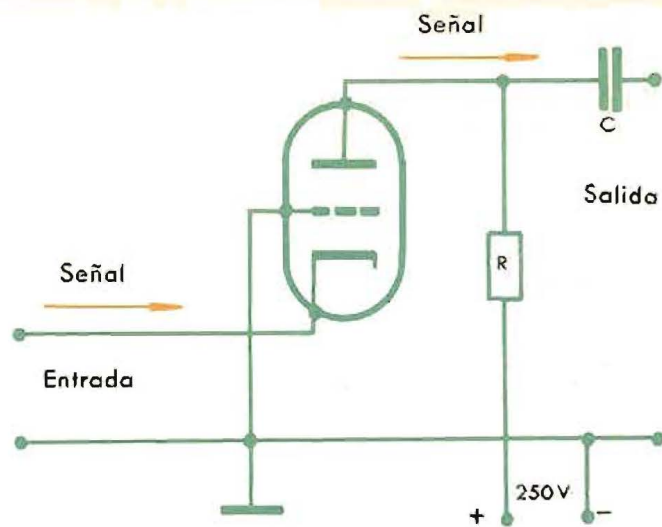
$$\text{Ganancia de corriente, } \alpha = \frac{I_C}{I_E} \sim 0'96 \dots 0'98$$

(circuito base común)

La comparación o relación que puede establecerse entre una y otra ganancia de corriente es la que expresa la siguiente fórmula:

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

en la que puede deducirse que, en un buen transistor, en que α se aproxima mucho a la unidad (0'98), la ganancia de corriente β con circuito emisor común será más elevada que la de otros tran-



Amplificador con válvula en montaje rejilla a masa.

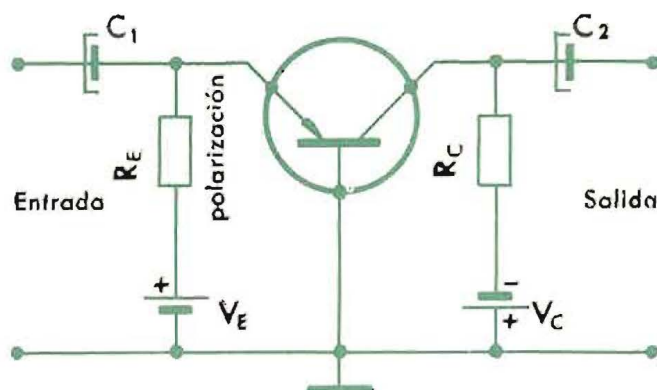
sistores con menor ganancia de corriente α . El que la ganancia de corriente α sea aproximadamente igual a la unidad quiere decir que la corriente que circula por el emisor es aproximadamente igual a la que circula por el colector.

Por otro lado, hemos mencionado que si se utiliza alguna vez el circuito de base común es porque proporciona gran ganancia de tensión. Vamos a explicar en qué consiste esta *ganancia de tensión*, concepto algo raro, puesto que en transistores siempre se trabaja con corrientes y con amplificaciones de corriente.

Teniendo en cuenta que el diodo colector-base está conectado en el sentido inverso y el diodo emisor-base lo está en el directo, la resistencia al paso de la corriente es mucho más elevada en el primer diodo que en el segundo. Por ello podríamos hablar de un aumento o ganancia de resistencia entre el circuito de entrada y el de salida. Aplicando la ley de Ohm hallaremos:

$$\text{Ganancia de corriente} \times \text{ganancia de resistencia} = \text{GANANCIA DE TENSIÓN}$$

La figura siguiente muestra el transistor conectado como amplificador de base común.

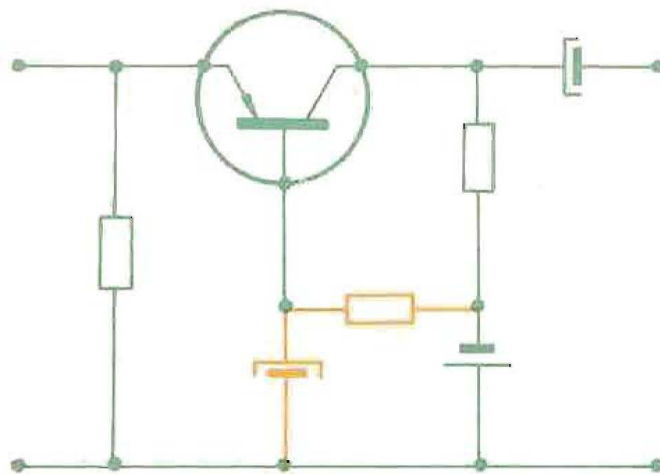


En primer lugar nos llaman la atención las dos baterías, una para la polarización positiva del emisor y otra para la polarización negativa del colector, en los dos casos con relación a la base.

En segundo lugar observemos cómo, en el circuito emisor común, los dos condensadores C_1 y C_2 sirven para acoplar (introducir) la señal de audio-frecuencia en el emisor del amplificador (C_1), y una vez amplificada en el colector acoplarla (introducir) al paso siguiente (C_2). En la figura se ha indicado que su valor puede ser desde $1 \mu F$ hasta $10 \mu F$. Estos valores de capacidad son elevados para acoplamiento, especialmente si estamos acostumbrados a los circuitos con válvulas, en los cuales el valor clásico es el de $10 KpF$. Ello es debido a que, como la impedancia de entrada de la etapa es baja (unos 1000Ω), conviene que la reactancia presentada por el condensador C_1 no supere los 100Ω , y por la misma razón la reactancia presentada por el condensador C_2 en la entrada de la etapa siguiente debe corresponder con la relativamente baja impedancia de entrada de dicho circuito. Para una mejor respuesta de frecuencia es deseable que la capacidad de los condensadores C_1 y C_2 sea muy elevada; teniendo en cuenta que las tensiones de trabajo son muy bajas (unos pocos voltios), pueden emplearse condensadores electrolíticos de gran capacidad, que se fabrican en tamaño reducido y son baratos.

La corriente que circula por el emisor depende del valor de la resistencia R_E ; R_C representa la carga y las tensiones de señal amplificada presentes en sus bornes al circular la corriente de colector se acoplan capacitivamente (C_2) a la etapa siguiente.

La necesidad de utilizar dos baterías para polarizar el transistor en el montaje con base común puede soslayarse polarizando la base me-

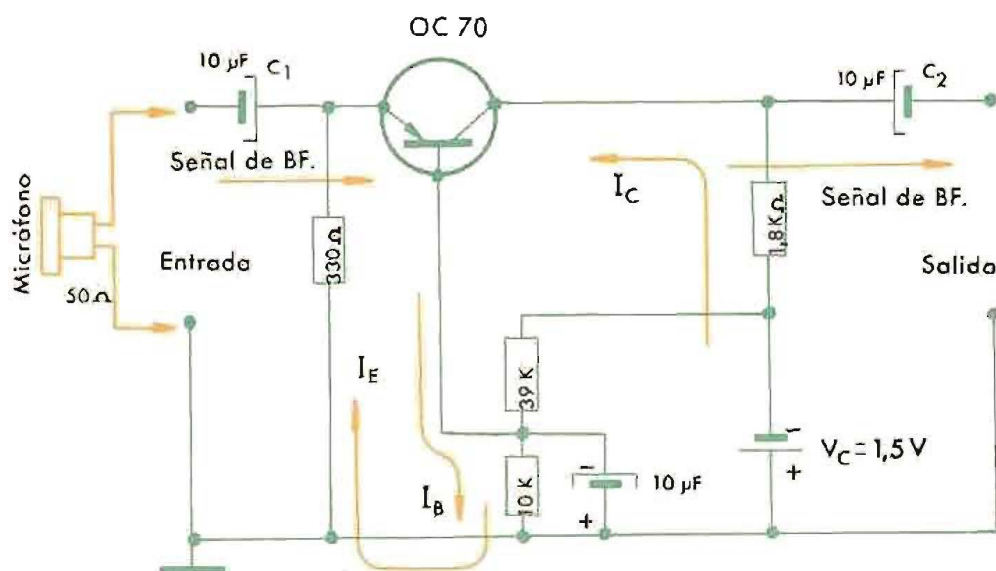


Montaje en base común, polarizado mediante una sola batería.

dianete una resistencia desde el negativo de la pila de colector; pero entonces se hace preciso desacoplar la base mediante un condensador de fuerte capacidad para que a efectos de las componentes variables pueda seguir considerándose como el electrodo común.

El montaje resulta más estable ante las variaciones de temperatura si se procura, tal como queda indicado en el montaje siguiente, polarizar la base mediante un divisor en lugar de emplear una sola resistencia.

Estos amplificadores se utilizan poco por causa de su poca ganancia de corriente. Un caso concreto y particular de utilización es el mostrado en la figura anterior para amplificar la señal de un micrófono electrodinámico de 50Ω (valor adecuado a la muy baja impedancia de entrada del amplificador). Si en lugar de la resistencia y condensador de entrada se utilizara un transformador podría obtenerse una reducción del consumo de la pila, ya que la corriente del emisor (recuer-



Amplificador de base común. En lugar de utilizar una batería adicional para la polarización positiva del emisor con respecto de la base, ésta se alimenta de un divisor de tensión que procura a su vez cierta estabilización.

dese que es de algunos miliamperios) al circular por la resistencia disipa una apreciable cantidad de energía en comparación con la total del circuito.

3. Colector común

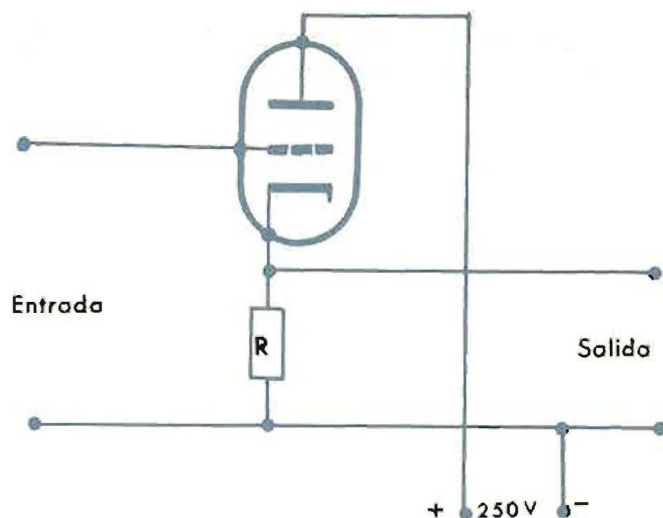
En este circuito amplificador del transistor la señal de entrada se aplica entre base y colector y, una vez amplificada, se recoge entre colector y emisor; es decir, el electrodo común a los dos circuitos es el colector.

Por su importancia práctica, el circuito de colector común es el segundo de los tres montajes fundamentales. Este montaje es equivalente al circuito seguidor catódico de un montaje con válvulas.

La figura siguiente muestra el circuito básico de colector común. Podemos observar que para una correcta polarización de los electrodos la batería debe conectarse con su polo negativo a masa y al colector (de un transistor PNP), y el polo positivo al emisor a través de su resistencia R_E , que en este caso constituye la resistencia de carga.

El circuito de colector común se utiliza principalmente como medio de adaptación de impedancias y porque tiene una elevada ganancia de corriente, que es lo que interesa en estas etapas, en lugar de una ganancia de tensión.

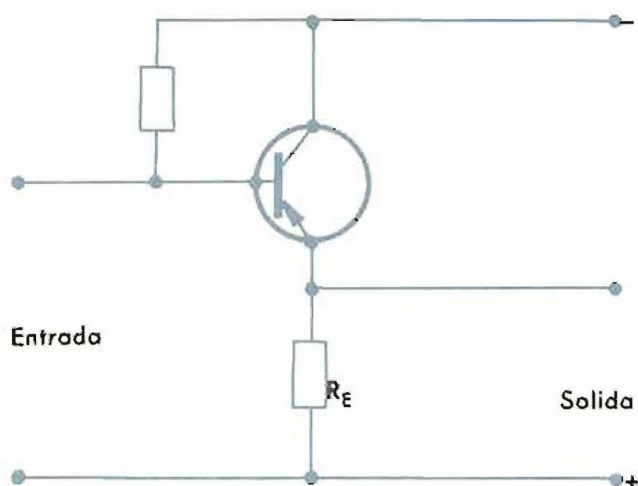
En este montaje la impedancia de entrada es muy elevada (50 K Ω o incluso 100 K Ω) y la de salida es muy reducida (generalmente menos de 100 Ω). Ello hace que sea muy apto en la etapa de salida para acoplar fácilmente la elevada impedancia de salida de un circuito emisor común



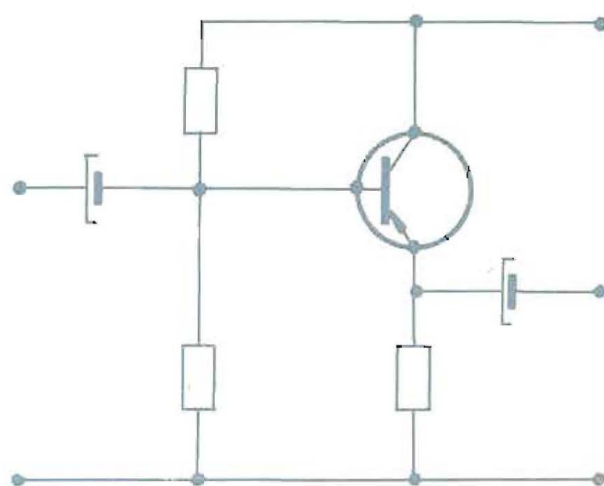
Amplificador con válvula en montaje catódico (seguidor catódico).

precedente con la baja impedancia de la bobina móvil, por ejemplo de 50 a 60 Ω , de un altavoz sin necesidad de interponer ningún transformador para adaptación de impedancias.

La ganancia de corriente de este circuito es elevada, casi tanto como la del montaje de emisor común, siendo generalmente de 45; pero en cambio su ganancia de tensión es siempre inferior a la unidad (a veces es 0'3), con lo cual las etapas amplificadoras de colector común hacen factible obtener una elevada ganancia de corriente sin prácticamente ganancia de tensión. También por esta razón el circuito de colector común es muy adecuado en etapas de salida, en las cuales se necesita una gran amplificación de corriente y no de tensión.



Amplificador de colector común.



Utilizando un divisor para polarizar la base se obtiene una menor deriva térmica.



**Estabilización térmica
de los transistores.**

**Estabilización
por realimentación negativa,
por diodo y por termistancia.**

**Acoplamiento
entre pasos amplificadores.**

**Pasos de salida simples
y en contrafase.**

LECCION 41

Estabilización térmica de los circuitos de transistores - Amplificadores de varios pasos - Acoplamiento en continua - Pasos de salida

Los circuitos que utilizan transistores pueden compararse siempre a los que utilizan válvulas termoiónicas. Así, en la lección anterior hemos visto que un transistor en conexión de emisor común es comparable al circuito de cátodo a masa de una válvula electrónica; que la conexión de base común en un transistor es equivalente al circuito de rejilla a masa, y que la conexión de colector común es análoga al circuito de seguidor catódico.

Teniendo en cuenta el reducido tamaño de los transistores y de los diodos de cristal, su robustez, larga vida y poco consumo, es lógico que estos dispositivos semiconductores hayan triunfado en el sector de los aparatos electrónicos portátiles, en los cuales han reemplazado por completo a las válvulas electrónicas.

Lo que es manifiesto para el aparato portátil comienza a serlo para las instalaciones fijas, aunque en éstas aún deban resolverse ciertos problemas. Así, se fabrican radiorreceptores con transistores, para instalaciones fijas o semifijas. En efecto, el transistor es antimicrofónico; como su resistencia (impedancia) de entrada es muy baja no es probable que se introduzca zumbido (tan temido en toda etapa preamplificadora); además, y pesar de lo que erróneamente se dice con demasiada frecuencia, si se adopta un montaje conveniente los transistores presentan un ruido propio interno menor que el de las válvulas.

Estas aplicaciones para instalaciones fijas han sido posibles con la extensión de la práctica en utilizar unidades rectificadoras con diodos semiconductores, con las cuales se sustituyen las baterías de alimentación. Muchos de los radiorreceptores portátiles de transistores están provistos de una toma o conexión para rectificador que hace factible conectarlos a la red de fluido eléctrico.

Lo mismo que en los equipos que emplean válvulas, los aparatos con transistores comprenden una o más etapas, cada una de las cuales tiene una función bien determinada. La calidad, tipo y número de etapas dependen del aparato de que forman parte; no obstante, siempre se ajustan a uno u otro circuito más o menos normalizado. (Pueden variar ligeramente según los materiales utilizados, según la tensión de alimentación, según el empleo, el fabricante, etc., pero en esencia corresponden a unos pocos circuitos bien estudiados.)

Los circuitos con transistores pueden clasificarse como lo fueron los de válvulas, es decir:

Amplificadores para baja frecuencia.

Amplificadores para alta frecuencia.

Osciladores.

Mezcladores.

Detectores.

En esta lección trataremos de los circuitos amplificadores de baja frecuencia, pero antes de dar comienzo a su estudio mencionaremos dos de las principales dificultades de utilización del transistor que encuentra el técnico o el radioaficionado acostumbrado a las válvulas: LA ADAPTACIÓN DE IMPEDANCIAS Y LA ESTABILIZACIÓN DE TEMPERATURA.

Las distintas etapas de un aparato electrónico deben estar eléctricamente acopladas entre sí de modo que la salida de una etapa sea también la entrada de la siguiente. Es decir, la impedancia de salida de una etapa debe estar adaptada en forma correcta a la impedancia de entrada de la etapa siguiente para obtener la máxima transferencia de potencia.

Un amplificador, como su nombre indica, tiene la función de amplificar algo: una señal (una corriente o una tensión), lo que equivale a decir que un amplificador siempre va acoplado a otro dispositivo (micrófono, detector, etc.).

En el caso de emplear válvulas se tiene la costumbre de considerar como infinita la resistencia de entrada de un paso de amplificación. En cambio, si se utilizan transistores la impedancia de entrada es muy baja (muchas veces sólo $1000\ \Omega$ en las etapas previas y algunos ohmios en las de potencia); y como la de salida acostumbra ser unas cinco veces más elevada que la de entrada,

debe procederse a una adaptación de impedancia para acoplar una etapa a la siguiente.

Esto se logra muchas veces por medio de un transformador reductor de B.F. o de R.F., según sean las etapas. En otros casos, con el fin de reducir el volumen y precio del aparato, se utiliza un acoplamiento del tipo de resistencia-capacidad, como en los pasos equipados con válvulas.

INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS TRANSISTORES Y SU ESTABILIZACION

En repetidas ocasiones hemos hecho hincapié en la gran influencia de la temperatura en el funcionamiento de los semiconductores. Además, y sobre todo, éstos son muy sensibles a los cambios, ya que un aumento de temperatura hace que un número mayor de electrones de valencia abandone la órbita del átomo de material, provocando un estado cada vez más excitado o acelerado.

Esta excitación más o menos intensa varía la conducción electrónica, la amplificación, etc., del transistor.

Cuando en un circuito se utilizan válvulas electrónicas, las características del circuito no se modifican porque las válvulas funcionan en unas condiciones o punto de trabajo de la recta de carga que permanece invariable durante el funcionamiento. Cuando en un circuito se utilizan transistores, también se elige un punto determinado de trabajo —como ya hemos visto en la lección anterior— de acuerdo con el funcionamiento que se proyecta; y las características del transistor tienen valores bien definidos para cada punto de trabajo. Pero los efectos térmicos pueden desplazar el punto de trabajo del transistor, por lo que conviene tomar medidas para estabilizar los valores de las corrientes continuas que caracterizan dicho punto de trabajo típico.

En el diodo colector-base se producen dos efectos térmicos. El aumento de la corriente de colector causa un incremento de la potencia disipada en este electrodo, el cual produce a su vez un incremento de la temperatura de la unión PN de este diodo del transistor; en segundo lugar, el aumento de temperatura de la unión hace que la corriente de colector aumente rápidamente debido a la liberación cada vez más elevada de huecos y electrones por excitación térmica. Si no logra estabilizarse en cierto valor la corriente de colector, se corre el riesgo de que la temperatura

aumente sin cesar y termine por provocar la destrucción del transistor.

Para reducir el calor retenido en el mismo cuerpo del transistor se construye éste en forma adecuada para que lo disipe con facilidad, o se le dota de aletas de refrigeración. En cambio, para evitar las variaciones de temperatura —o sea, asegurar la estabilidad térmica— se debe ajustar correctamente el circuito buscando un buen punto de trabajo en el centro de la recta de carga, por medio de una resistencia de colector, y aplicando realimentación negativa u otro sistema estabilizador.

El problema de la estabilidad del amplificador ante los cambios de temperatura es mucho menos crítico en el montaje de base común que en los de emisor o colector común.

En efecto, el diodo colector-base está conectado en sentido inverso; cuando no fluye corriente por el diodo emisor-base, en aquel diodo sólo se produce una pequeña corriente de fuga I_{co} (unos $10\ \mu A$), el valor de la cual depende de cada transistor y de la temperatura. (Esta corriente de fuga es independiente de la corriente de emisor cuando circula corriente por este electrodo.) En el circuito de base común —es decir, en el que la base es común a los circuitos de entrada y de salida— la corriente total I_c que fluye por el colector está formada por la corriente amplificada del emisor (αI_E) más la de fuga I_{co} :

$$I_c = \alpha I_E + I_{co}$$

Pero como en el transistor de unión en circuito de base común la corriente de emisor es de algunos miliamperios y la ganancia de corriente α es ligeramente inferior a la unidad ($\alpha = 0.95$), la corriente amplificada en el colector (αI_E) es del mismo orden; la corriente de fuga del colector es despreciable comparada con las otras dos y, por

tanto, cualquier variación de ésta por influencia de la temperatura no afecta a la potencia disipada en el colector:

$I_E = \text{algunos mA}$

$\alpha I_E = \text{algunos mA}$

$I_{co} = \text{algunos } \mu A$

$$I_C = \alpha I_E + I_{co} \approx I_E \approx 0.95 I_R$$

Como consecuencia, en general, no será necesario estabilizar el circuito emisor común.

A diferencia del amplificador de base común, el de emisor común debe estabilizarse ante los cambios de temperatura. En este circuito de emisor común también circula corriente de fuga I_{co} a través del diodo colector-base polarizado en sentido inverso; pero ahora sí que tiene influencia por lo que se indica a continuación.

En la lección anterior se indicó, al definir los tres circuitos fundamentales del transistor, que en el de emisor a masa la ganancia de corriente está dada por la variación de la corriente de colector con relación a la variación de la corriente de base, designándose tal ganancia con el símbolo β .

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

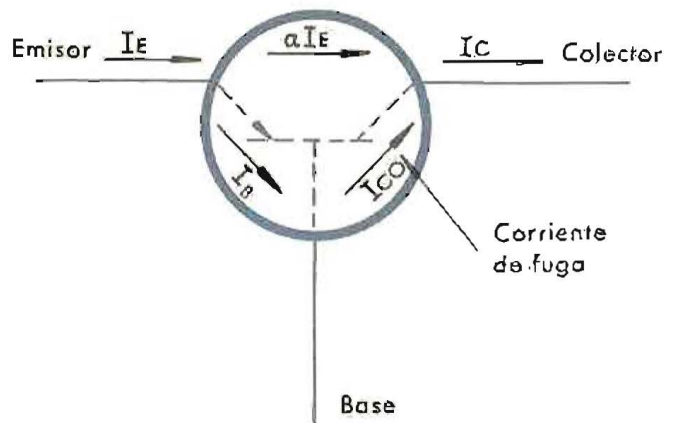
que está relacionada con la ganancia de corriente con base común por la relación

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \frac{\text{Variación corriente colector}}{\text{Variación corriente emisor}}$$

Los valores más usuales de β son del orden de 30 y pueden llegar a 50 y más.

En el amplificador de emisor común la corrien-



te total de colector I_C está dada por la fórmula siguiente:

$$I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{co}$$

Cuando el transistor está sometido a grandes variaciones de temperatura la corriente total de colector puede variar en forma muy pronunciada, lo que modifica seriamente su funcionamiento, ya que la corriente de fuga I_{co} varía en modo muy apreciable con la temperatura de la unión PN y todo aumento de esta corriente queda amplificado treinta, cincuenta o más veces según sea el factor β . Si la corriente de fuga I_{co} aumenta, también aumenta sensiblemente la corriente total de colector I_C (obsérvese la fórmula anterior) y la unión PN de colector-base se calienta más; al aumentar la temperatura de la unión, aumenta de nuevo la corriente de fuga I_{co} , que de nuevo incrementa la corriente total I_C ; a su vez ésta calienta aún más la unión, y así sucesivamente hasta la inutilización del transistor.

Para evitar los efectos de las variaciones de temperatura pueden utilizarse diferentes circuitos de estabilización, los más importantes de los cuales vamos a examinar a continuación.

ESTABILIZACION POR POLARIZACION AUTOMATICA

La figura siguiente muestra el circuito básico de un transistor conectado con emisor común —es decir, con la resistencia de carga del colector R_C y la resistencia de polarización de la base R_B calculadas para un punto de trabajo situado aproximadamente a mitad de la tensión de batería en la curva característica, tal como se explicó en la lección anterior.

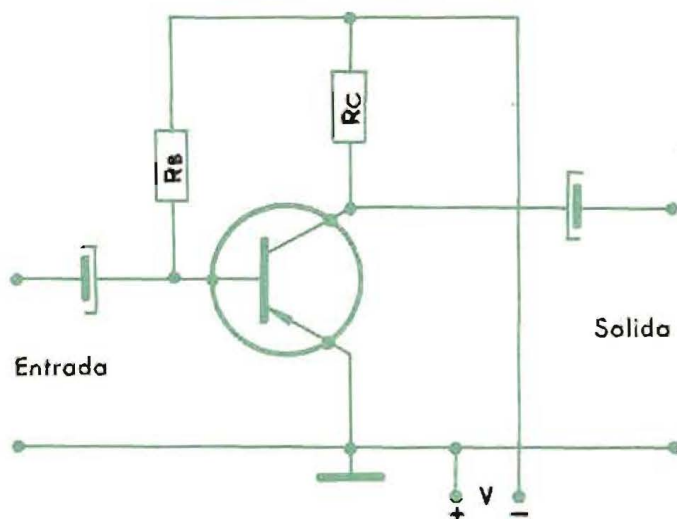
El método de estabilización más sencillo consiste en polarizar la base conectando la resisten-

cia R_B al colector en lugar de hacerlo directamente a la batería.

El valor de R_B se calcula en la forma siguiente:

$$R_B = \frac{V_{CE}}{I_B} = \frac{V - I_C \times R_C}{I_B}$$

Al aumentar la intensidad de colector I_C a causa de un aumento de la temperatura del ambiente,



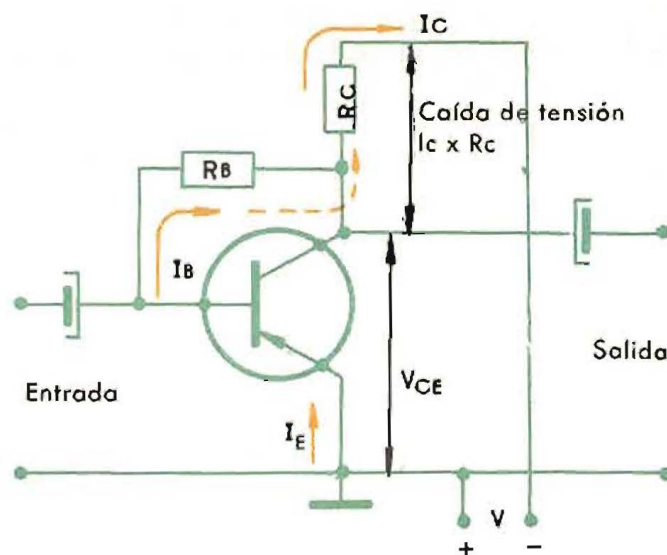
Amplificador básico de emisor común (no estabilizado).

aumenta la caída de tensión en la resistencia R_C (caída de tensión $= I_C \times R_C$); y por tanto disminuye la tensión V_{CE} en el electrodo del colector, ya que:

$$V_{CE} = V - I_C \times R_C$$

De ello se sigue que la corriente de base I_B también disminuye porque la tensión en bornes de la resistencia R_B es menor. (En el circuito básico sin estabilización no disminuiría porque quedaba conectada directamente a la tensión de la batería, que es constante.)

$$I_B = \frac{V_{CE}}{R_B} = \frac{V - I_C \times R_C}{R_B}$$



Amplificador de emisor común estabilizado por realimentación en paralelo.

Al disminuir I_B también disminuye la corriente de colector I_C , con lo cual se compensa el momento inicial de dicha corriente de colector. A este sistema se le denomina de autopolarización, o polarización automática, porque la corriente de base varía automáticamente al variar la del colector, de forma que el punto de trabajo se mantiene siempre en el punto de la recta de carga en que se había calculado.

A este método también se le llama de realimentación en paralelo entre base y colector, por constituir una verdadera realimentación de corriente continua y corriente alterna desde el colector a la base, con lo cual se reduce la amplificación de la etapa. Ahí precisamente es donde radica el inconveniente de este método.

ESTABILIZACION POR REALIMENTACION DE CORRIENTE CONTINUA

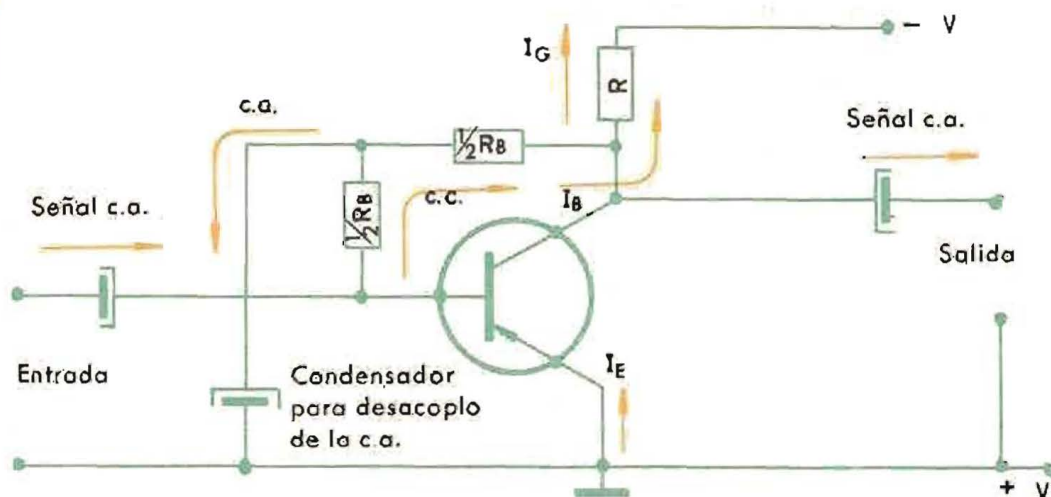
El mismo circuito estabilizado por autopolarización descrito antes puede mejorarse eliminando o atenuando la pérdida de amplificación debida a la realimentación de corriente alterna (señal). Para ello se subdivide en dos la resistencia de

base; desacoplando a masa el punto central de unión, se deriva a masa la realimentación de c.a., con lo cual la estabilización se consigue solamente por la realimentación de c.c., pues el condensador no impide las variaciones muy lentas de tensión.

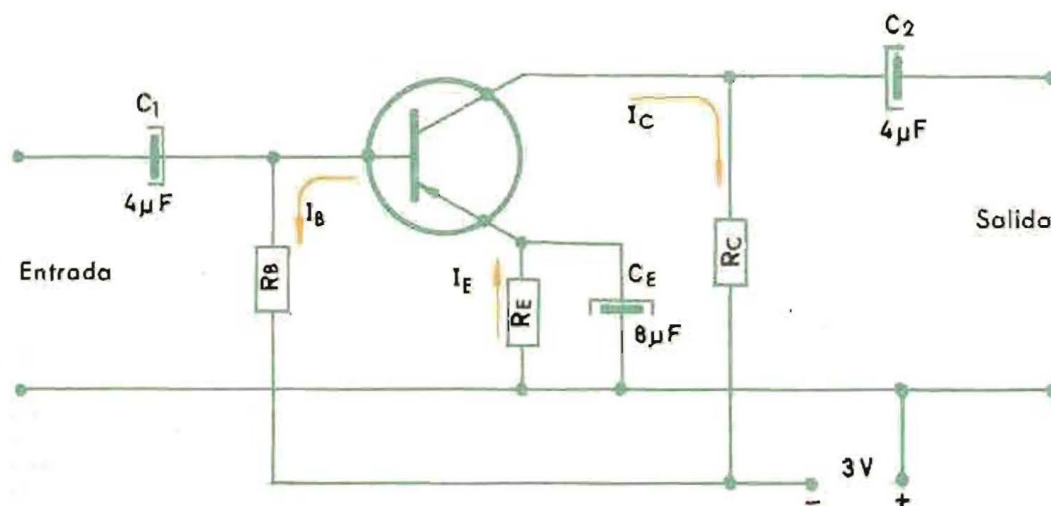
ESTABILIZACION POR REALIMENTACION SERIE DE CORRIENTE

Ninguno de los transistores de una serie de fabricación del mismo tipo presenta exactamente las mismas características individuales (el fabricante da siempre unas características típicas que pueden considerarse como promedio de las del conjunto). Para compensar las diferencias existen-

tes entre las características reales del transistor y las indicadas por el fabricante, así como para compensar algo las diferencias que puedan introducir los cambios de temperatura en el transistor, se intercala una resistencia R_E en el circuito de retorno del emisor.



Amplificador emisor común estabilizado por realimentación en paralelo de c.a.

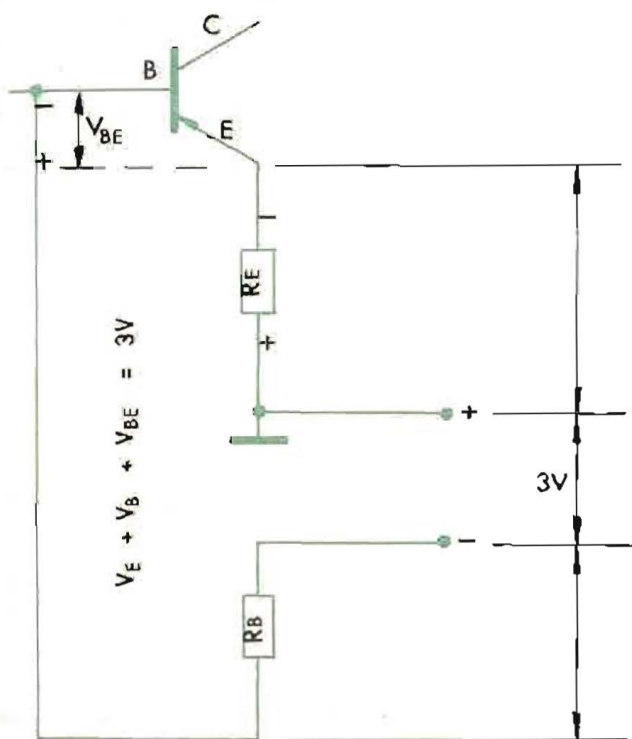


Amplificador con transistor en circuito de emisor común estabilizado con resistencia de emisor (por contrarreactión serie de corriente).

Recordaremos que la cuantía de la corriente que circula por el emisor está en la siguiente proporción con relación a la del colector:

$$I_C = I_E + I_{CO} \approx \alpha I_E \approx 0.95 I_E$$

Es decir, en el montaje de la figura anterior el 95 por 100 de la corriente de colector fluye a través de la resistencia R_E del emisor, produciendo una caída de tensión que sirve para hacer negativo el emisor respecto a masa. Como, por otro lado, la base también es negativa con relación a masa, la polarización entre emisor y base se obtiene por la diferencia entre la caída de tensión en R_B y en R_E (esta última, menor que la anterior).



La polarización de la base con respecto del emisor se obtiene por la tensión resultante de la diferencia de caídas de tensión en las resistencias R_B y R_E . $V_{BE} = V_B - V_E$.

Supongamos ahora que se eleva la temperatura de la unión PN del diodo colector-base: la primera consecuencia es que aumenta la corriente inversa de fuga I_{CO} de este diodo, por lo que también aumenta la caída de tensión en la resistencia R_E .

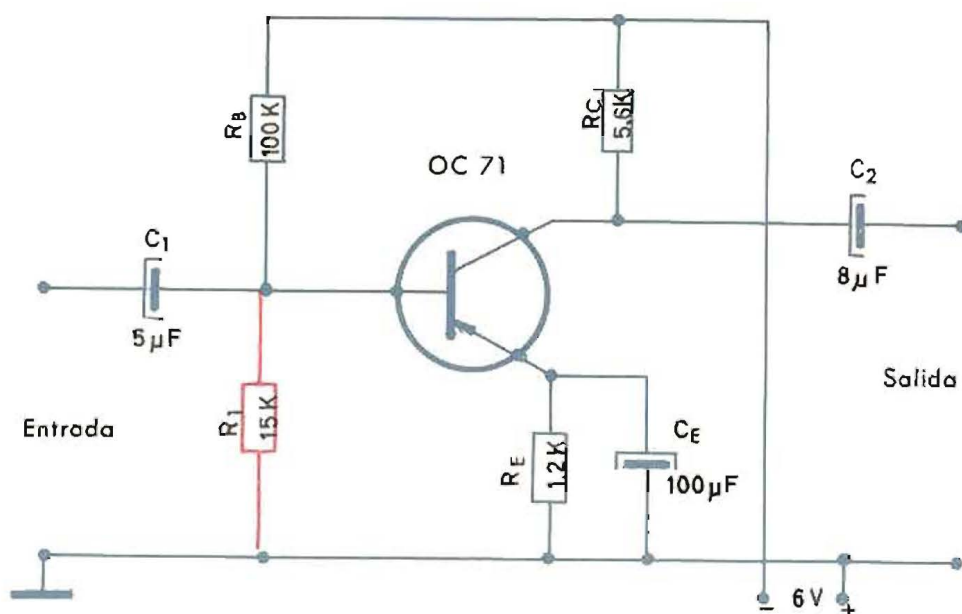
Si la tensión en bornes de R_E aumenta, la diferencia de caídas de tensión —o sea, la tensión aplicada entre los electrodos de base y emisor— es menos negativa que antes, y como consecuencia circula menos corriente por el emisor. Si por el diodo emisor-base circula menos corriente, las cargas que se dirigen al colector también son menos en el colector. O sea: cuando sube la temperatura de la unión del colector, la corriente de fuga I_{CO} aumenta y reduce la polarización del emisor, con lo que la corriente emisor-base también se reduce y las cargas a corriente de colector se reducen compensando el aumento inicial.

En definitiva, la estabilización se obtiene por la resistencia del emisor R_E .

Conviene que esta resistencia R_E esté desacop-

plada por un condensador (lo mismo que la resistencia de cátodo de una válvula) para derivar a masa la componente alterna.

El método de corrección del efecto de temperatura más utilizado en la práctica es el que se representa en el montaje de la figura siguiente. La tensión de polarización de la base se estabiliza por medio del divisor de tensión formado por las resistencias R_1 - R_B ; y la del emisor por la resistencia R_E , desacoplada por el condensador C_E . Igual que en el circuito anterior (este circuito es el mismo que aquél; sólo difiere por la adición de la resistencia R_1), cuando la corriente de emisor aumenta a consecuencia de un calentamiento, también aumenta la caída de tensión en los bornes de R_E . De ello se deduce una disminución de la diferencia de potencial entre emisor y base, que tiende a compensar la variación inicial de la corriente de colector. Esta corrección es tanto más eficaz cuanto mayor sea la resistencia R_E del emisor y menor la del divisor de tensión formado por R_B y R_1 .



Amplificador con transistor en circuito de emisor común estabilizado por contrarreacción serie de corriente. Este es el circuito más utilizado en los montajes con transistores. Su principio es el mismo que el de la figura anterior y sólo difiere de la misma por la adición de la resistencia R_E , que procura una estabilización suplementaria de la tensión de polarización de la base con relación al emisor.

ESTABILIZACION CON TERMISTANCIA

Si se desea obtener una estabilización de temperatura mejor que la que permite realizar un montaje de contrarreacción —el cual, además, si es de contrarreacción serie de corriente introduce una caída de tensión a través de la resistencia del emisor R_E (en una etapa de salida es conveniente disponer de la totalidad de la tensión de alimentación)— puede utilizarse una resistencia de coe-

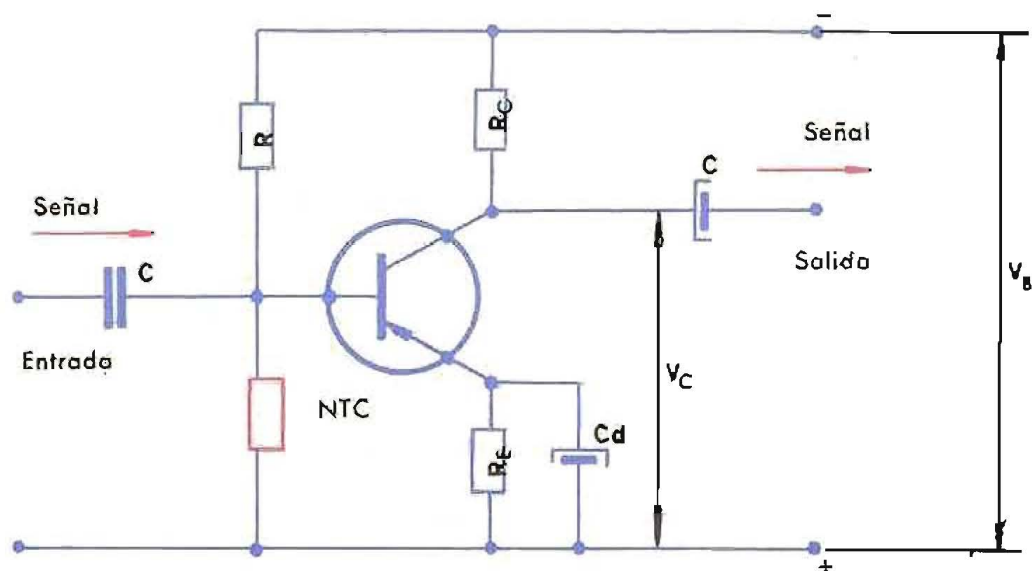
ficiente negativo de temperatura (NTC) o termistancia.

El valor de las resistencias NTC disminuye cuando aumenta la temperatura (al revés que en los conductores), compensado así el efecto de las variaciones de temperatura. En efecto, si la temperatura aumenta hay tendencia a que circule mayor corriente por el transistor; pero como el va-

lor de la resistencia NTC disminuye al aumentar la temperatura, se reduce la tensión en sus bornes. Como resultado, disminuye la corriente de base y se compensa así el aumento de la corriente de colector.

Por medio de termistancias NTC puede obte-

nerse una compensación completa de los cambios de temperatura ambiente; en cambio, no se compensan los sobrecalentamientos internos del colector, por lo que en los circuitos prácticos se mantiene la resistencia de emisor R_E desacoplada de masa por condensador C_d .

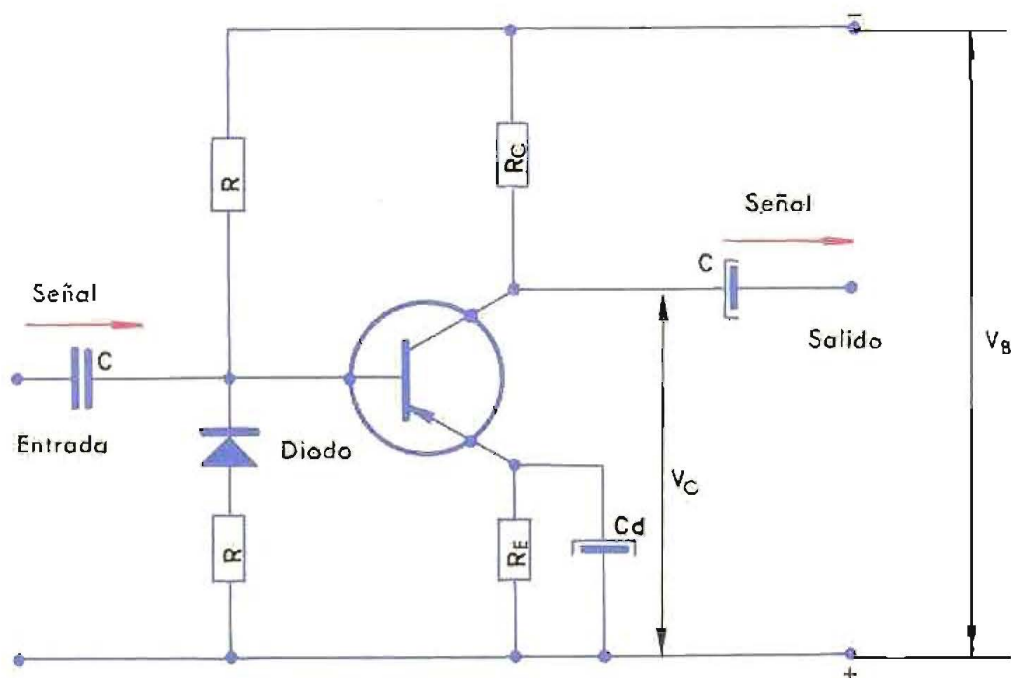


Estabilización térmica con termistancia (NTC). Circuito similar al de estabilización por contrareacción serie de corriente, pero sustituyendo la parte de "base" del divisor de tensión.

CORRECCION POR DIODO

La tensión en los bornes de un diodo de germanio recorrido por una corriente continua y constante varía en función de la temperatura, como la de emisor-base de un transistor. Utilizando, pues, un diodo puede modificarse la relación del divisor de tensión de manera que la tensión

de base sea siempre tal que la corriente de colector resulte independiente de la temperatura. Al igual que con una termistancia, la corrección por diodo sólo compensa los cambios de temperatura ambiente; por ello, seguirá utilizándose la resistencia desacoplada de emisor.



Estabilización térmica por diodo.

AMPLIFICADORES DE VARIAS ETAPAS

Los amplificadores de transistores, igual que los amplificadores de válvulas, raramente constan de una sola etapa, sino que se agrupan en dos, tres o más etapas sucesivas. En los amplificadores de válvulas la conexión de una etapa a la siguiente por lo general no presenta ningún problema, ya que la impedancia de entrada es tan elevada o más como la de salida. Por ello estamos acostumbrados a interconectar circuitos de válvulas casi sin mencionar cuestión alguna de acoplamiento.

Pero en los amplificadores de transistores —y en especial en los de circuito de emisor común, que son los más utilizados— la impedancia de entrada es del orden de $1000\ \Omega$ y la de salida incluso de $20.000\ \Omega$. En principio, una conexión directa entre etapas produce una notable pérdida de amplificación debido a la mala adaptación de impedancias (en realidad, al no adaptarse los valores de impedancia de salida y de entrada). En algunos casos se admite esta reducción de amplificación, y entonces se utilizan más etapas.

Para la conexión correcta, adaptando las impe-

dancias, puede utilizarse un transformador reductor construido de forma que el número de espiras del primario presente una impedancia (a las frecuencias de trabajo usuales del amplificador) de valor similar a la de salida de una etapa, y en el que el número de espiras del secundario sea tal que su impedancia a las frecuencias de trabajo concuerde con la impedancia de entrada de la etapa siguiente.

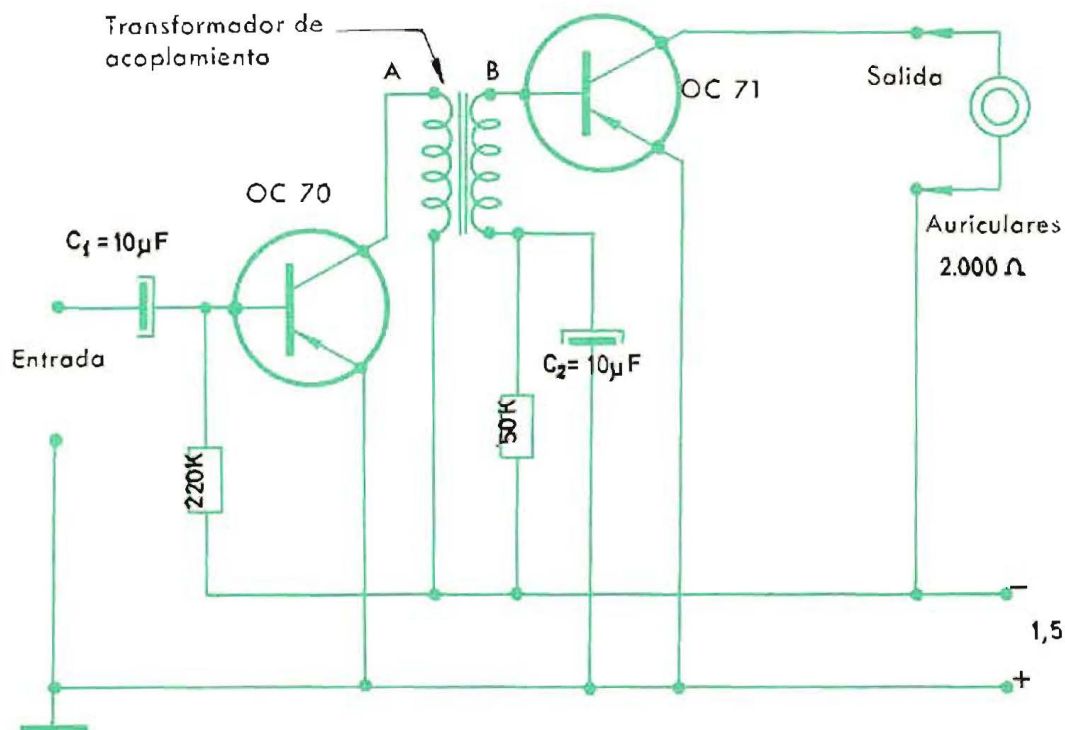
En los circuitos de transistores se utilizan transformadores miniatura para que el espacio que ocupan no impidan que un amplificador de transistores sea de tamaño reducido.

Otra solución para la adaptación de impedancias es la del acoplamiento por resistencia-capacidad. Este método presenta sobre el anterior la ventaja de que si está bien proyectado tiene mejor respuesta de frecuencia; además, el precio de los componentes de un acoplamiento por resistencia-capacidad es menor que el de un transformador. No obstante, el acoplamiento por transformador sigue utilizándose con ventaja en ciertos casos.

ACOPLAMIENTO POR TRANSFORMADOR

Utilizando un determinado número de transistores, el acoplamiento por transformador proporciona la mayor ganancia de potencia.

La figura siguiente muestra un amplificador de dos transistores acoplados mediante un transformador.



Amplificador de dos transistores acoplados por transformador. Este circuito puede utilizarse, por ejemplo, para amplificar la señal de un detector con diodo de germanio.

En este amplificador las resistencias de 220K y de 50K se destinan a la polarización de base-emisor. El condensador C_1 deja paso a la señal de frecuencia de entrada e impide el de la tensión continua de base. El condensador C_2 desacopla la resistencia de polarización del segundo transistor.

ACOPLAMIENTO POR RESISTENCIA-CAPACIDAD (RC)

Un amplificador de varias etapas acopladas por transformador proporciona mayor ganancia que con otros acoplamientos, porque pueden construirse los devanados de forma que su impedancia corresponda con la del circuito a que van conectados. En cambio, en un acoplamiento RC no es posible conseguir una impedancia suficientemente idéntica a la del circuito. Así, con tres etapas acopladas por resistencia-capacidad se obtiene una ganancia que no es mucho mayor que la de dos etapas acopladas por transformador; sin embargo, considerando el precio y el espacio que ocupa un transformador, en general se prefiere el acoplamiento RC.

La figura siguiente muestra el esquema de un amplificador de tres etapas con emisor común, acopladas por RC, que proporciona aproximadamente la misma ganancia que el de la figura anterior de dos etapas acopladas por transformador.

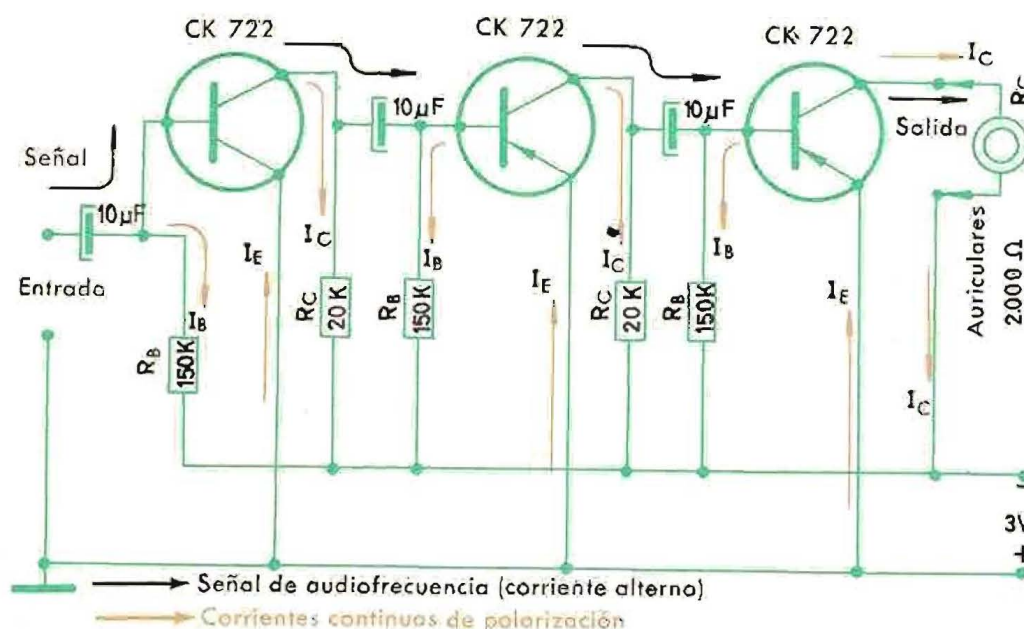
En este circuito, variando en aumento o en disminución el valor de R_c (resistencias de co-

Dado que en los circuitos de emisor común la impedancia de salida es de unos 20.000 Ω y la de entrada de 1000 Ω , la relación de transformación será de:

$$h = \sqrt{\frac{Z_B}{Z_A}} = \sqrt{\frac{20.000}{1000}} = \frac{4'5}{1} = 4'5 : 1$$

lector de 20K Ω) puede obtenerse la ganancia óptima de corriente. Si se hace demasiado grande R_c se provoca una excesiva caída de tensión que reduce demasiado la tensión de polarización en el colector; pero si se hace demasiado pequeña la amplificación es insuficiente. Los valores prácticos de R_c están comprendidos entre 5K y 20K Ω . El punto de funcionamiento se elige ajustando la polarización de base por medio de la resistencia R_B (resistencias de base, en la figura, de 150K Ω); según sea la corriente de colector el valor de las resistencias R_B varía entre 150K Ω y 1 M Ω .

El circuito descrito no está estabilizado ante las variaciones de temperatura, por lo que sólo es utilizable en un ambiente cuya temperatura sea casi constante y debe prestarse atención a no exponerlo al sol. Por tanto, es conveniente que le apliquemos una estabilización de corriente continua —en realidad una realimentación de corriente— que además sirva para contrarrestar las



Amplificador de tres etapas acopladas por resistencia-capacidad. Este amplificador provee una ganancia aproximadamente igual a la del amplificador de dos transistores acoplados por transformador de la figura anterior. (En esta figura se han designado los transistores según el código de ciertos fabricantes americanos.)

pequeñas diferencias entre las características de unos transistores y las de otros.

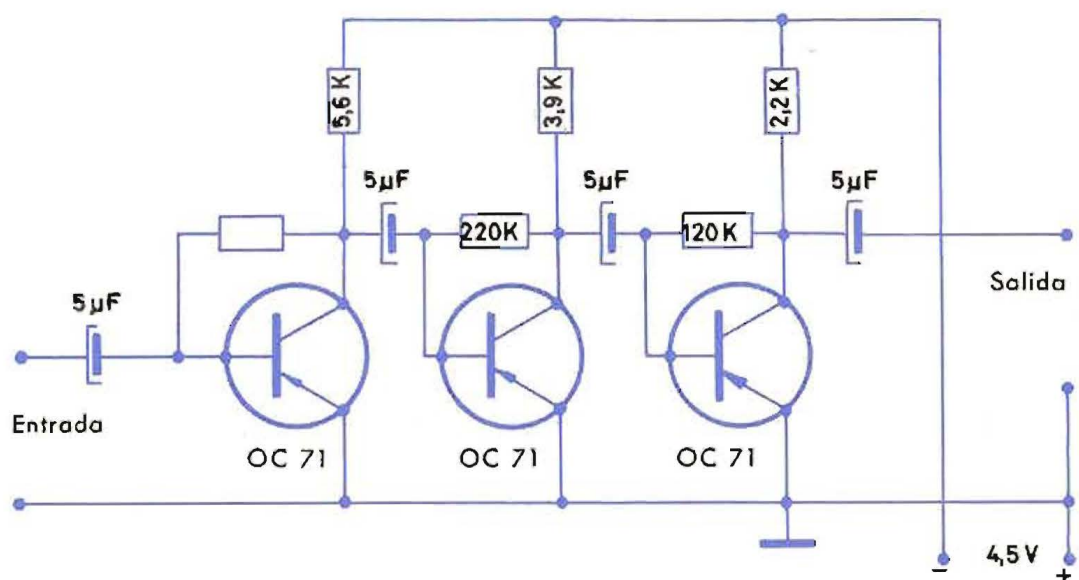
Una solución sencilla consiste en el método de autopolarización ya descrito, el cual consiste en conectar la resistencia de base directamente al colector, en lugar de hacerlo al negativo de la batería.

La figura siguiente muestra un amplificador de tres etapas al que se ha aplicado estabilización de temperatura por realimentación de corriente o autopolarización.

Debe hacerse la observación de que en los amplificadores de varias etapas (tres, cuatro o más) es conveniente insertar un filtro RC en la alimentación de la batería o fuente de alimentación. Este filtro desacoplador consiste en una resistencia en serie y un condensador electrolítico en derivación; es decir, en forma muy parecida

a la del filtro de aplanamiento de la corriente pulsatoria obtenida de un rectificador. Se acostumbra intercalar este filtro entre la etapa final del amplificador y una etapa previa; sirve para compensar la influencia de la impedancia interior de la batería en el acoplamiento de impedancia interetapas.

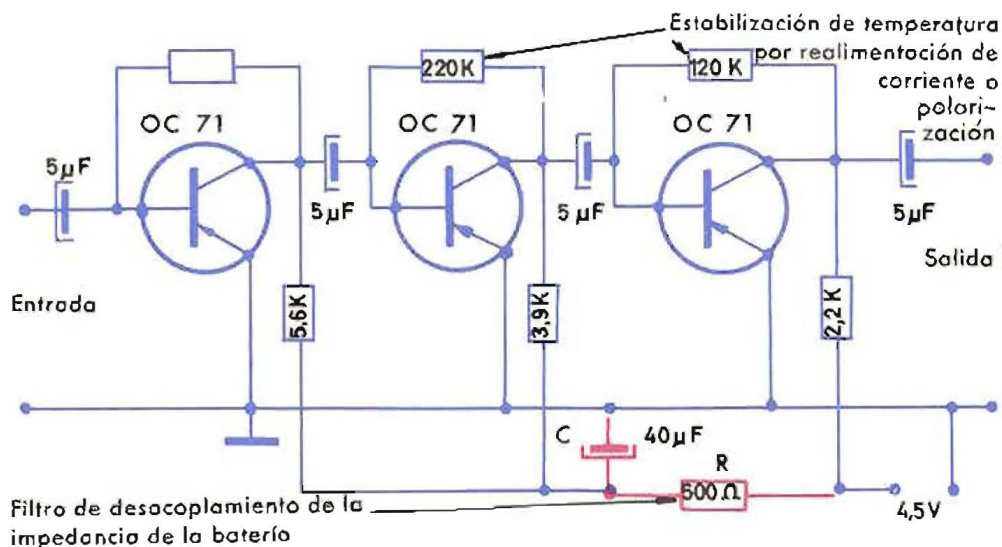
Conviene que la resistencia en serie no sea de valor elevado, para que la caída de tensión que inevitablemente produce no reduzca de modo excesivo la tensión de alimentación de las etapas previas. (Recuérdese que los transistores, como las válvulas, proporcionan mayores ganancias o amplificación con mayores tensiones del alimentación.) Sin embargo, cuanto menor sea el valor de la resistencia de filtro mayor deberá ser el del condensador en derivación para obtener una determinada acción de desacoplamiento.



Amplificador estabilizado de tres etapas acopladas por resistencia-capacidad, con transistores en circuito de emisor común.

La figura siguiente muestra el circuito anterior dotado de filtro de desacoplamiento. Los va-

lores de R y de C son orientativos y pueden variar de un amplificador a otro.



Amplificador estabilizado de tres etapas (emisor común) acopladas por resistencia-capacidad. Este esquema es el mismo que el de la figura anterior, pero se le ha añadido un filtro de desacoplamiento de la alimentación para contrarrestar el efecto que la impedancia interna de la batería produce en las características del acoplamiento RC interetapas.

ACOPLAMIENTO DIRECTO

Los amplificadores de varias etapas acopladas por transformador o por RC son los usualmente utilizados, aunque en casos especiales también se emplea a veces el acoplamiento directo. Al acoplamiento directo también se le denomina de corriente continua porque ningún componente (devanados de un transformador o un condensador) interrumpe o dificulta el paso de corriente continua de la salida de una etapa previa a la entrada de la siguiente.

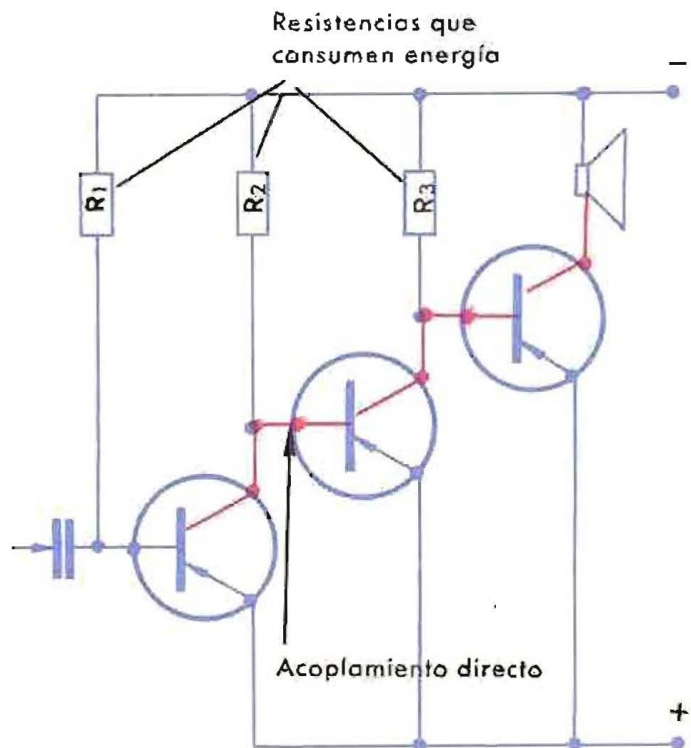
Un verdadero acoplamiento directo entre etapas consistiría en aplicar directamente el electrodo de salida de la etapa previa al electrodo de mando de la etapa siguiente; es decir, en un montaje con emisor común, en conectar directamente el colector de la etapa anterior a la base de la etapa siguiente. Para que ello sea posible el colector de la primera etapa habría de estar alimentado a una tensión bajísima, ya que al mismo tiempo polarizaría a la base de la etapa siguiente (sabemos que la tensión de colector-emisor es diez o más veces superior a la tensión de base-emisor); el colector de la otra etapa habría de estar polarizado, por ejemplo, unas diez veces más elevado, y así sucesivamente. Ello hace que tal circuito raramente se utilice en la práctica, ya que para disponer de diferentes tensiones de colector sería necesario emplear diferentes pilas de tensión creciente, o establecer las V_C por caídas de tensión en resistencias alimentadas por una batería de tensión bastante elevada. (Además, las resistencias consumirían energía por efecto Joule.)

Un amplificador de varias etapas acopladas directamente también puede realizarse con circuito de colector común, conectando el emisor de un transistor a la base del siguiente. Tal amplificador tiene las características generales del montaje fundamental de colector común (gran amplificación de corriente, pero ganancia de tensión nula).

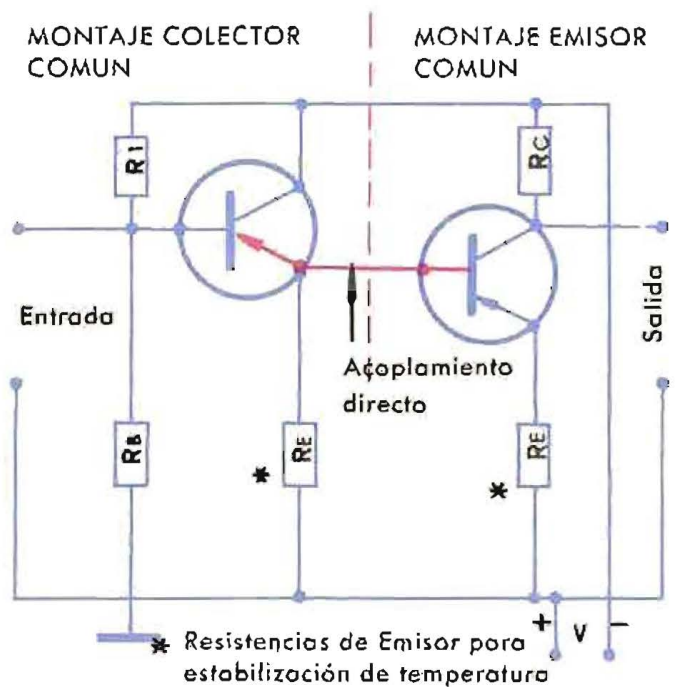
Otro ejemplo de un caso particular de acoplamiento directo es el de la figura siguiente.

El circuito está estabilizado contra las variaciones de temperatura por las resistencias de emisor R_E . La primera no está desacoplada por ningún condensador, ya que la señal se toma en ella (si no derivaría a masa). Este circuito es posible porque, como sabemos, el montaje de colector común proporciona una impedancia de salida muy baja, adecuada a la baja impedancia de entrada del montaje emisor común.

Existen otros tipos especiales de amplificadores de acoplamiento directo, como los que utili-



Acoplamiento directo. Sólo es posible si las corrientes y tensiones de colector son muy diferentes entre una etapa y otra.



Amplificador estabilizado de dos etapas acopladas directamente. La primera etapa es de colector común; la señal de salida tomada del emisor se aplica a la base de la etapa siguiente de emisor común.

zan combinaciones de transistores PNP de germanio con NPN de silicio; pero su empleo no está muy extendido.

RUIDO DE FONDO DE LOS AMPLIFICADORES DE TRANSISTORES

En otra lección indicamos que una de las desventajas que se achacan a los transistores es la de que producen un ruido de fondo mucho más elevado que el de los montajes de válvulas, y dijimos que ello no es cierto si el circuito está bien diseñado.

Se entiende por ruido de fondo el que se superpone a la señal en la entrada y en la salida del amplificador y que se hace patente en ausencia de señal. El ruido propio de un transistor es de origen térmico (es debido al desplazamiento de cargas «excitadas») y se amplifica por cada etapa sucesiva a la del transistor considerado. El ruido de un amplificador es el conjunto de ruidos de cada uno de sus transistores, amplificados y sumados. Ahora bien, el ruido que será más amplificado es el de la primera etapa; y es precisamente éste el que condiciona el nivel de ruido total del amplificador. En efecto, la ganancia de la primera etapa es lo suficientemente ele-

vada, en general, como para que el ruido de las otras sea secundario.

En la práctica, para proyectar un amplificador con transistores de bajo nivel de ruido basta, por tanto, con elegir para la primera etapa un transistor cuyo factor de ruido sea particularmente bajo. En la actualidad se fabrican transistores con esta cualidad, por lo que el problema del ruido de un amplificador de transistores se reduce prácticamente al de la resistencia de entrada.

Además, el nivel de ruido de un transistor depende de la frecuencia de trabajo y de la corriente y tensión de colector. El nivel de ruido es tanto más bajo cuanto más reducida sea la tensión de colector. Por tanto, si se emplea para la primera etapa un transistor de un tipo que tenga bajo nivel de ruido, y se le alimenta de forma que la corriente y tensión de colector sean lo más reducidas posible, se obtiene un amplificador prácticamente exento de ruido.

CONTROL DE VOLUMEN

Hasta aquí se han considerado diferentes amplificadores, ninguno de los cuales dispone de un dispositivo adecuado para regular a voluntad su ganancia. No obstante, el regulador de volumen es indispensable en todo amplificador.

En los amplificadores de transistores el control de volumen debe proyectarse con mayor cuidado que en los circuitos con válvulas, de forma que el tipo de conexión adoptado no afecte a las corrientes de funcionamiento ni a las impedancias de carga de los transistores. Su emplazamiento debe satisfacer al compromiso entre dos características contradictorias como son la amplificación y el ruido.

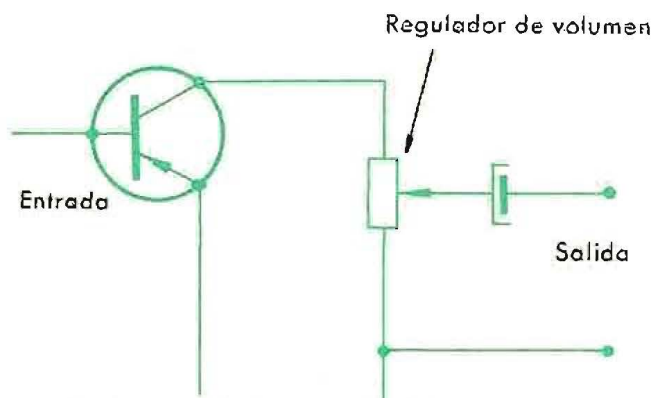
Los tipos de conexión deben establecerse de forma que la variación que introduzca el regulador de volumen no altere la corriente de base o la de colector, ni el valor de la carga (impedancia) del transistor.

En cuanto a si el control de volumen debe disponerse a la entrada del amplificador o en una etapa intermedia, debe tenerse en cuenta que en el primer caso —el cual es muy frecuente— el ruido producido por el potenciómetro se amplifica, lo mismo que la señal, con lo que a la salida del amplificador puede reproducirse dicho ruido

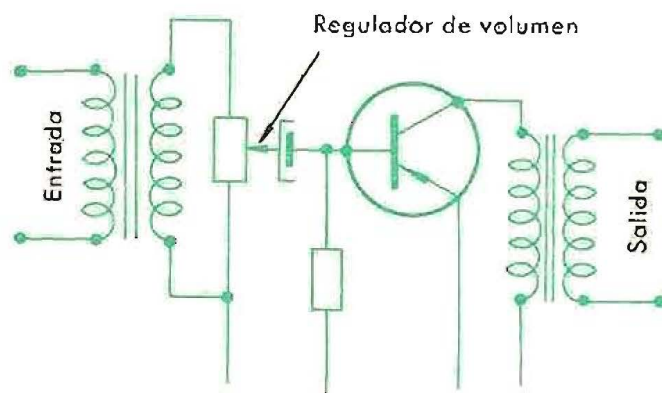
a un nivel alto, con lo que la relación señal-ruido es desfavorable.

Por otra parte, si se dispone el potenciómetro regulador en una etapa intermedia puede darse el caso que las etapas previas anteriores queden excesivamente sobrecargadas (amplificación máxima) y el regulador no ajuste la ganancia del amplificador a un nivel suficientemente bajo. Es decir, el emplazamiento del regulador depende del riesgo de obtener una relación desfavorable de ruido-señal y del de que no pueda regular en un amplio margen por sobrecarga de las etapas previas.

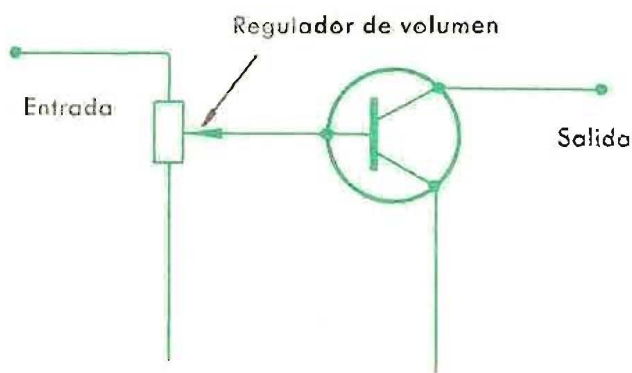
El control de volumen por lo general se sitúa a la entrada del amplificador cuando a éste deba conectarse un fonocaptor de cristal, por ejemplo. Un fonocaptor de cristal, o un micrófono, tienen elevada resistencia, lo cual quiere decir que, para una adaptación correcta de impedancias, el potenciómetro conectado en paralelo a la entrada debe ser también de resistencia elevada. Ahora bien, tal conexión es correcta entre fonocaptor y potenciómetro; pero no lo es entre potenciómetro y base del transistor (amplificador de emisor común) ya que la impedancia de entrada del transistor es muy baja; para la adaptación correcta



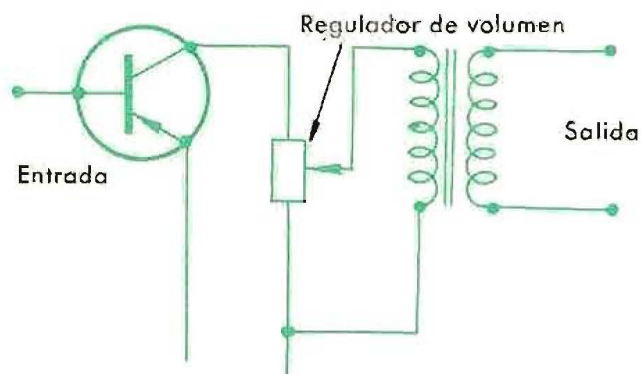
Método correcto de conexión del regulador de volumen. Con él se varía la proporción de la tensión de salida de la señal de baja frecuencia que se toma de la resistencia de carga.



Método correcto de conexión del regulador de volumen. Con este método se varía la magnitud de la señal de baja frecuencia aplicada al transistor.



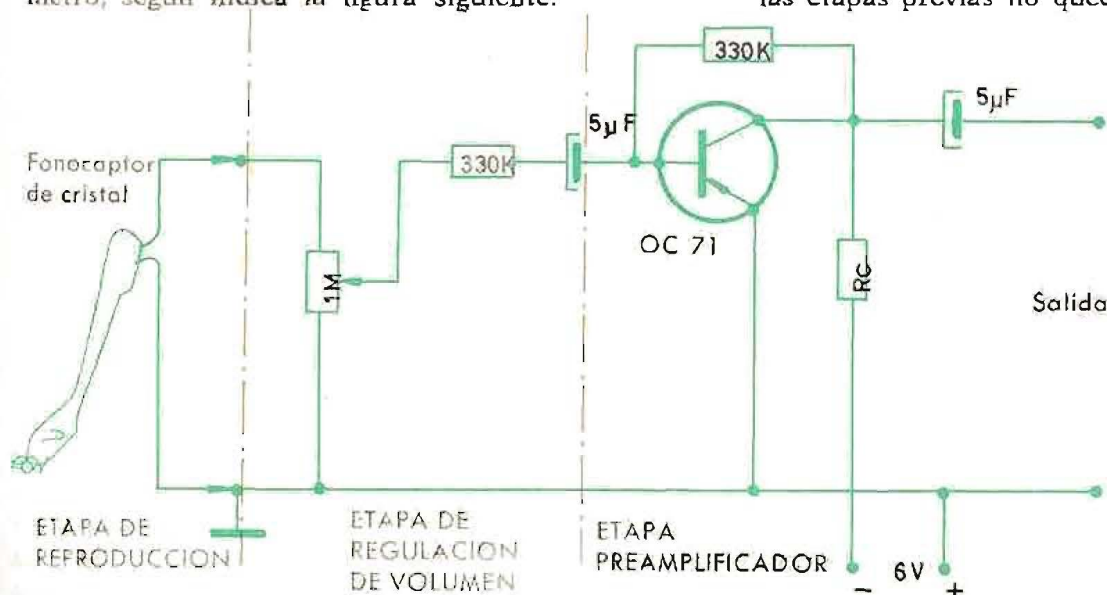
Método incorrecto de conexión de regulador de volumen. Este método altera las condiciones de funcionamiento del transistor, porque la variación del potenciómetro varía la corriente de base y, en consecuencia, la corriente de colector.



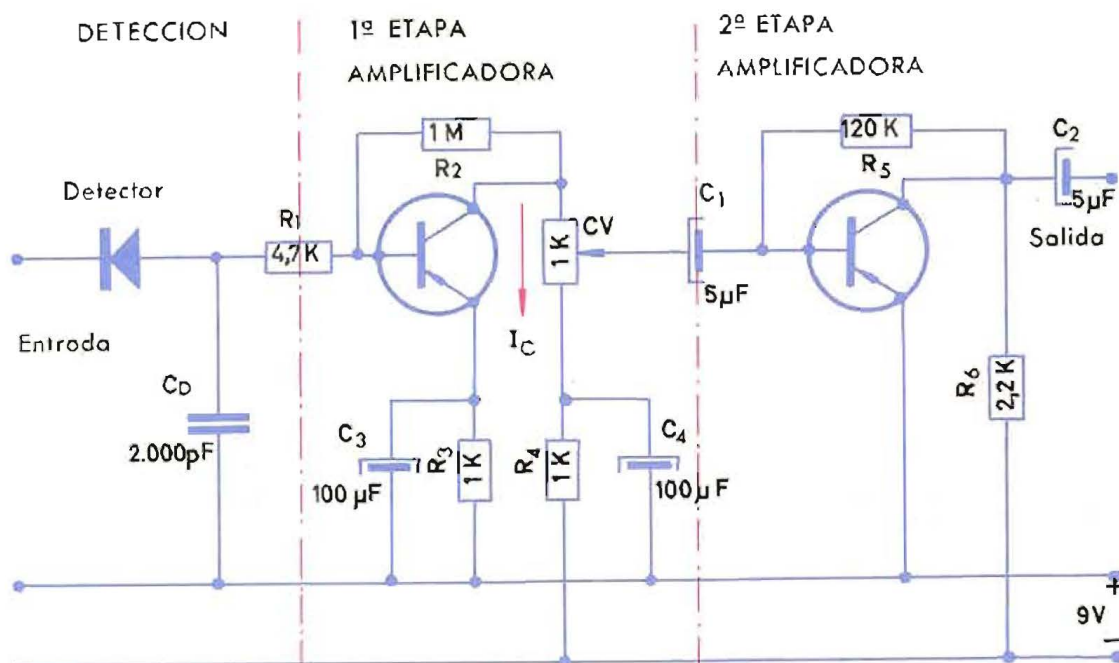
Método incorrecto de conexión del regulador de volumen. Este método también altera las condiciones de funcionamiento del transistor, ya que la variación del potenciómetro varía a la vez la corriente de colector y la impedancia de carga.

de impedancia en el acoplamiento potenciómetro-transistor debe conectarse una resistencia adicional, en serie con la toma variable del potenciómetro, según indica la figura siguiente.

Si se dispone el control de volumen en alguna etapa intermedia pueden adoptarse diferentes conexiones, siempre que, como ya hemos indicado, las etapas previas no queden sobrecargadas ni al-



Regulador de volumen dispuesto a la entrada del amplificador.



Regulador de volumen dispuesto en el circuito de salida de la primera etapa amplificadora.

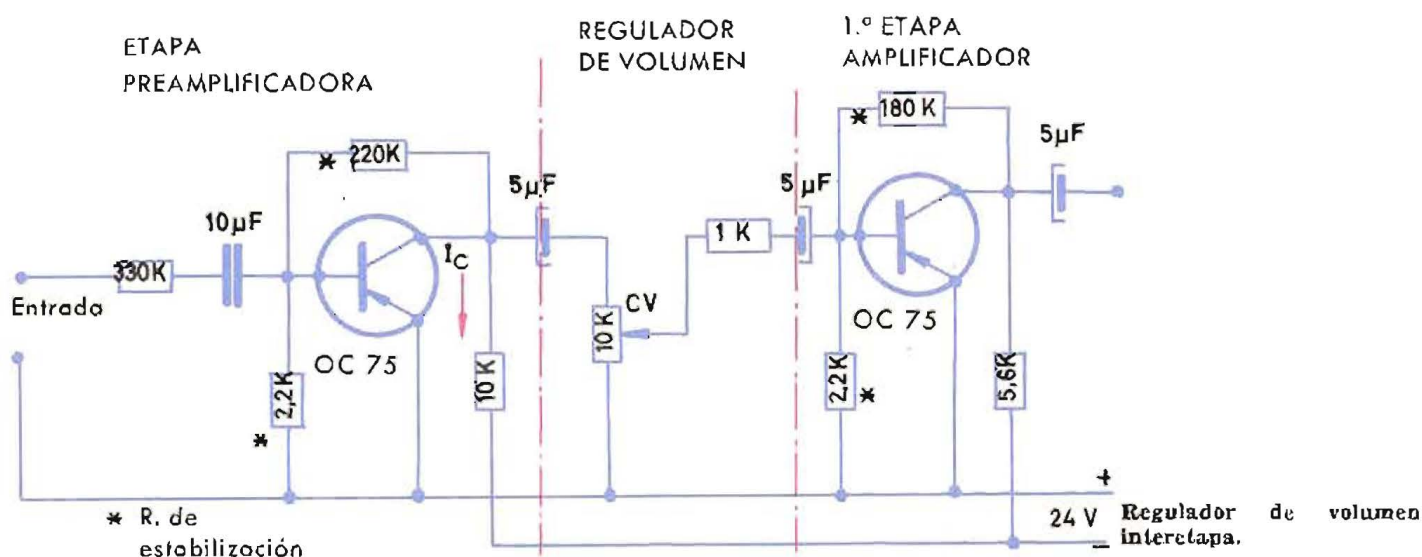
C_D = Condensador para paso de componente de radiofrecuencia y bloqueo de la de baja frecuencia. — C_1, C_2 = Condensadores para paso de la componente alterna de baja frecuencia y bloqueo de corriente continua. — C_3, C_4 = Condensadores de desacoplo. — R_1 = Resistencia serie acoplamiento baja impedancia. — R_2, R_3 = Resistencias estabilizadoras por realimentación de corriente. — R_4 = Resistencia polarización de emisor. — R_5 = Resistencia colector segundo transistor. — CV = Resistencia colector primer transistor.

teran el funcionamiento característico de la etapa a la cual se acople.

Una solución puede consistir en disponer el potenciómetro en el circuito de colector de la etapa previa. Su valor será adecuado para que conectado con una resistencia en serie forme la resistencia de polarización de colector (la resis-

encia en serie puede desacoplarse con un condensador). Esta disposición presenta la desventaja de que el potenciómetro está recorrido por la corriente continua de colector, lo cual puede producir cierto ruido cuando se haga variar el volumen acústico.

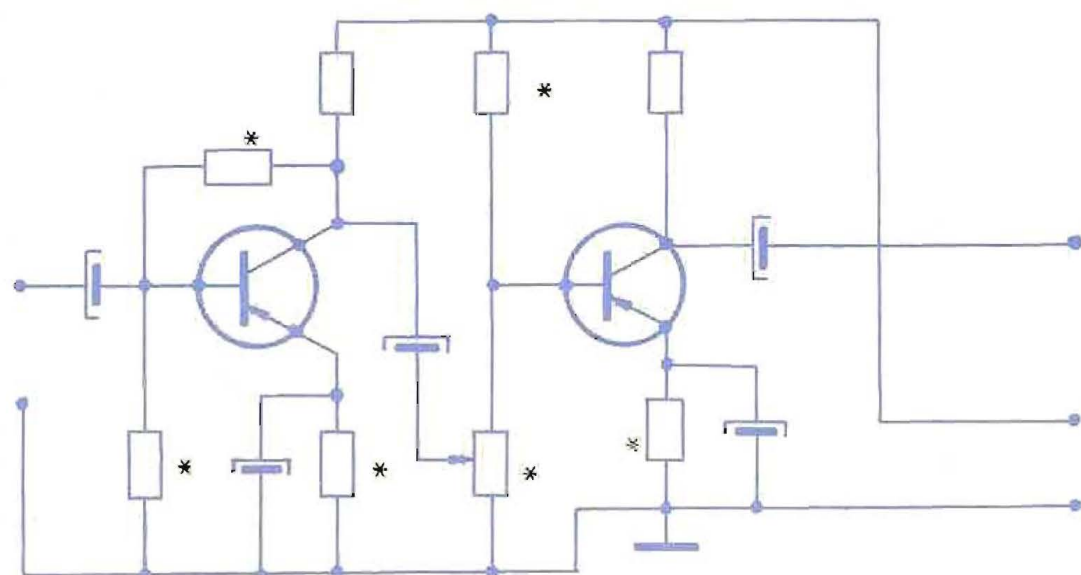
La desventaja citada puede eliminarse dispo-



niendo una resistencia de colector independiente y alimentando el potenciómetro a través de un condensador que bloquee la corriente continua.

Otra solución consiste en disponer el potenciómetro en el circuito de base de la segunda etapa

amplificadora. Esta disposición también tiene el inconveniente de que el potenciómetro está recorrido por corriente continua; pero la de base es mucho menor que la de colector, por lo que esta disposición se prefiere a la anterior.



Regulador de volumen dispuesto en el circuito de entrada de la segunda etapa.

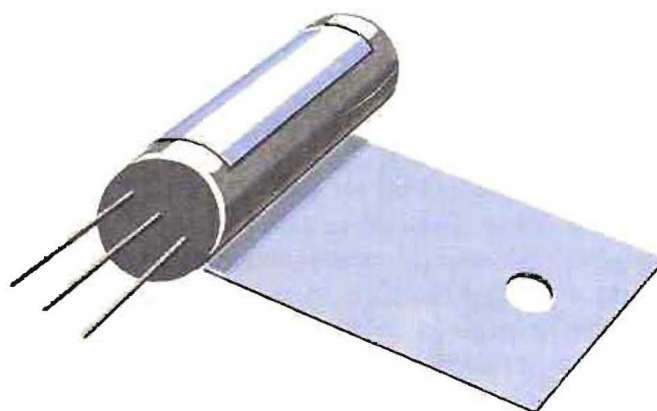
* Resistencias de estabilización.

ETAPAS DE SALIDA

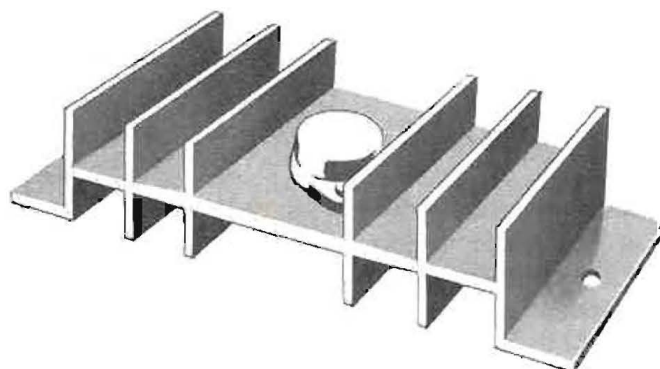
De forma análoga a lo que ocurre en los circuitos de válvulas, en los amplificadores de transistores la señal de baja frecuencia obtenida del detector de un receptor, o del fonocaptor de un tocadiscos, o de un micrófono, etc., se amplifica en intensidad en una o varias etapas previas de amplificación, dotadas del correspondiente regulador de volumen, de forma que la amplitud en intensidad de la señal sea suficiente para excitar el amplificador de potencia y reproducir la señal con suficiente intensidad en un instrumento u otro que pueda provocar una sensación en nuestros sentidos (altavoz, indicador de un instrumento, etc.), o para accionar un dispositivo por medio de un relé (contactor, regulador de nivel de un depósito, etc.).

Las etapas de salida de amplificadores de transistores utilizan transistores de potencia. Estos transistores se proyectan de forma que puedan disipar las máximas potencias posibles; en su uso deberá prestarse gran atención al problema de la temperatura.

Como en estos transistores se procura desarrollar el máximo de potencia, el calor desarrollado es muy importante en comparación con su tamaño, y para disiparlo por lo general deberán aplicarse placas de enfriamiento o radiadores.

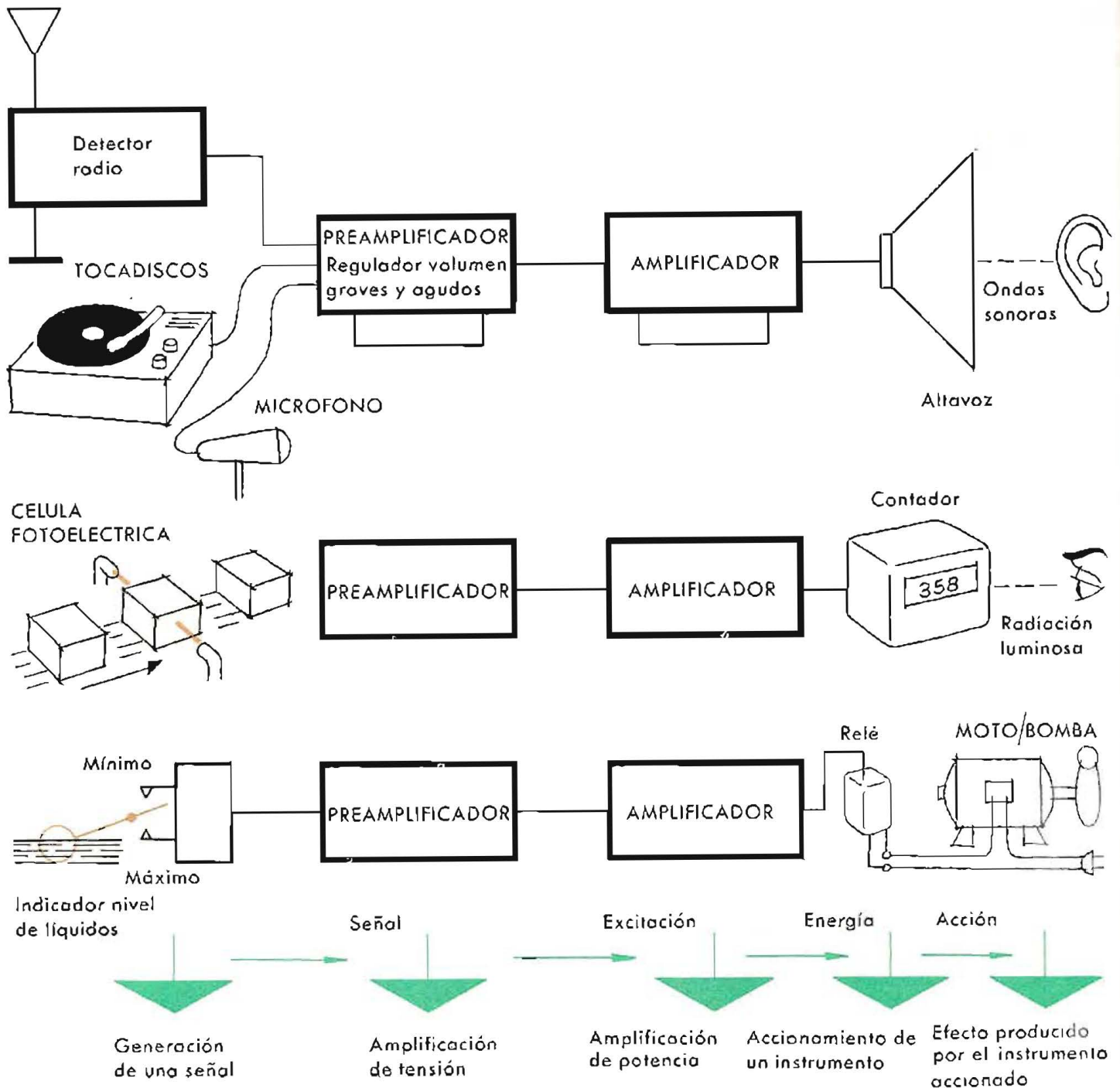


Transistor OC74 con su aleta de refrigeración o placa de enfriamiento.



Transistor 2N1100, montado sobre un bloque radiador de aletas de aluminio.

Por medio de la amplificación electrónica puede lograrse que la causa pueda llegar a producir un efecto notable.



Cuanto mayor sea el calor desarrollado por un transistor, más voluminosos deberán ser los dispositivos de refrigeración que se necesitan. En definitiva, la principal característica que limita las posibilidades de un transistor de potencia es, pues, la temperatura de la unión, que debe ser inferior a 100°C en el germanio y 200°C en el silicio. Las características de los transistores de potencia se expresan para una temperatura de

25°C en la unión; pero normalmente esta temperatura es más elevada, por lo que cabe esperar que en servicio normal la potencia real del transistor sea la mitad o dos tercios de la nominal consignada para 25°C .

La etapa de salida tiene, pues, la función de proporcionar la máxima potencia posible a la carga —por ejemplo, en nuestro caso, al altavoz—, sea directamente o a través de un transformador.

Como es natural, se busca cargar los transistores de esta etapa; pero, como ya se ha indicado, la potencia a desarrollar tiene un límite establecido por la corriente máxima admisible de colector, o lo que es lo mismo por la temperatura de la unión. Desde luego, no debe rebasarse esta corriente máxima admisible, ya que las sobrecargas tienen consecuencias más funestas en los transistores que en las válvulas, y deberán adoptarse las precauciones pertinentes (aletas de refrigeración, buena aireación, etc.).

La máxima amplificación de energía se logra cuando las impedancias de entrada y de salida están bien acopladas, pero generalmente el rendi-

miento es algo menor que el teórico máximo a plena excitación. Además, si se emplea un transformador entre la etapa de salida y el altavoz ha que tenerse en cuenta que su rendimiento es del orden del 80 %.

Las etapas de salida pueden ser de uno de los tipos siguientes:

Amplificadores de potencia simples.

Amplificadores de potencia en contrafase.

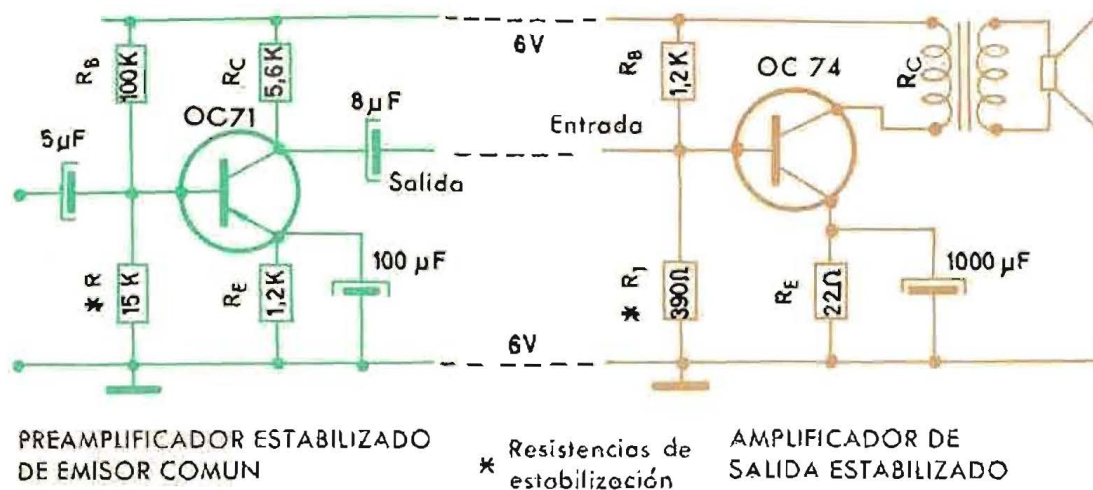
En cada uno de ellos, la salida puede tomarse a través de un transformador, o puede ser conectado directamente el altavoz al circuito si se emplean transistores de potencia adecuados.

AMPLIFICADORES FINALES SIMPLES

Los circuitos de los amplificadores finales simples no difieren en su fundamento de los análogos empleados en las etapas previas y descritos antes. Ello es lógico, porque los transistores son siempre amplificadores de energía y no de tensión solamente, lo que ocurre con frecuencia cuando se trata de válvulas electrónicas. Con transistores, el preamplificador de baja frecuencia amplifica señales de poca amplitud, lo suficiente para excitar la etapa de salida de modo que proporcione una señal de baja frecuencia de gran amplitud capaz de accionar un dispositivo u otro (generalmente acústico, como el altavoz).

En estos pasos de salida se desea siempre, como es lógico, obtener la máxima potencia a la salida: es decir, en el colector. Para ello se escoge un punto de trabajo «muy apurado», que queda limitado por la máxima disipación térmica del colector y por la máxima tensión que pueda apli-

carse entre el colector y el emisor. Raros son los transistores de germanio a los que pueda aplicarse una V_{CE} de 100 V, aunque es posible que con transistores de silicio pueda llegarse a 300 V. No obstante, en las aplicaciones con transistores corrientes de germanio la tensión de colector-emisor es bastante menor de 100 V, y en todo caso deberá respetarse la que indique el fabricante. Además, si en el circuito de colector se conecta una inductancia (choque, devanado de transformador, etc.) la tensión de alimentación de la batería debe ser aproximadamente igual a la mitad de la tensión máxima de colector dada por el fabricante, ya que en dicha inductancia se producen aumentos de tensión por las disminuciones bruscas de la corriente de colector que la recorra, en cuyo caso la tensión presente en el transistor es igual a la suma de la tensión de alimentación más la originada por la inductancia.



El circuito del amplificador final no difiere fundamentalmente del amplificador previo. Las únicas diferencias son distinta naturaleza de la carga y valores diferentes, porque en el amplificador final se manejan mayores corrientes y el transistor trabaja en las condiciones máximas.

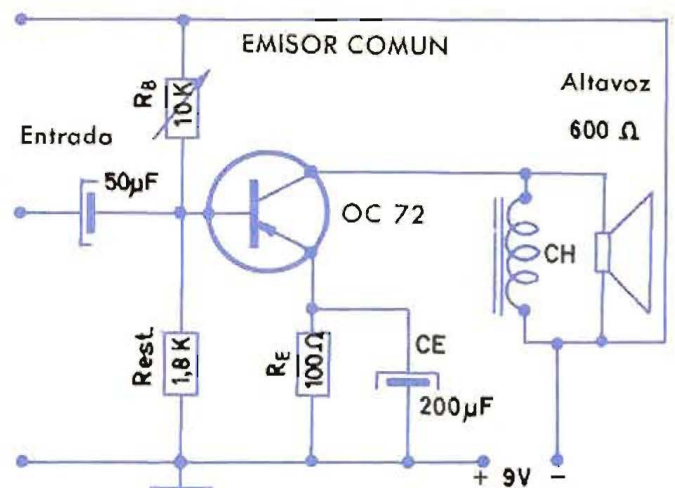
EN EL ACOPLAMIENTO POR TRANSFORMADOR O INDUCTANCIA, EL TRANSISTOR PUEDE ESTAR EXPUESTO AL DOBLE DE LA TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN.

Para unas condiciones de trabajo dadas, la máxima amplificación de energía se logra cuando las impedancias de entrada y de salida están bien acopladas.

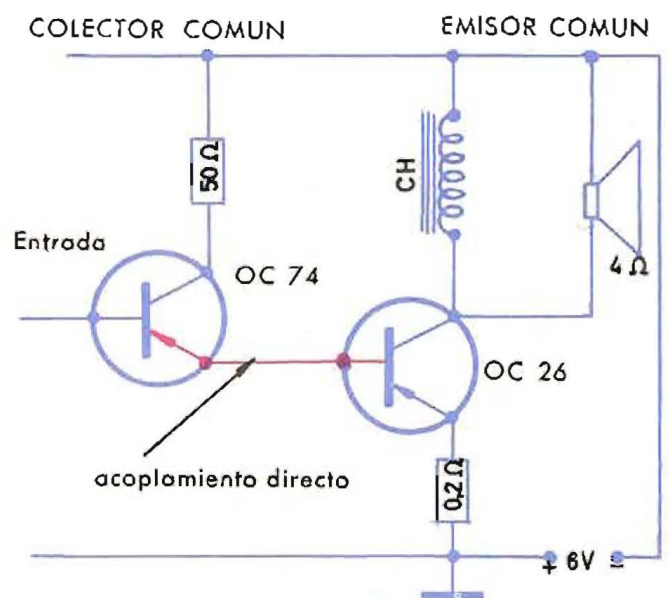
En el caso de los amplificadores simples, que siempre son de clase A, el acoplamiento de empleo más común es el representado en la anterior figura; es decir, acoplamiento de resistencia-capacidad entre etapa previa y etapa de salida; y acoplamiento por transformador entre etapa de salida y altavoz. En esta figura podemos ver que el circuito preamplificador y el de salida son idénticos; desde luego, sólo se diferencian en el valor de las resistencias, porque en el amplificador de salida circulan corrientes más intensas (y por ello las resistencias son de valor mucho más bajo).

También se utiliza, a veces, acoplamiento por transformador tanto a la entrada como a la salida; pero si bien la ganancia es mayor por tener mejor acoplamiento de impedancia, el volumen y el precio son más elevados. (De hecho, se prefiere sustituir el primer transformador por un paso más de preamplificación.) En otros casos la energía a entregar al altavoz se transmite por acoplamiento directo; pero entonces deben utilizarse circuitos de colector común, o bien transistores especiales de menor impedancia de salida y altavoces con bobina móvil de alta impedancia.

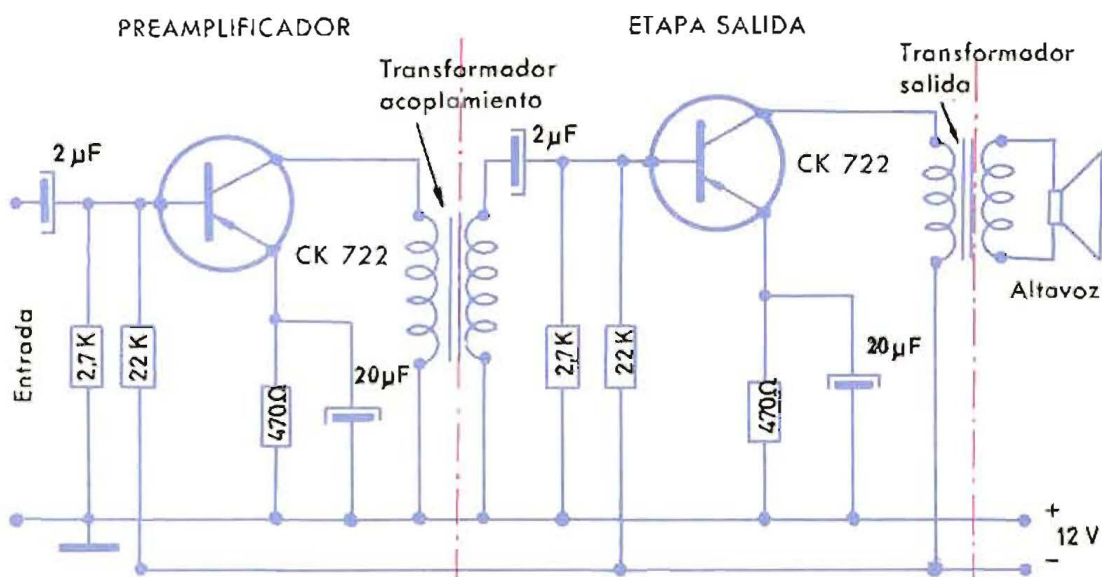
El rendimiento teórico de los amplificadores simples, que son siempre de clase A, es del 50 %, pero en la práctica es aún menor.



Amplificador de salida acoplado al altavoz de alta impedancia por medio de una inductancia.



Amplificador de salida acoplado al altavoz de baja impedancia por medio de una inductancia.



Amplificador con acoplamiento interetapa y salida por medio de transformador.

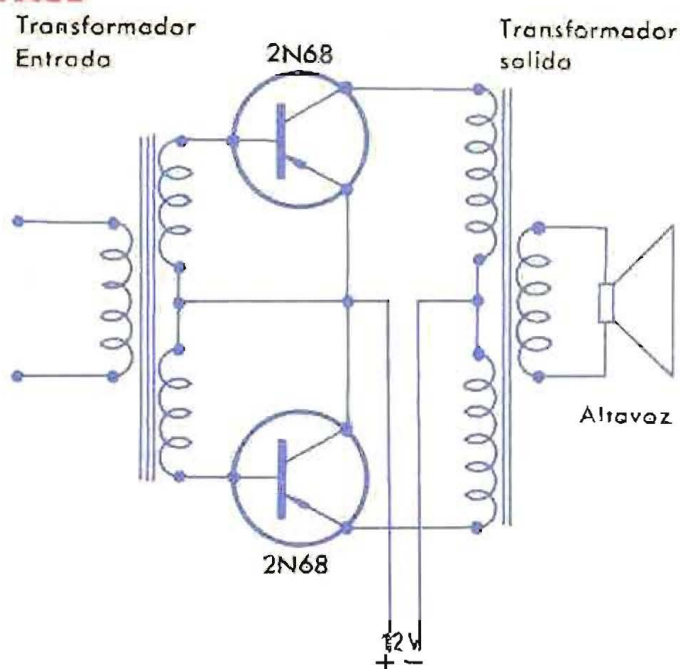
AMPLIFICADORES FINALES EN CONTRAFASE

Para aumentar la potencia de salida de un amplificador simple podría añadirse a dicha etapa otra similar; pero el rendimiento sería mediocre. Lo mismo que como sucede en los circuitos con válvulas, la potencia de salida puede ser mucho más elevada —y además mejorando el rendimiento— si se utilizan montajes en contrafase o *push-pull*, también denominados simétricos.

El lector conoce, por el estudio en lecciones anteriores de los circuitos con válvulas, las características generales de las etapas de salida y de los montajes en contrafase. Por ello aquí sólo se tendrán en cuenta las particularidades inherentes al montaje con transistores.

Como en los circuitos con válvulas, los montajes en contrafase con transistores pueden ser fundamentalmente del tipo A, AB y B, además de otros montajes particulares, pero frecuentes en transistores, como los de simetría serie-paralelo y complementaria.

El funcionamiento en contrafase de los amplificadores clase A permite en principio obtener doble potencia que un amplificador simple (asimétrico); pero en un circuito simétrico se puede excitar más a fondo el amplificador, y teniendo en cuenta los rendimientos prácticos puede obtenerse más del doble de la potencia que podría obtenerse en un circuito simple asimétrico. No obstante, no se llega a alcanzar el rendimiento teórico del 50 %.



Amplificador de salida en contrafase de dos transistores en circuito emisor común.

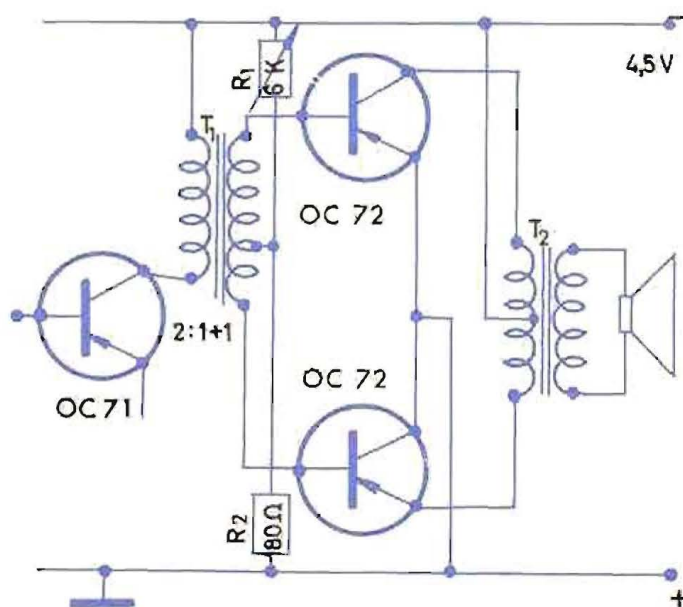
Como el montaje simétrico clase A consume energía en ausencia de señal —cosa que no sucede en el montaje clase B, el cual además tiene un rendimiento de alrededor del 70 %—, en los montajes con transistores, donde se presta especial atención al consumo de batería, se prefieren dos amplificadores finales de clase B en contrafase; prácticamente no se utilizan los de contrafase en clase A.

AMPLIFICADORES SIMÉTRICOS CLASE B

El paso de salida que encuentra mayor aplicación en la práctica de los montajes con transistores es el circuito en contrafase clase B o AB, debido a su elevado rendimiento, teniendo en cuenta que la mayoría de aparatos con transistores se alimentan con baterías.

En un amplificador clase B el funcionamiento es tal que se amplifican al máximo (a tope) los semiciclos de la señal de entrada; en ausencia de ésta la corriente queda cortada, por lo que la potencia disipada y el consumo de energía de la batería en dicho momento es casi nulo.

La figura siguiente muestra un circuito de salida en contrafase clase B. La señal de entrada se aplica a las bases de los dos transistores OC72



Etapla de salida en contrafase clase B.

a través de un transformador con toma media T_{r1} . En el transformador de salida T_{r2} se recombinan los dos semiciclos amplificados procedentes de los dos colectores. En ambos transistores la polarización negativa de la base con respecto al emisor se obtiene por medio del divisor de tensión formado por las resistencias R_1 y R_2 ; regulando por medio de R_1 la corriente de base se ajusta la corriente de colector de ambos transistores a un valor bajo, que aumenta con la señal alterna aplicada.

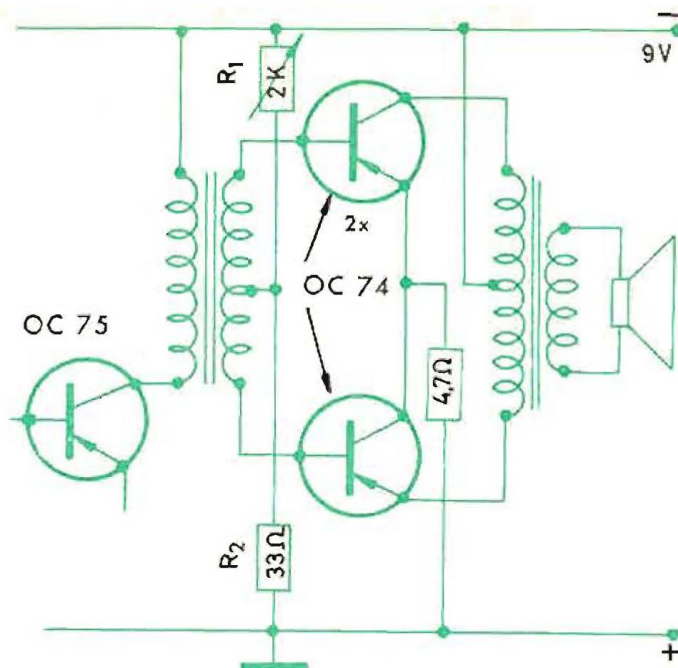
El circuito de la figura no está estabilizado contra los cambios de temperatura. En la amplificación de potencia es recomendable emplear estabilización, ya que, de otro modo, un descenso de temperatura puede dar lugar a un aumento de distorsión.

En efecto, el funcionamiento de los transistores está ajustado de modo que la amplificación de corriente varía muy poco y toda señal de entrada se amplifica sin distorsión; pero cuando, por ausencia de estabilización, la corriente de ajuste decrece como resultado de una caída de temperatura, se produce una disminución de la amplificación.

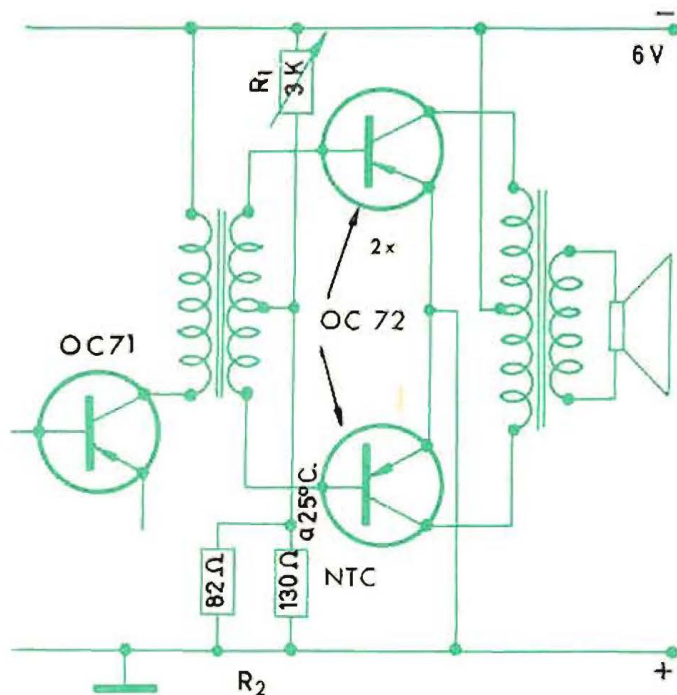
Para soslayar estos inconvenientes se introduce estabilización por medio de una resistencia de emisor, la cual, no obstante, introduce disminución de la potencia de salida, razón por la cual tiene valor muy bajo (generalmente de $20\ \Omega$) o incluso se suprime. Otra solución puede consistir en utilizar una resistencia NTC (termistor); pero, como recordaremos, tal sistema sólo compensa las variaciones de temperatura ambiente; si se utiliza en paralelo con la resistencia R_2 del divisor de tensión de la base se logra una estabilización que compensa las variaciones de temperatura de la unión y del ambiente.

La resistencia de emisor R_E no debe nunca desacoplarse por medio de un condensador, ya que desplazaría el punto de trabajo de los transistores y con ello introduciría una fuerte distorsión.

El primer requisito que hay que cumplir para un buen funcionamiento en contrafase es que la corriente en los circuitos de los colectores sea igual en ambos transistores. Para lograrlo, la característica de entrada y el factor de amplificación de corriente deben ser idénticos en los dos transistores. Por esta razón estos transistores para etapas de salida simétricas se suministran frecuentemente «apareados» (por pares); es decir, que el fabricante los selecciona de forma que las características de ambos sean similares. En el caso de que, por avería, uno de los dos transistores esté defectuoso, debe sustituirse el par y ajus-



Etapa de salida en contrafase con estabilización por medio de un potenciómetro de base y una resistencia de emisor. La resistencia de emisor debe ser de valor bajo para introducir una pérdida de potencia mínima, y no debe desacoplarse para evitar que se origine fuerte distorsión.



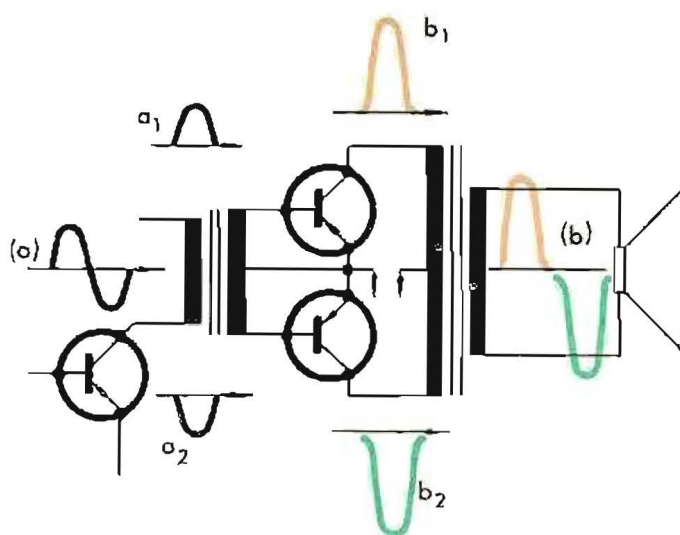
Etapa de salida en contrafase con estabilización de temperatura ambiente y de la unión por medio de divisor de tensión potenciométrico y termistor (NTC).

tar de nuevo la resistencia R_1 a un valor que proporcione la máxima potencia y la mínima distorsión.

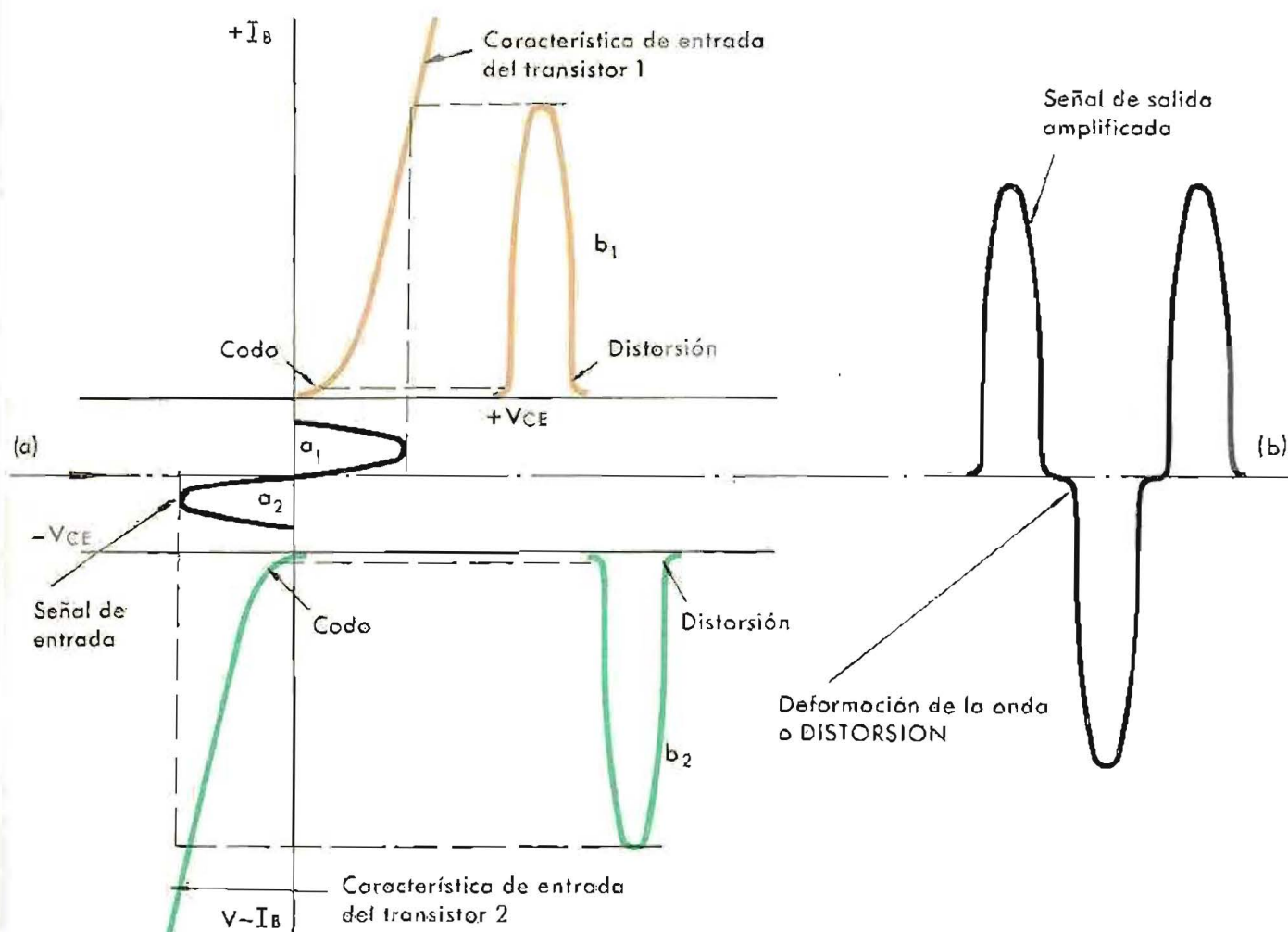
Precisamente en el ajuste de esta resistencia se caracteriza la amplificación en clase B o en clase AB, como veremos más adelante.

La figura siguiente muestra las curvas características de los dos transistores del amplificador. La señal de entrada se aplica a las bases de tal manera que cada semiciclo se amplifica por un solo transistor.

En clase B la amplificación se efectúa al máximo (a tope); es decir, aprovechando toda la característica, incluso el codo de la curva, el cual produce, como sabemos, cierta distorsión.



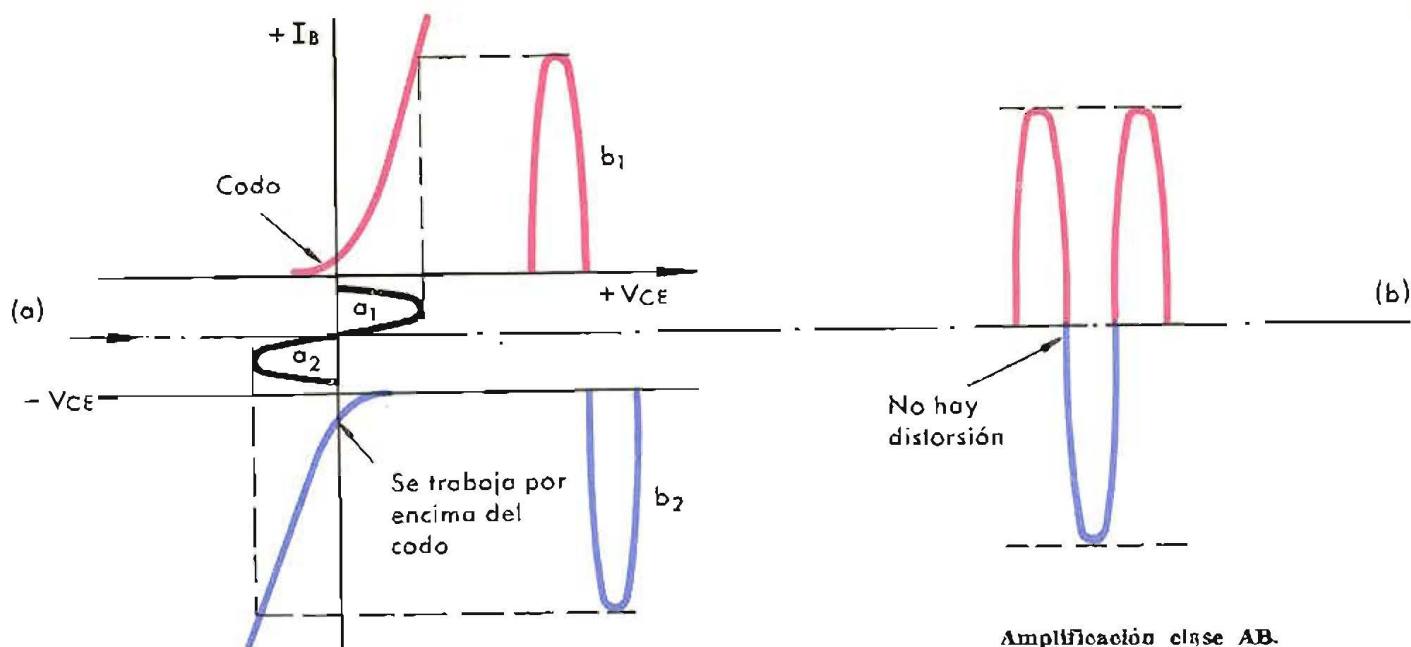
Amplificación clase B con transistores.



AMPLIFICACION CLASE AB

En la práctica casi nunca se trabaja en clase B pura, por la distorsión que introduce, y se utiliza preferentemente la clase AB. En la clase AB la distorsión se reduce en gran manera porque

se ajusta R_i a tal valor que el punto de trabajo de los transistores se sitúa más allá del codo de la curva característica de entrada, que produce la distorsión.



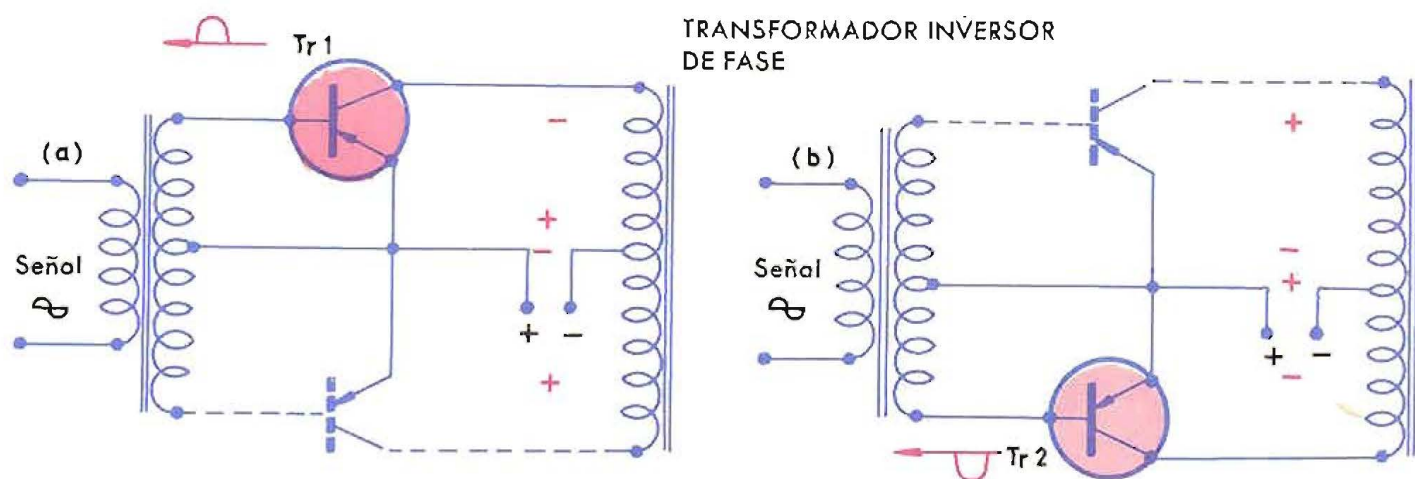
Puede estimarse que el rendimiento de una etapa de salida en clase B es del 70 %; pero teniendo en cuenta los requisitos de distorsión se trabaja en clase AB, cuyo rendimiento aproximado es

del 65 %, ya que en ausencia de señal a la entrada circula algo de corriente por los transistores (la parte correspondiente al desplazamiento del codo).

INVERSORES DE FASE

En todos los montajes simétricos, o en contrafase, cada uno de los dos transistores de salida amplifica un semiciclo de la señal; para ello debe aplicarse a sus entradas por medio de un inversor de fase el semiciclo correspondiente de la señal a amplificar.

Por el estudio de los circuitos de válvulas conocemos el principio de estos dispositivos. Lo mismo que en ellos, el dispositivo inversor más empleado en los montajes con transistores, y que proporciona señales más simétricas y equilibradas, es el transformador de audiofrecuencia.



Transformador inversor de fase. Los dos devanados secundarios están bobinados y conectados de forma que en un instante dado (a) la polaridad de la tensión en bornes de dichos devanados es la indicada, con lo que el transistor 1 queda correctamente polarizado y amplifica el semiciclo correspondiente. No así el transistor 2, el cual amplifica cuando la polaridad en bornes de los devanados sea precisamente la inversa a la anterior. Finalmente, los dos semiciclos amplificados se reúnen para formar la onda completa en el transformador de salida.

El transformador de audiofrecuencia es un elemento voluminoso y de elevado precio si es de calidad; por ello siempre se procura sustituirlo por otros componentes más pequeños y de poco precio. En las etapas de salida en contrafase clase B equipadas con válvulas puede emplearse una válvula inversora de fase en sustitución del transformador de entrada; en cambio, no es fácil realizar un inversor de fase con un transistor para atacar directamente la etapa de salida transistorizada. Por ello, en los montajes con transistores casi siempre se utiliza un transformador inversor para la excitación de la etapa de salida en contrafase. Los montajes sin transformador son bastante complicados; hay algunos que utilizan dos transistores y dos diodos complementarios como inversor de fase, más las correspondientes resistencias y condensadores, lo cual de hecho no representa ninguna economía de espacio ni de dinero.

En su forma más simple, el inversor de fase con transistor se basa en que las tensiones de audiofrecuencia presentes en el colector y en el emisor son de polaridad o fase opuesta.

REALIMENTACION NEGATIVA

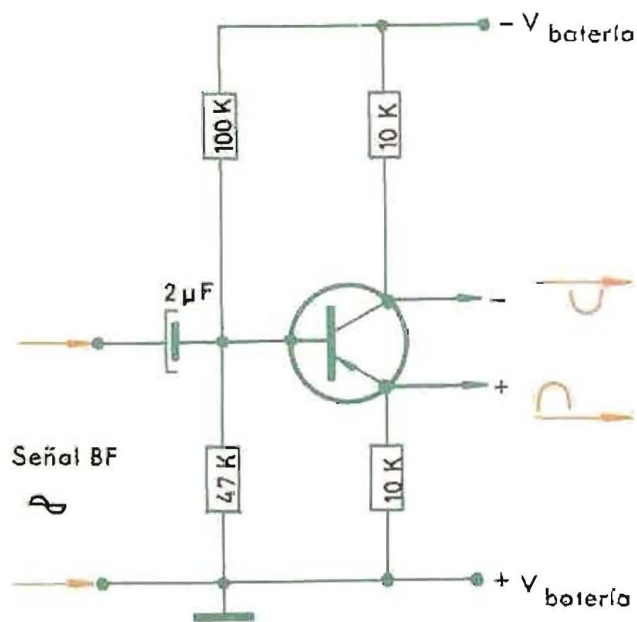
En los amplificadores de transistor puede emplearse realimentación negativa, por la misma razón y de la misma manera que en los amplificadores de válvulas.

La realimentación negativa mejora la estabilidad de funcionamiento del amplificador y reduce la distorsión y las variaciones de ganancia debidas a diferencias de características entre unos transistores u otros del mismo tipo.

Las ventajas de la realimentación negativa siempre se obtienen a expensas de una merma de la amplificación. Pero cuando en un amplificador de audiofrecuencia se obtiene una ganancia total mayor que la necesaria, el exceso de ganancia muy bien puede aprovecharse para mejorar la calidad del amplificador aplicando realimentación negativa.

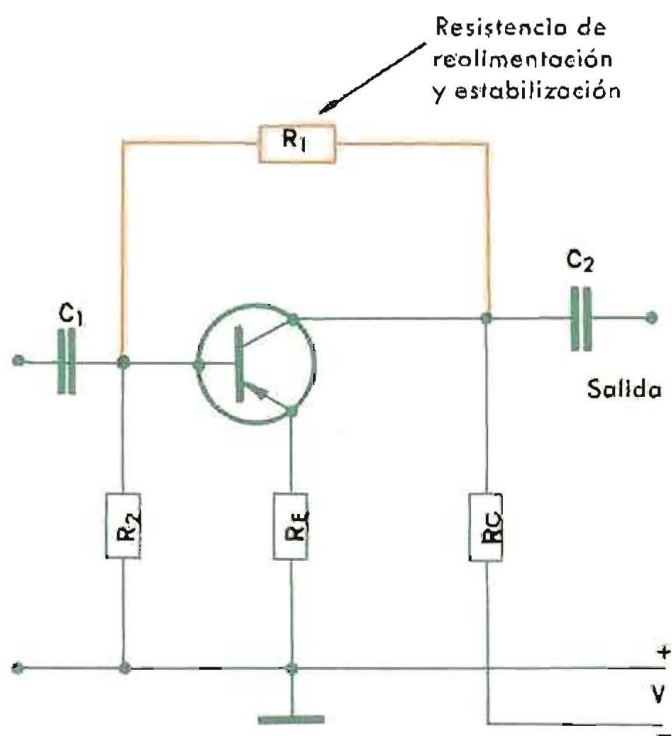
La realimentación negativa puede aplicarse etapa por etapa o sobre el conjunto del amplificador. El método más sencillo de realimentación en cada etapa es el que al mismo tiempo procura al transistor la estabilización de temperaturas; es decir, el ya explicado de realimentar la base con corriente negativa del colector por medio de una resistencia colector-base no desacoplada.

Otro método sencillo de aplicar realimentación negativa a una sola etapa consiste en no desaco-



Inversor de fase con transistor.

Si se aplica a la base señal de B.F., en un instante dado, en el emisor se halla la señal de salida y en el colector la misma, pero de fase (polaridad) opuesta.

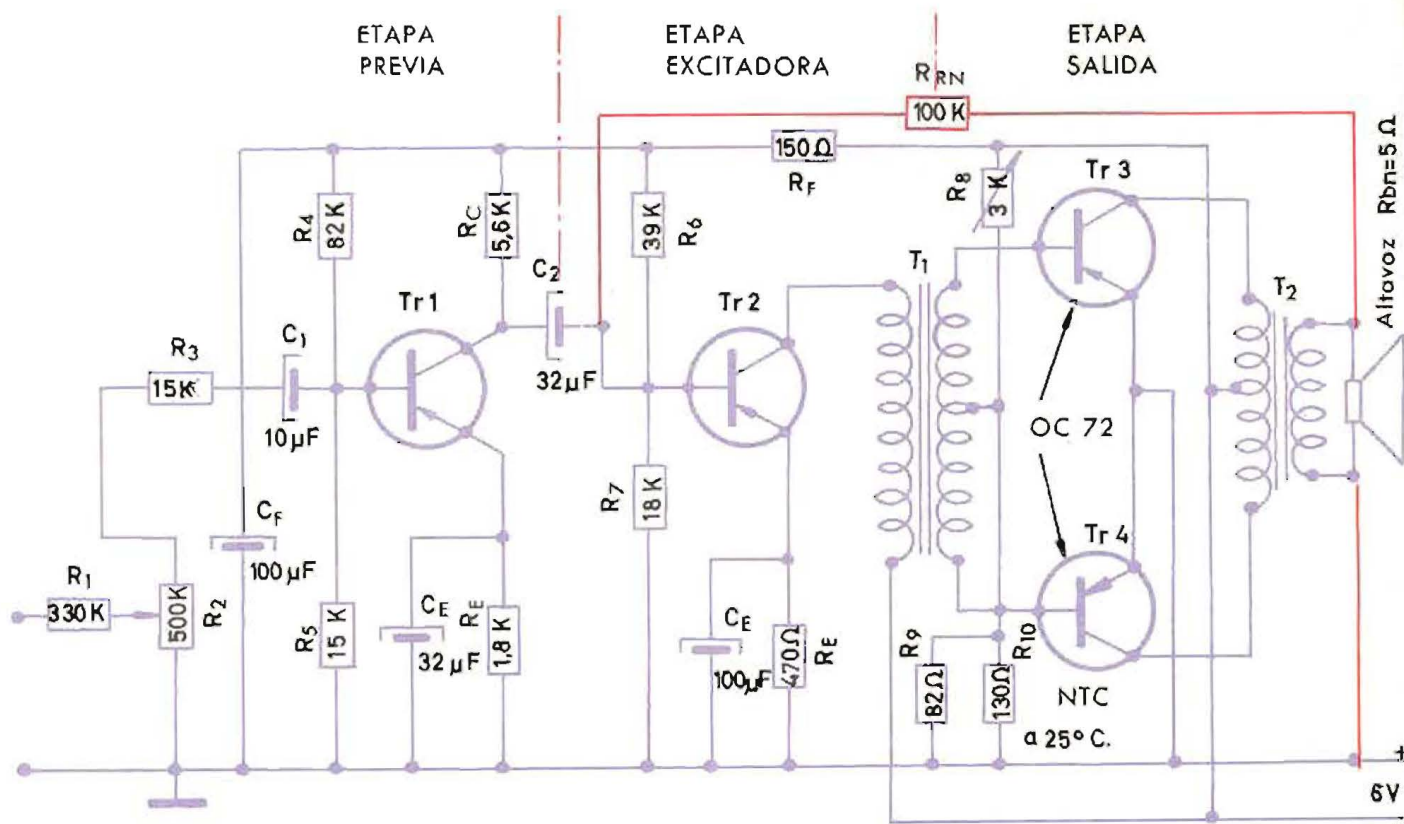


Realimentación negativa de una sola etapa.

Recordaremos que este sencillo método procura igualmente estabilización contra las variaciones de temperatura.

plar por medio de un condensador la resistencia de polarización del emisor.

No obstante, debido a que el código de la característica no es exactamente el mismo en todos los transistores, y teniendo en cuenta que en las eta-



Realimentación negativa a la etapa excitadora y de salida de un amplificador con transistores.

pas de salida en contrafase los dos codos se hacen coincidir, la mayor parte de distorsión en el altavoz tiene su origen en la etapa de salida. Además, como en esta etapa se manejan señales de amplitud, en un amplificador de transistores es suficiente y conveniente aplicar la realimentación negativa a la etapa de salida y, a lo sumo, al paso que la precede.

En este caso la realimentación puede tomarse tanto del primario como del secundario del transformador de altavoz. En esta última variante se reduce al mismo tiempo la distorsión debida al mismo transformador.

El amplificador de la figura anterior es adecuado para amplificar la señal de un fonocaptor de cristal. Se ha aplicado realimentación negativa, para reducir la distorsión producida principalmente por el paso excitador y por el de salida, conectando la resistencia R_{RN} entre el secundario del transformador de altavoz y la base del transistor excitador, lo cual reduce la distorsión producida por dicho transformador de salida.

Aprovecharemos este esquema, muy difundido, para recordar el conjunto de elementos característicos de un amplificador transistorizado.

A la entrada del amplificador se ha dispuesto un regulador de volumen R_v , cuya impedancia se

adapta a la del fonocaptor por la resistencia R_1 y a la del circuito de base de la etapa previa por medio de la resistencia R_2 . El condensador C_1 deja paso a la señal de audiofrecuencia de entrada y bloquea la corriente continua de polarización de la base, la cual se obtiene y estabiliza por medio del divisor de tensión formado por las resistencias R_1 y R_2 . El emisor del transistor de la etapa previa se conecta a masa por medio de la resistencia de estabilización R_E , desacoplada por el condensador C_E ; el colector del mismo transistor se polariza por medio de la resistencia R_C . La señal amplificada en el transistor se toma de un colector y se lleva a la base del transistor Tr_2 de la etapa siguiente (excitadora) a través del segundo condensador de paso de audiofrecuencia C_2 . La corriente de base de esta etapa se polariza y estabiliza por medio del divisor de tensión R_6-R_7 ; el emisor se conecta a masa por su resistencia R_E , desacoplada por el condensador C_E . En esta etapa la polarización de colector se obtiene directamente a través del devanado primario del transformador T_1 de audiofrecuencia o inversor de fase, al que igualmente se aplica la señal amplificada en esta segunda etapa o excitadora. El transformador T_1 es del tipo reductor, con relación de transformación 3'5 : 1 —en reali-

dad, 3'5 : 1 + 1, puesto que tiene dos secundarios en los que se realiza la inversión de fase—.

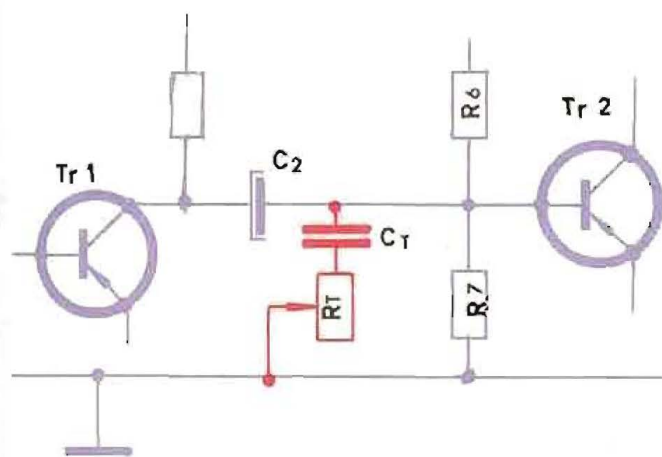
La resistencia R_k ajusta el paso de salida en contrafase de modo que funcione en clase B, o mejor aún en clase AB. La corriente de base de los transistores, y por tanto el funcionamiento de la etapa, se estabiliza contra las variaciones de temperatura ambiente por medio de la resistencia NTC R_{10} ; y contra las variaciones de temperatura de la unión por medio de la resistencia R_{11} . Los colectores de estos transistores se polarizan a través del transformador de altavoz, el cual, a su vez, reúne los dos semiciclos amplificados de la señal de audiofrecuencia y la transmite al altavoz, adaptando las impedancias de salida y de bobina móvil para el máximo rendimiento.

Para evitar que las variaciones de la tensión de batería, producidas por las variaciones de consumo de las etapas excitadoras y de salida, afectan al buen funcionamiento de la etapa previa, se ha incluido un filtro de tensión de batería formado por la resistencia R_f , desacoplada por el condensador C_f .

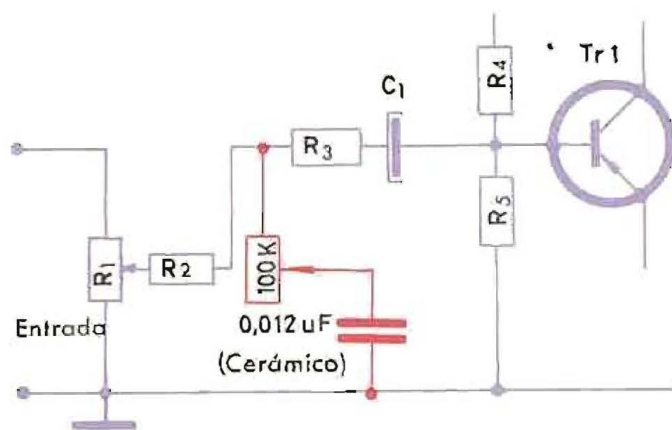
REGULADOR DE TONO

En los amplificadores de transistores, debido a las diferentes distorsiones a que están sujetos, es necesario, o siquiera conveniente, disponer de un regulador de tono, especialmente en las frecuencias elevadas.

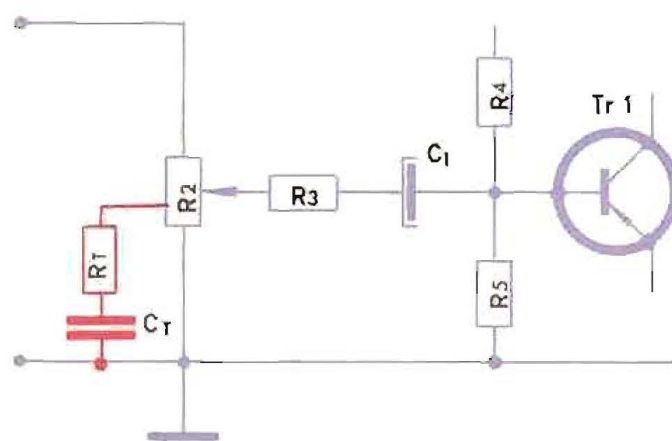
La regulación de tono puede efectuarse a la entrada, en una etapa intermedia o en la etapa de salida. A continuación se mencionan algunos de los sistemas más utilizados.



Regulador de tono interetapa e independiente del regulador de volumen.
Es del mismo tipo que el conectado a la entrada.

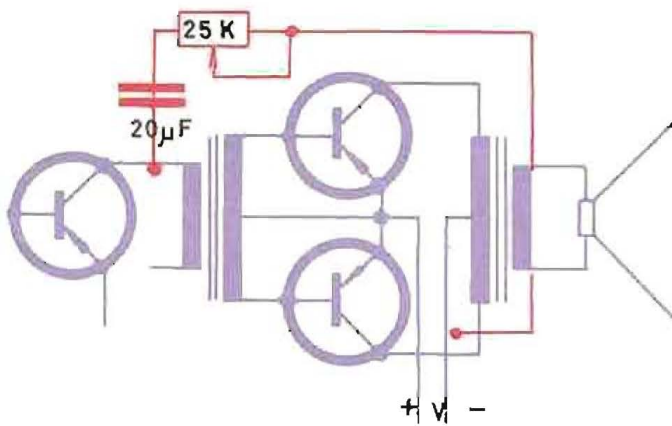


Regulador de tono a la entrada independiente del regulador de volumen.



Regulación fisiológica del volumen (regulación de tono a la entrada en combinación con el regulador de volumen).

Se dispone una resistencia y condensador en serie en la toma intermedia fija de un potenciómetro fabricado especialmente al efecto. Con tal disposición se compensa en parte la falta de sensibilidad del oído a las frecuencias altas y bajas cuando el volumen es reducido.



Regulación de tono en la etapa de salida por regulación de corriente alterna.



**Recepción en AM y FM
con transistores**

**Amplificadores de alta
frecuencia con transistores**

**Tipos de acoplamiento.
Neutralización**

**Circuitos osciladores,
mezcladores y discrimina-
dores con transistores**



LECCION 42

Recepción en AM y FM con transistores

Si examinamos los esquemas en bloque de un receptor clásico de AM y de otro de FM, veremos que ambos tienen cierto número de etapas comunes.

Ambos receptores tienen antenas con que captar la señal de R.F. del transmisor, señal que pasa al receptor mediante un acoplamiento adecuado.

Ambos receptores tienen una etapa amplificadora de R.F. para elevar la tensión de la señal captada por la antena, si bien esta etapa se suprime en los receptores comerciales de AM.

Los dos receptores tienen oscilador y mezclador (convertor); algunas veces como etapas separadas, y otras en una etapa única de doble fun-

Antena para
alta frecuencia

Amplificador
R.F.

Mezclador

Amplificador
F.I.

Detector

Amplificador
B.F.

Oscilador
local

RECEPTOR DE A. M

Antena para muy
alta frecuencia

Amplificador
R.F.

Mezclador

Amplificador
F.I.

Limitador

Discriminador

Amplificador
B.F.

Oscilador
local

RECEPTOR DE F. M

ción. El objeto de estas etapas es bien conocido: mezclar la señal de R.F. (amplificada o no) con la señal de frecuencia y amplitud constante suministrada por el oscilador, con lo que se obtiene una señal de frecuencia más baja (frecuencia intermedia, F.I.) afectada por la misma modulación que posee la señal de R.F. captada por la antena. El objeto de hacer más baja la frecuencia de la señal es facilitar la realización y el buen servicio de un amplificador de alta ganancia.

En ambos receptores, el objeto de la etapa detectora que sigue al amplificador de F.I. es demodular la señal de F.I. e inyectar al amplificador de baja frecuencia la señal resultante. El amplificador de baja frecuencia eleva la señal de audio a un nivel suficiente para accionar el altavoz con volumen adecuado.

Por este recordatorio de las etapas de un receptor puede parecer que hay pocas diferencias entre los receptores de AM y de FM. En realidad, todas las etapas tienen diferencias; las más importantes radican en el amplificador de F.I. y en el detector.

La antena, el oscilador de R.F. y el oscilador de un receptor de FM deben trabajar con señales

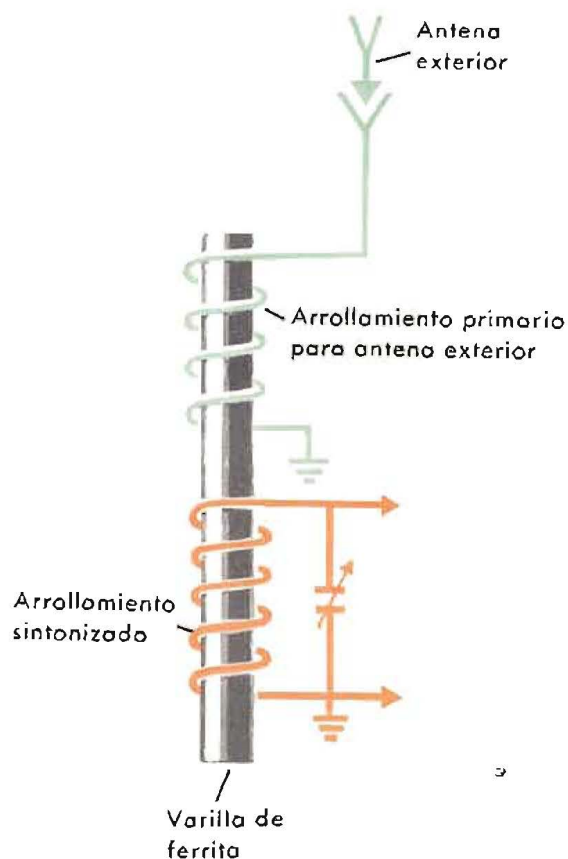
de entrada en la gama de 88 a 108 MHz. Esto requiere un cuidado especial en su diseño y construcción para lograr un funcionamiento estable y eficaz.

El amplificador de B.F. debe ser capaz de producir en el altavoz del receptor de FM una gama de frecuencias mucho más amplia que en un receptor de AM. Debido al sistema de transmisión en AM, la audiodiferencia más elevada que puede transmitirse y recibirse es del orden de 4500 Hz; para una tal frecuencia no es necesario exigir gran calidad del amplificador de B.F. ni del altavoz. Pero el sistema de transmisión en FM prácticamente no tiene limitación de la gama de audiodiferencias que pueden transmitirse. Las emisoras de radiodifusión en FM transmiten notas o sonidos de hasta 15.000 Hz, nivel ya muy elevado porque más allá, hacia los 18.000 Hz, el oído normal humano ya no es capaz de percibirlos. Para que esta calidad o fidelidad transmitida por la emisora pueda llegar a nuestro oído es necesario que el amplificador de B.F. y el altavoz hayan sido proyectados teniendo en cuenta unos requisitos que eran innecesarios en AM a causa de que la gama transmitida alcanza sólo a los 4500 Hz.

ANTENAS PARA RECEPCION EN FM

Como las estaciones de AM son numerosas y emiten con gran potencia, puede captarse la señal con cualquier tipo de antena. Así, en ondas media y larga (baja radiofrecuencia) un simple alambre aislado de pocos metros da resultados óptimos como antena; hoy en día, la mayor parte de receptores con transistores utilizan antenas de ferrita. Una antena de ferrita consiste en un circuito sintonizado a un margen de frecuencias con un núcleo o varilla de material de muy alta permeabilidad; la varilla se fabrica moldeando un aglomerado que contiene polvo o partículas de material magnético.

En cambio, las emisoras de FM por lo general transmiten con potencias menores y la recepción está limitada a distancias comprendidas en el campo visual que se percibe desde la antena. La antena básica que se utiliza en FM es del tipo dipolo; es decir, de dos polos. Además, como el campo de recepción es muy limitado y la potencia de las emisoras de FM bastante reducida, conviene que la antena receptora obtenga un máximo de ganancia precisamente en el margen de frecuencias que se quiera recibir, por lo que estas antenas están sintonizadas.



Antena de ferrita para AM.

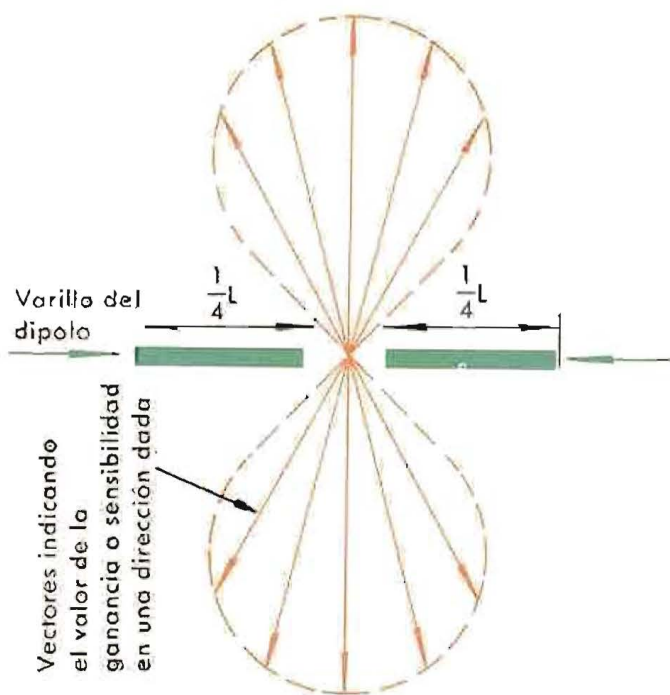
La sintonización correcta de la antena se obtiene dándole unas dimensiones bien definidas y una orientación crítica y previendo un adecuado acoplamiento de impedancias entre la antena y el circuito de sintonía del receptor.

Distinguiremos dos tipos de antenas dipolos empleadas en FM: la antena dipolo de media onda y la antena dipolo plegado.

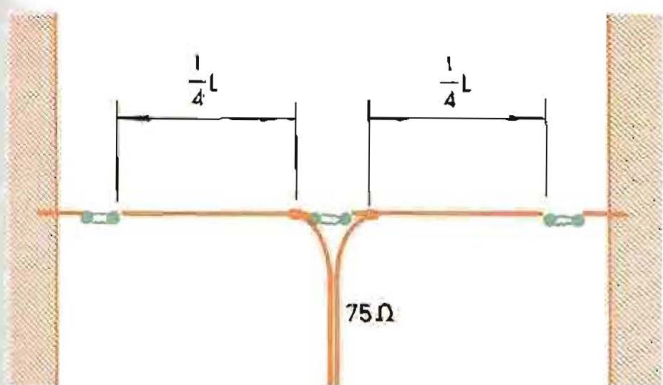
La antena dipolo tiene una longitud de media onda. Es decir, a 100 MHz, la longitud de onda es de $300/100 = 3$ metros; por tanto la longitud del dipolo es $3/2 = 1,5$ m.

La antena dipolo sencilla está compuesta por dos secciones de cuarto de onda, cada una de las cuales está aislada de la otra y de tierra. El dipolo de media onda, lo mismo que la antena de ferrita, es altamente direccional; es decir, su ganancia o sensibilidad es máxima en una dirección (perpendicular a la dirección de la antena) y mínima en la dirección opuesta (la misma dirección que la de las varillas de la antena).

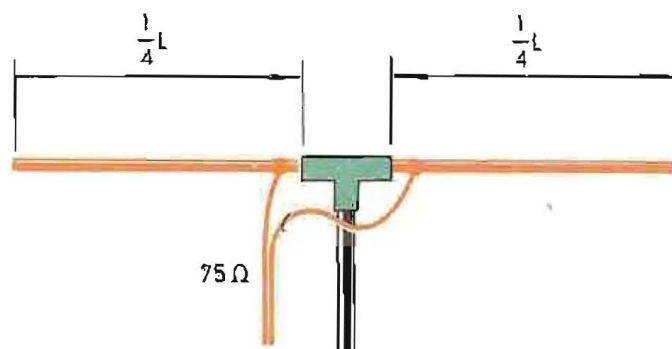
Como las antenas transmisoras de FM están colocadas en posición horizontal, la antena receptora también debe estarlo para lograr una recepción óptima.



Dipolo de media onda. Antena básica para receptores de FM.



Dipolo formado por un alambre de cobre y tres aisladores.



Dipolo de varilla rígida soportada por una pieza central aislante y sostenido por un mástil o tubo de hierro.

El dipolo de media onda más utilizado en FM es el dipolo plegado que se indica en la figura.

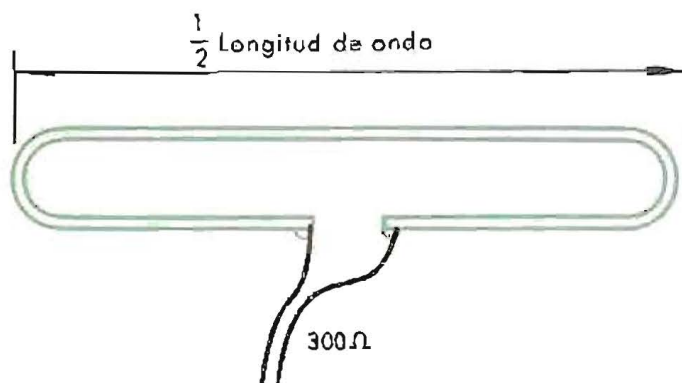
En el dipolo sencillo la impedancia en el punto de alimentación es de 75Ω ; en el dipolo plegado es de 300Ω .

Banda FM: 88 a 108 MHz.

Antena para FM sintonizada a 98 MHz.

$$L = \frac{300}{98} = 3 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2} L = 1,5 \text{ m}$$



Dipolo plegado.

Para la alimentación de la antena al receptor o línea de transmisión se utilizan corrientemente dos tipos de cables: el de cinta o hilos paralelos distanciados y aislados con polietileno y el coaxial. El primero tiene una impedancia característica de $300\ \Omega$, por lo que es adecuado para la conexión de los dipolos plegados. El cable coaxial tiene una impedancia característica de $75\ \Omega$, por lo que es adecuado para el dipolo sencillo, aunque también se usa mucho para el dipolo ple-

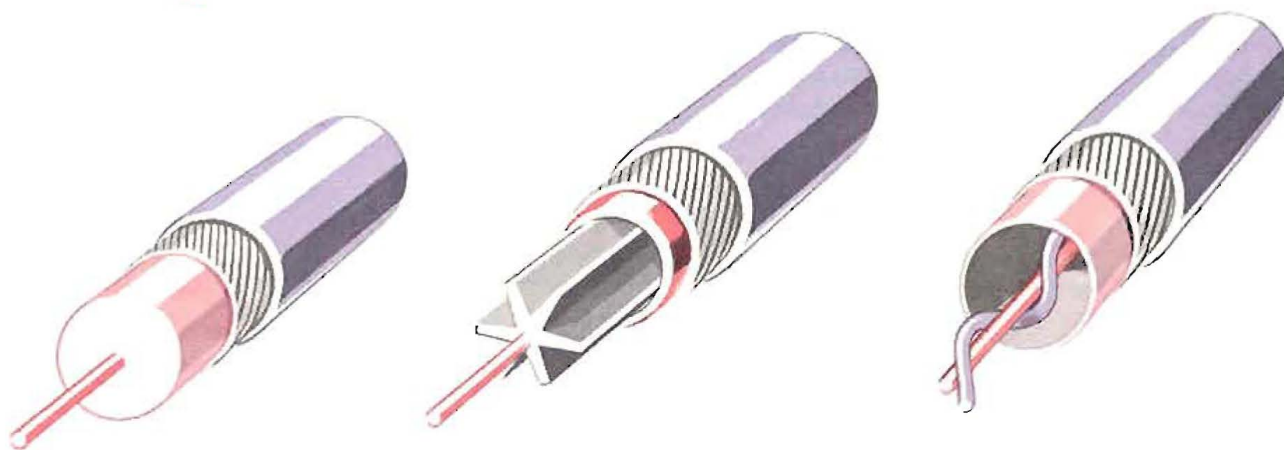
gado, en cuyo caso se intercala un transformador adaptador de impedancias. Este cable está compuesto de un conductor central aislado con polietileno y aire, recubierto por una malla de hilos de cobre que forma el segundo conductor.

El aislamiento de polietileno y aire se consigue por medio de:

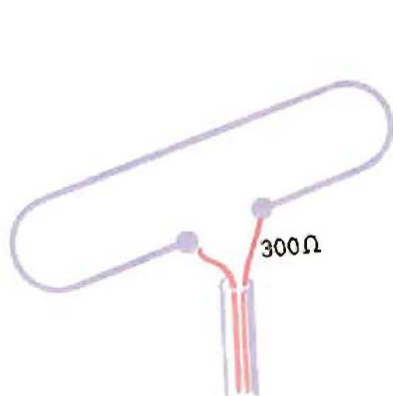
- polietileno celular (esponjoso);
- tabiques de polietileno;
- espiral de polietileno.



Cable plano o de cinta de $300\ \Omega$ de impedancia (aislamiento de polietileno macizo).

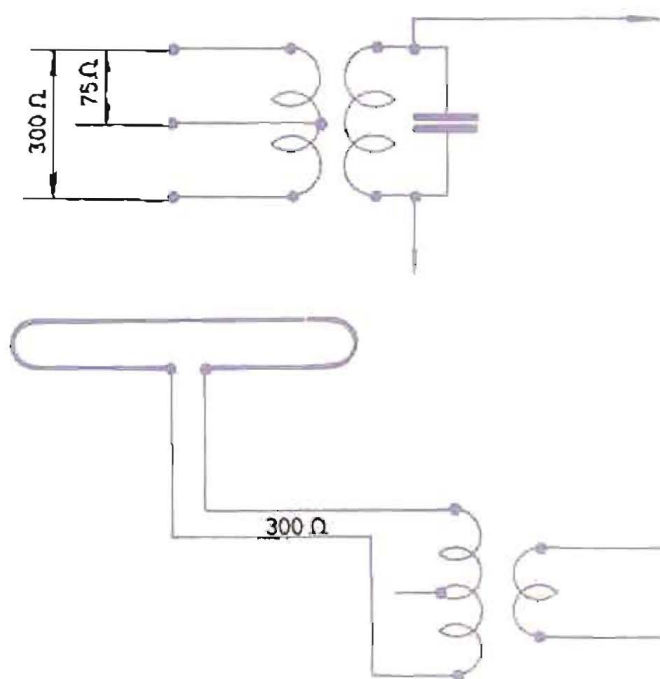


Cables coaxiales de $75\ \Omega$ de impedancia (aislamiento de polietileno y aire).

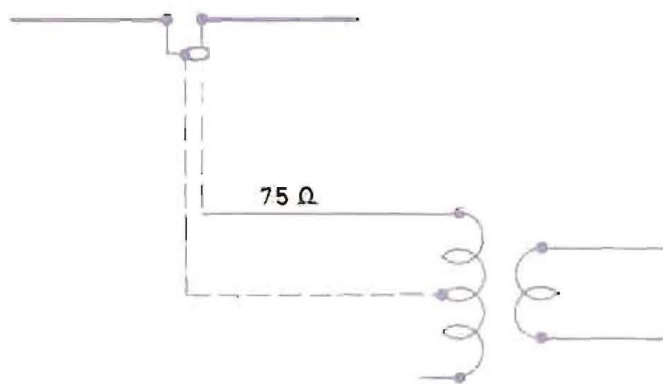


El acoplamiento entre el cable de antena y la entrada del receptor se efectúa siempre a 75 o a 300 Ω ; por ello la entrada de los receptores de FM está constituida por un transformador de R.F.

cuyo primario presenta una impedancia total de 300 Ω a la frecuencia de 100 MHz, y con toma intermedia a 75 Ω para utilizar en cada caso la que más convenga.



Transformador de acoplamiento a la entrada de un receptor de FM.



EL TRANSISTOR DE RADIOFRECUENCIA

El tiempo de tránsito y las capacidades interelectrónicas

Sabemos que el transistor, por su principio y concepción, es un dispositivo electrónico amplificador, y por tanto adecuado para cumplir su función principal y esencial en un circuito amplificador de señales.

Ahora bien, si su utilización no presenta grandes problemas en los montajes amplificadores de baja frecuencia, sí los presenta en circuitos de frecuencias elevadas debido a las capacidades interelectrónicas del transistor.

En efecto, el funcionamiento en alta frecuencia de los transistores de aleación está limitado por varios factores, los principales de los cuales son: el tiempo de tránsito (de desplazamiento o de viaje) necesario para que los portadores de carga puedan traspasar la zona de la base, la capacidad existente entre la unión base-colector y la resistencia presentada por el electrodo de base.

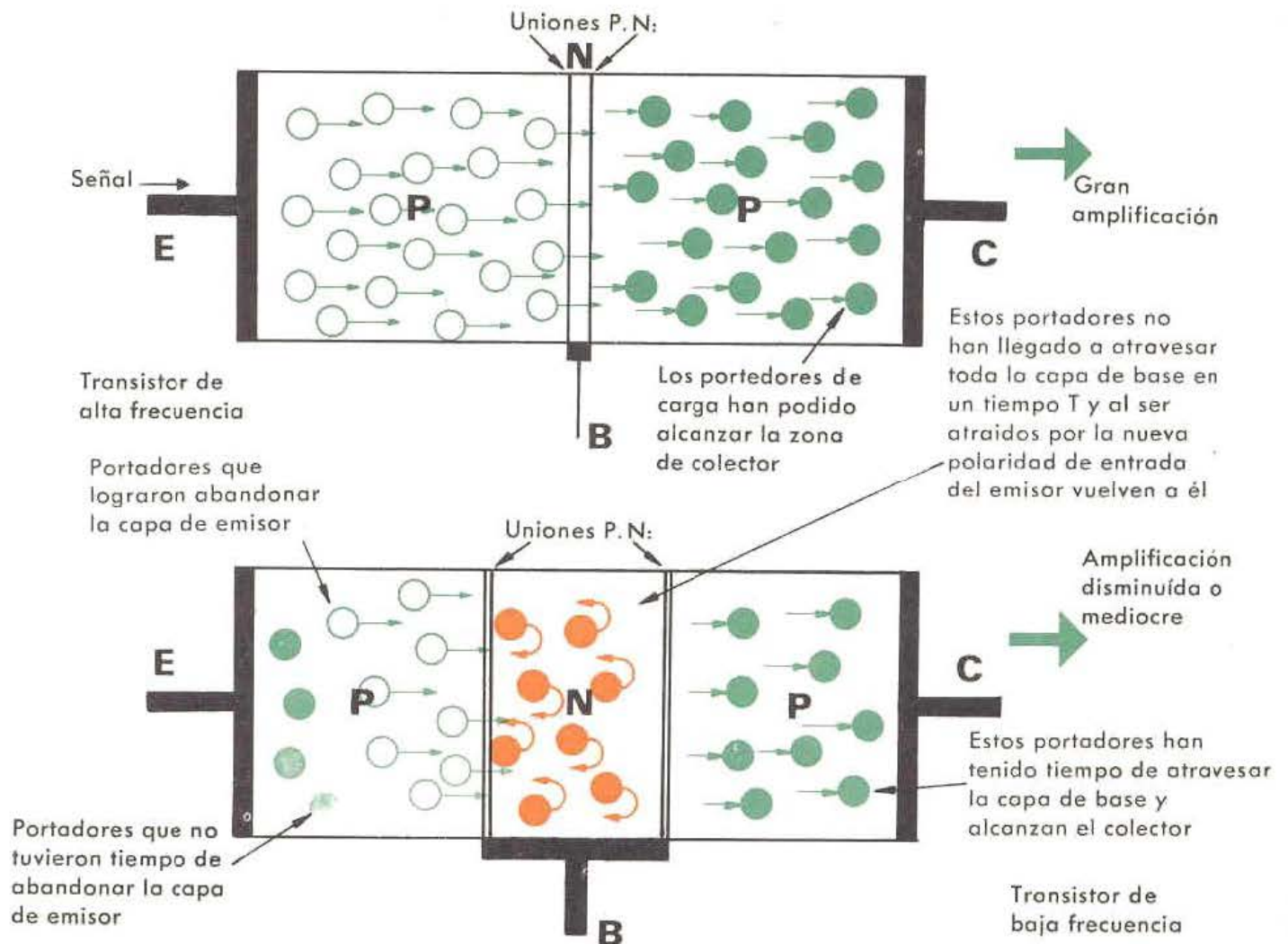
Si el grosor de la zona de base es tal que los portadores de carga que la atraviesan no han llegado a la zona de colector antes de que la semial-

ternancia o semiciclo de la señal alterna cambie de signo, no hay amplificación, porque la polaridad de la tensión de la señal de entrada no es correcta.

Si dicho espesor es ínfimo, los portadores tienen tiempo de alcanzar el colector antes de que la tensión de la señal cambie de signo, aunque este cambio de polaridad (frecuencia) se efectúe muy rápidamente (alta frecuencia); por ende, la amplificación (ganancia de tensión) es la normal, que es bastante elevada.

Si la capa de base es algo gruesa, mientras la tensión de entrada tenga la polaridad de un semiciclo dado circulan portadores del emisor a la base, lo que provoca la circulación de portadores del emisor a la base; pero en cuanto la polaridad de la tensión de entrada cambia, cierta cantidad de portadores aún no ha alcanzado el colector y retorna al emisor, por lo cual la amplificación queda disminuida.

Es decir: cuanto más delgada sea la capa de base menos tiempo necesitan los portadores de carga para atravesarla, y el transistor podrá amplificar lo suficiente las señales de frecuencia más elevada.



Tiempo de tránsito de los portadores de carga de un transistor. Si el espesor de la capa de base de un transistor es muy grueso con señales de frecuencia alta los portadores "huecos" no tienen tiempo suficiente para alcanzar el colector y la ganancia (amplificación) será muy baja.

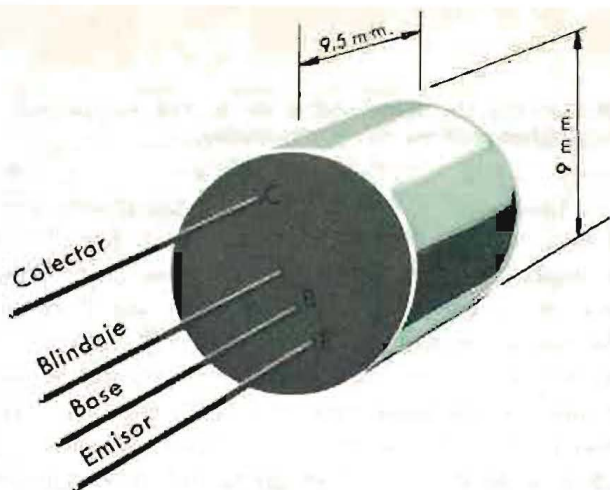
En la técnica de los transistores se designa como **FRECUENCIA DE CORTE** del transistor la frecuencia para la cual el factor de amplificación ha disminuido lo bastante como para considerarlo demasiado débil para los fines prácticos. La frecuencia de corte se designa normalmente por el símbolo « f_{α} »; para distinguir si es un circuito de base común o de emisor común, también se designa por « $f_{\alpha b}$ » o « $f_{\alpha e}$ ». El transistor puede trabajar a frecuencias varias veces más elevadas que las de corte; pero su ganancia sería demasiado reducida y haría falta un número de etapas demasiado exagerado para obtener el resultado deseado.

En los inicios del desarrollo del transistor, el de puntas de contacto tenía una frecuencia de corte muy superior a la del transistor de unión y se utilizaba especialmente cuando la frecuencia de trabajo excedía de 100.000 Hz (100 KHz) Sin embargo,

durante los últimos años se han desarrollado transistores de unión para altas y muy altas frecuencias, que proporcionan mayor estabilidad, mayor rendimiento y menor ruido que los de puntas de contacto. Estos nuevos transistores de unión o aleación para alta frecuencia se fabrican por las técnicas de difusión, mesa, planar y epitaxial, con las que, como sabemos, puede obtenerse una delgadísima capa de base.

Otro de los inconvenientes típicos del transistor cuando amplifica señales de alta frecuencia es el debido a las capacidades interelectrónicas (capacidades internas).

En efecto, sabemos que las tres placas de material semiconductor forman dos condensadores representados por las dos uniones PN de emisor-base y colector-base; estos condensadores o capacidades derivan la corriente a medida que la frecuencia es más elevada.

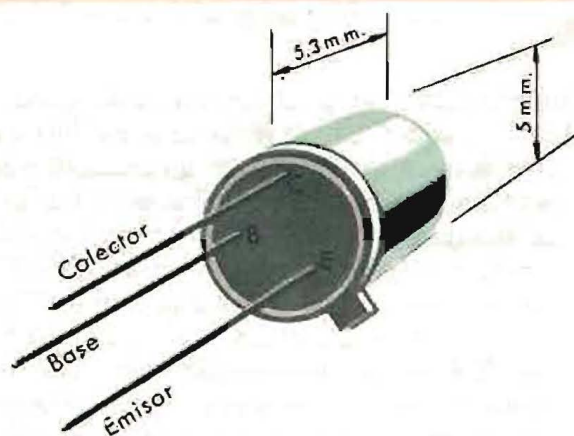


AF 102 - Transistor para FM y TV
(hasta 180 MHz)

AF 114 }
AF 115 } Transistores para FM
AF 116 } (hasta 75 MHz)
AF 117 }

AF 118 - Transistor para TV (hasta 172 MHz)

OC 169 }
OC 170 } Transistores para FM
OC 171 } (hasta 70 MHz)



AF 121 - Transistor para TV (hasta 270 MHz)

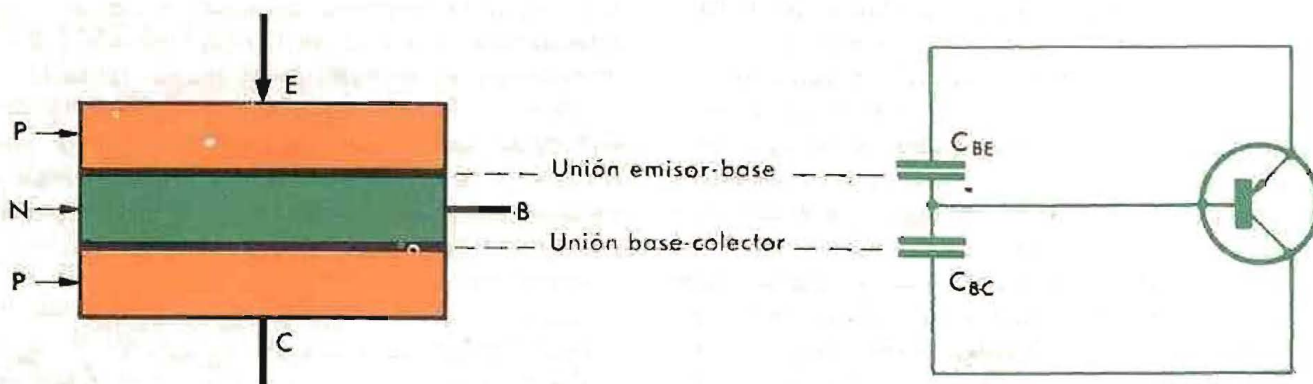
AF 124 }
AF 125 } Versión miniatura de { AF 114
AF 126 } { AF 115
AF 127 } { AF 116
 } { AF 117

AF 186 - Transistor para UHF (hasta 900 MHz)

BF 115 - Transistor de silicio NPN «planar»

BSY 38 - Transistor de silicio NPN
«planar epitaxial»

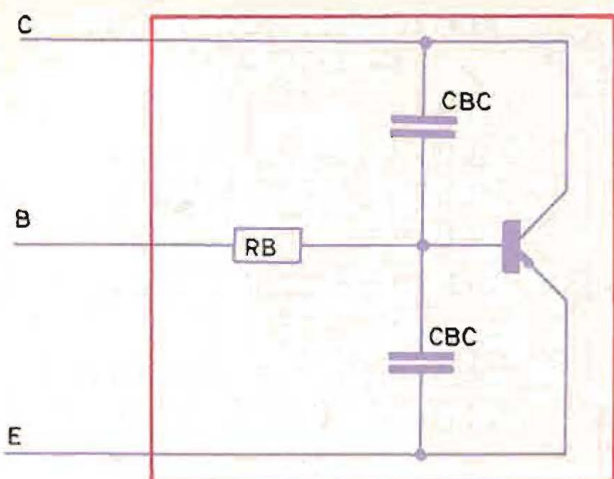
Algunos transistores europeos para alta frecuencia (A.F.), muy alta frecuencia (VHF) y ultra alta frecuencia (UHF).



Las dos uniones PN del transistor constituyen dos capacidades internas en paralelo con los electrodos y que derivan la corriente a medida que la frecuencia aumenta.

Un tercer inconveniente del transistor cuando funciona en alta frecuencia es el ofrecido por la resistencia de base. Se trata de la resistencia que presenta la conexión de base; como esta última debe efectuarse sobre la placa central de base, la cual conviene que sea lo más delgada posible, dicha conexión es más pequeña y difícil que las del

colector y emisor, por lo que comparativamente presenta una resistencia apreciable que se conjuga con las capacidades interelectrónicas anteriormente mencionadas, formando una red de resistencia-capacidad cuyo cálculo no es sencillo, pero que tiene gran influencia en el comportamiento del transistor.



◀ Representación esquemática de la red resistencia-capacidad interna de un transistor.

Como en el caso de los transistores de baja frecuencia (B.F.) las variaciones en función de la temperatura que experimentan las características son notables especialmente en lo que concierne a la corriente del colector. Además, en estos transistores existen diferencias relativamente importantes entre unos tipos y otros. No obstante, las variaciones debidas a los cambios de temperatura podrán compensarse en la práctica, manteniendo constante la intensidad continua de colector.

AMPLIFICADORES DE RADIOFRECUENCIA

Al aplicar transistores a los amplificadores de R.F., debe prestarse mucha atención a las consideraciones relativas a las impedancias de entrada y de salida. El problema es, en realidad, similar al que se presenta en las aplicaciones de

baja frecuencia; pero es más serio en el caso de las frecuencias elevadas, porque entonces se reduce la ganancia que podría obtenerse en cada etapa. Toda pérdida de amplificación en alta frecuencia siempre es lamentable.

ACOPLAMIENTO ENTRE ETAPAS

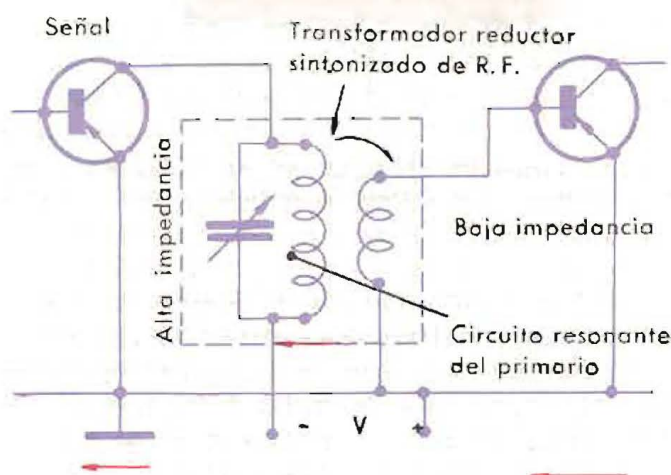
Para el acoplamiento entre etapas podrían utilizarse los mismos montajes de los amplificadores de R.F. con válvulas; pero, aparte de que la impedancia de entrada de una etapa con transistor es muy inferior a la de la salida de dicha etapa, estas impedancias de entrada y salida son asimismo muy inferiores a las de las válvulas.

Por otro lado, podríamos pensar en utilizar los mismos montajes de acoplamiento que en los amplificadores de baja frecuencia con transistores, especialmente el acoplamiento con transformador, con el que se consigue la mejor adaptación de impedancias. No obstante, en la amplificación de señales de frecuencia elevada no sólo deben reforzarse (amplificarse) las débiles señales de entrada —por ejemplo, las captadas por una antena—, sino que también debe seleccionarse la señal que interesa entre las diferentes que puedan encontrarse dentro del margen de frecuencias considerado, ya que por muy elevada que sea la ganancia del amplificador, si amplifica señales que no son las que nos interesa, de poco servirá tal amplificador.

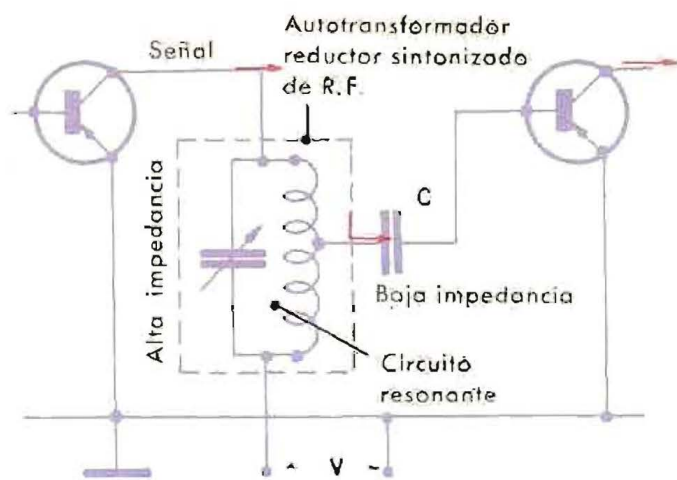
Es decir, un amplificador de radiofrecuencia debe satisfacer dos imperativos: la amplificación y la selectividad. Los transistores proveen la amplificación requerida y los circuitos sintonizados proporcionan la selectividad necesaria.

Como circuito sintonizado de acoplamiento se utilizan transformadores de radiofrecuencia, en los cuales una relación adecuada de transformación (número de espiras del primario y secundario) logra la correcta adaptación de la elevada impedancia de salida de la etapa previa y la baja impedancia de entrada de la etapa siguiente.

El circuito primario está sintonizado y ofrece alta impedancia, adecuada para cargar el primer transistor; y el secundario, de pocas espiras, ataca adecuadamente, dada su baja impedancia, al segundo transistor.



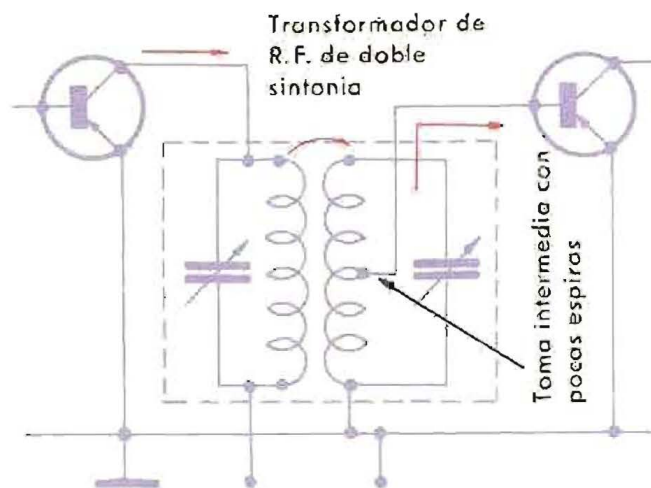
Transformador con primario sintonizado.



Autotransformador con primario sintonizado.

ACOPLAMIENTO POR AUTOTRANSFORMADOR. Este circuito es el mismo anterior, pero eliminando el devanado secundario y tomando una derivación con pocas espiras directamente del devanado primario. En este caso se necesita un condensador C que bloquee la tensión continua de polarización del colector de la etapa precedente, para que no se aplique a la base de la etapa siguiente.

ACOPLAMIENTO POR TRANSFORMADOR DE R.F. DE DOBLE SINTONÍA (en el primario y en el secundario). En este caso, también la segunda etapa deriva sobre un número reducido de espiras del secundario para obtener correcta adaptación a la



Transformador con primario y secundario ambos sintonizados.

baja impedancia de entrada de la segunda etapa.

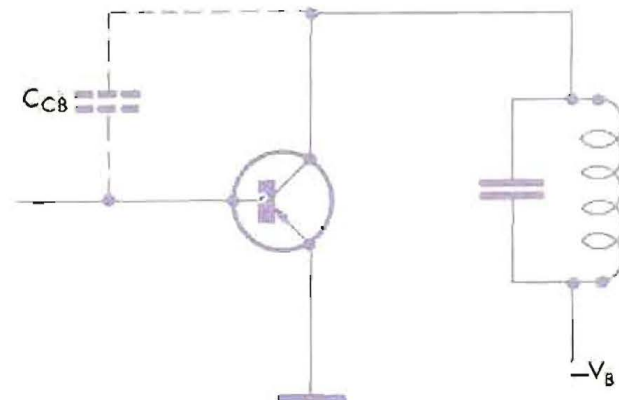
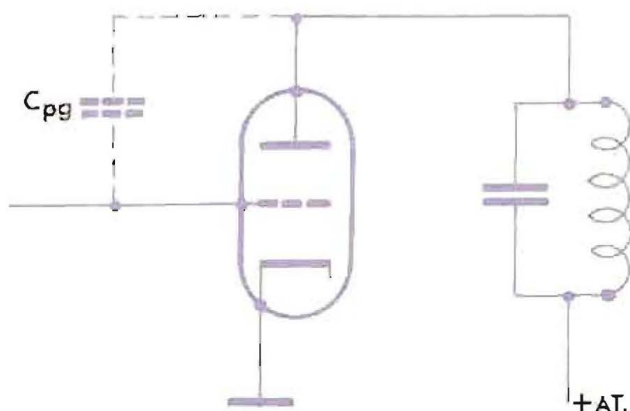
El modo de acoplamiento que asegura la máxima selectividad y respuesta de frecuencia (musicalidad) es el transformador con primario sintonizado o con primario y secundario ambos sintonizados. Esta última solución es la más adoptada en los pasos de frecuencia intermedia, por constituir excelentes filtros de banda (de gran selectividad).

Como variante del autotransformador con primario sintonizado, a menudo también se utiliza el clásico y simple circuito «tapón» del tipo resonante paralelo o en serie.

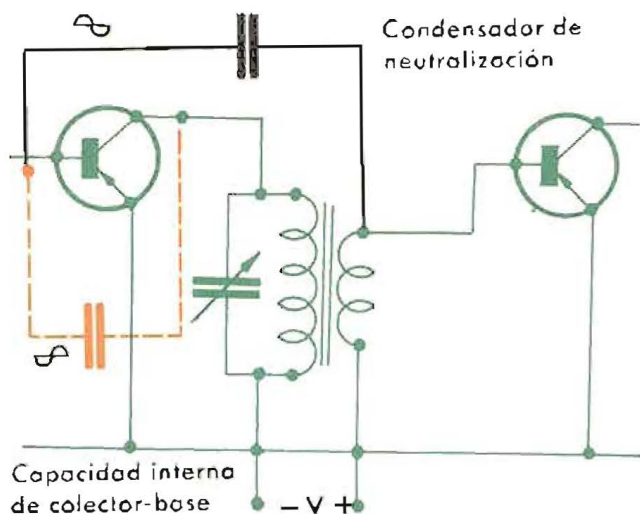
NEUTRALIZACION

Cabría pensar que empleando transformadores con primario y secundario sintonizados, o cualquier otra solución de acoplamiento con bobinas de calidad, correctamente proyectadas, podrían realizarse sin dificultad alguna pasos amplificadores de R.F. y de F.I. de suficiente rendimiento y estabilidad.

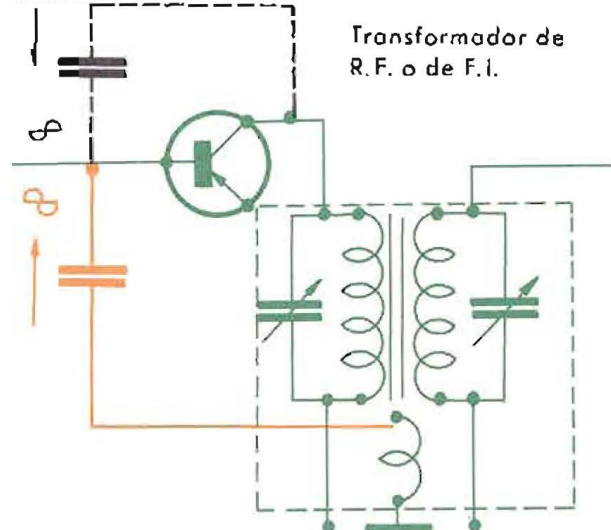
Sin embargo, ello no es así si no se toman las precauciones adecuadas.



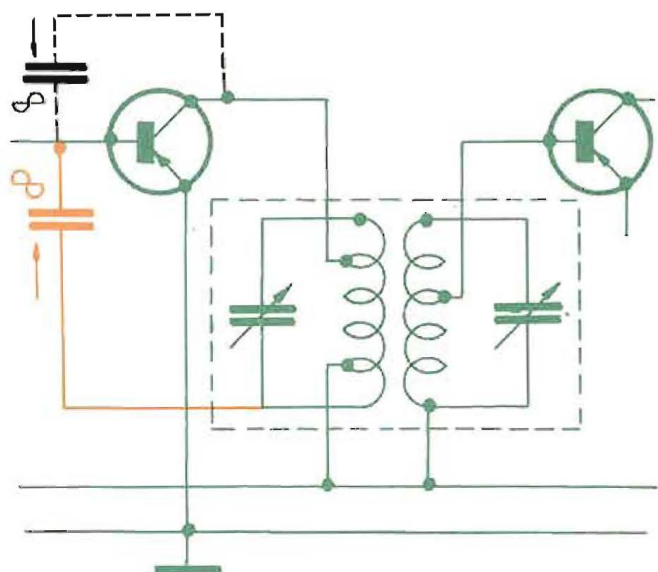
En efecto; de la misma forma que en los montajes con triodos la capacidad parásita placa-rejilla C_{pg} es causa de inestabilidad por la realimentación positiva que introduce, en los transistores la capacidad parásita existente entre base y colector C_{bc} puede ser causa de inestabilidad cuando la carga del colector es de tipo inductivo, como ocurre en los amplificadores selectivos de alta frecuencia.



Aplicación de la neutralización a una etapa con transistor de amplificador de R.F. acoplada por transformador con primario sintonizado. Al electrodo de base se aplica una tensión de la misma amplitud que la introducida por la capacidad colector-base pero en fase opuesta para que se anulen una a otra, tomándola a través de un condensador a partir del devanado secundario no sintonizado.



Neutralización obtenida de un devanado suplementario no sintonizado del transformador de acoplamiento, con primario y secundario sintonizados, de una etapa de R.F. o de F.I.



Este mismo problema se originó con las primeras válvulas triodo. Para evitar la oscilación espontánea o autooscilación se empleó el artificio de neutralización hasta que apareció la válvula tetrodo, que con su rejilla pantalla entre ánodo y rejilla de mando eliminó tal inconveniente.

Aunque en la actualidad se dispone de transistores con una capa de semiconductor intrínseco entre el colector y la base que actúa a modo de pantalla, normalmente se debe recurrir a la neutralización. Este método fue propuesto allá por el año 1920 para los montajes de radiofrecuencia con válvulas triodo. Consiste en neutralizar la acción de la capacidad interna aplicando al electrodo de mando (la base) tensiones de la misma amplitud, pero de fase opuesta, a través de un condensador.

La neutralización constituye de hecho una contrarreactión o realimentación negativa de radiofrecuencia; en los transistores debe aplicarse a la base. Las tensiones de fase opuesta a las del colector pueden tomarse en los extremos de un secundario no sintonizado de un transformador de R.F.

Hemos dicho que podemos tomar la tensión de neutralización del secundario no sintonizado de un transformador de R.F., porque en un extremo de dicho secundario la señal es efectivamente de fase opuesta a la del primario o de colector. Ahora bien, en un transformador con primario y secundario ambos sintonizados, en cada extremo la señal sólo está defasada en un cuarto de período; en este caso debiera proveerse a dicho transformador de un tercer devanado no sintonizado utilizado sólo para neutralización, ya que en uno de sus extremos se obtendría una señal de fase opuesta a la del colector.

Otra solución puede consistir en utilizar un transformador de acoplamiento con primario y secundario sintonizados, sin emplear ningún tercer devanado pero practicando en el primario una toma para el colector y otra para la alimentación del mismo.

De todas formas, no siempre es necesario «neutralizar» el efecto de oscilación espontánea debido a la capacidad interelectrónica de colector-base, ya que en muchos casos, especialmente en los transistores de aleación difusa, las pequeñas resistencias de los transistores son suficientes para amortiguar tal efecto.

► Método de neutralización recomendado para los acoplamientos de R.F. o F.I. por transformador con primario y secundario sintonizados.

ETAPA PREVIA DE R.F. PARA FM

En principio, un amplificador de R.F. para FM es semejante a otro para AM. No obstante, debido a la frecuencia de sintonía de las señales de FM, la bobina de entrada de antena tiene muy pocas espiras.

Primario $300 \Omega = 4 + 4$ espiras

$75 \Omega = 4$ espiras

Secundario 4 espiras.

Como las frecuencias de trabajo en FM son muy elevadas, los valores de capacidad e inductancia del circuito resonante son muy bajos, y por ello las inducciones y las capacidades parásitas que puedan presentarse introducen muy fácilmente inestabilidad en el circuito. La distribución y conexión de los elementos en el circuito del sintonizador de FM debe ser realizada con mucho cuidado; por tal razón se aconseja utilizar unidades preparadas y ajustadas por fabricantes de garantía.

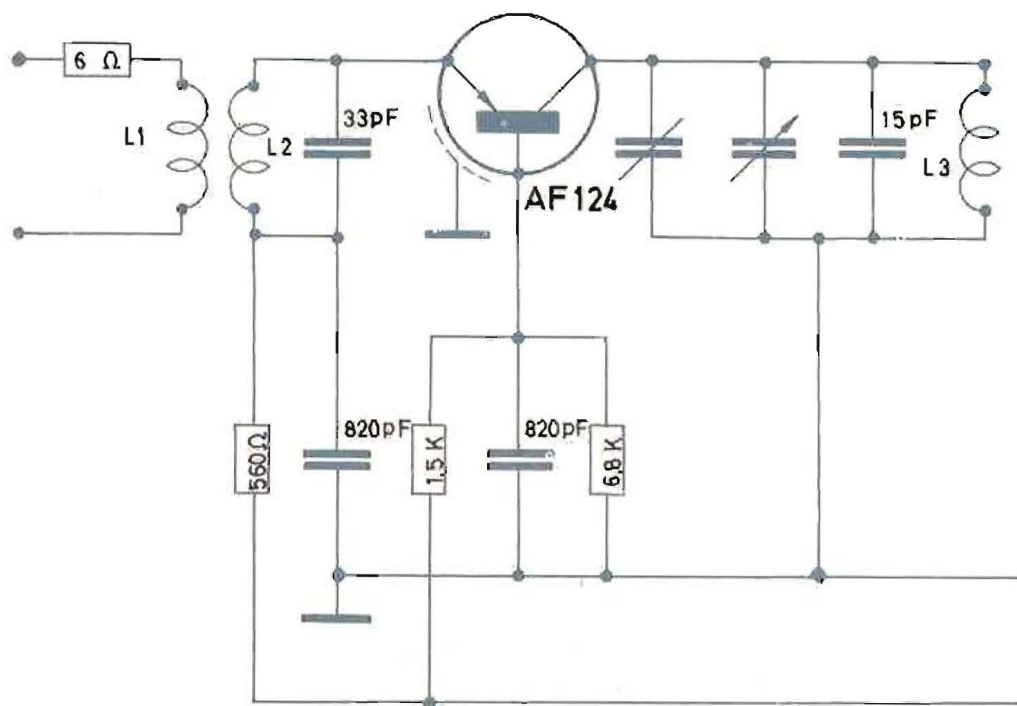
En el paso amplificador de R.F. se utilizan transistores de aleación difusa de muy elevada fre-

cuencia de corte; y se emplean los circuitos de base común para proveer realimentación positiva por medio de la capacidad colector-emisor del mismo transistor.

Debido al amplio margen de frecuencias utilizado, se necesita un ancho de banda de las bobinas relativamente grande, con lo que no pueden usarse los circuitos de alto Q, típicos de los receptores de AM, sino que se utilizan circuitos de banda ancha y bajo Q.

El circuito de sintonía generalmente se dispone en el colector del transistor amplificador de R.F.

El valor del condensador de sintonía acostumbra ser de 7'5 a 20 pF; el *trimmer* ajuste es de 1'5 a 6 pF y las bobinas tienen muy pocas espiras de hilo grueso. En algunos casos la sintonía se realiza variando el valor de la capacidad del condensador o de la inductancia de la bobina. La señal sintonizada se inyecta al emisor del transistor-mezclador, o mezclador-oscilador, a través de un condensador cerámico de 3 ó 4 pF.



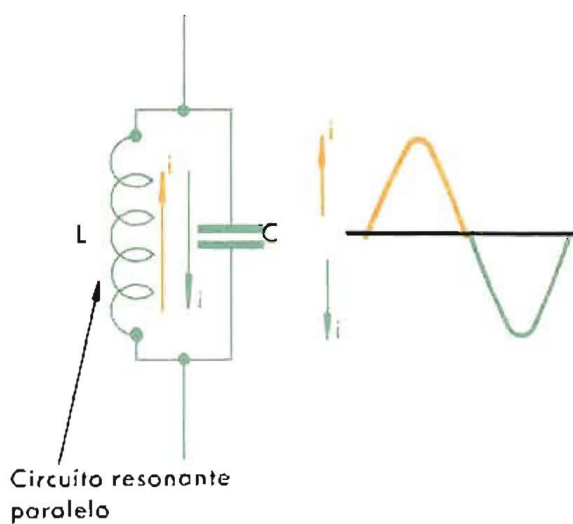
Amplificador de R.F. para receptores de FM.

OSCILADORES CON TRANSISTOR

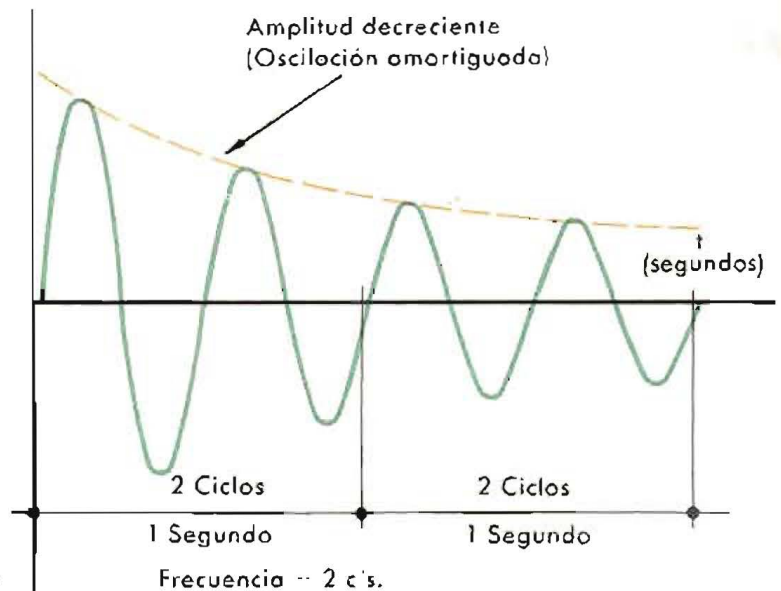
Si se aplica un impulso eléctrico a un circuito constituido por una inductancia L y una capacidad C, comienza a *oscilar*. La corriente pasa unas veces en un sentido y otras en el sentido opues-

to varias veces por segundo (frecuencia), según sean el valor de la bobina L y del condensador C.

La oscilación o circulación de corriente en un sentido y otro cierto número de veces por segun-



Circuito oscilante característico constituido por una inductancia y una capacidad.



do se mantendría constante si no existiera ninguna resistencia en el circuito; pero como en la práctica es imposible construir ningún componente electrónico que no tenga resistencia, por pequeña que sea, la amplitud de la oscilación decrece con mayor o menor rapidez según sea el valor de dicha resistencia, hasta llegar a cero.

Por consiguiente, para que la oscilación no se extinga habrá que añadir al circuito oscilante un sistema de compensación capaz de contrarrestar la atenuación o amortiguamiento producido por la resistencia óhmica del circuito.

Por ello, en principio, todo circuito oscilador consta de un elemento amplificador de energía, una fuente de alimentación y un circuito de realimentación para compensar el amortiguamiento.

Como los transistores funcionan tanto como osciladores como amplificadores, cabe esperar pocas diferencias entre los osciladores que utilizan

válvulas termoiónicas o transistores como elemento amplificador. En efecto, cada oscilador con válvula de vacío (Hartley, Colpitts, etc.) tiene parangón en un circuito análogo con transistores. Sin embargo, en los circuitos osciladores con transistores ha de tenerse en cuenta la influencia de los cambios de temperatura sobre el punto de funcionamiento del transistor, ya que afectaría, por tanto, a la frecuencia de oscilación.

No debe confundirse la realimentación introducida en los osciladores con la realimentación en amplificadores de baja frecuencia, ya que la primera está en fase con la señal de entrada y la refuerza; al contrario, la segunda está en oposición de fase y su función es disminuir la distorsión a cambio de una debilitación de la señal y por ende de la amplificación. En el primer caso se trata de realimentación positiva; en el segundo, de realimentación negativa.

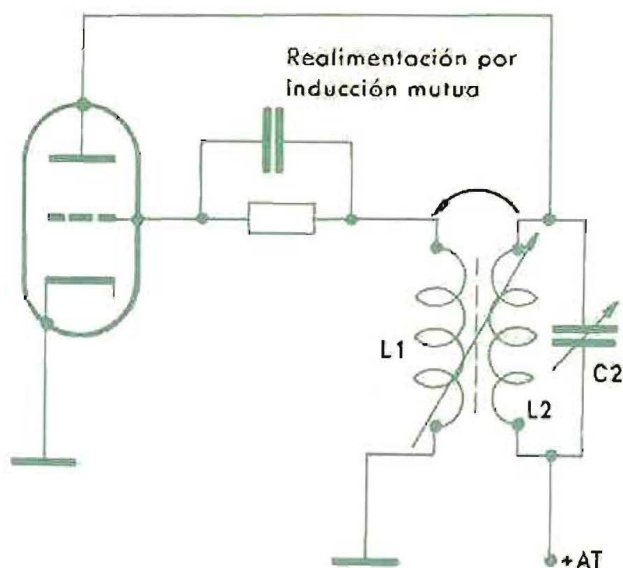
OSCILADORES DE RADIOFRECUENCIA

Dada la semejanza del funcionamiento de una válvula triodo y el de un transistor, es posible que este último pueda utilizarse como oscilador.

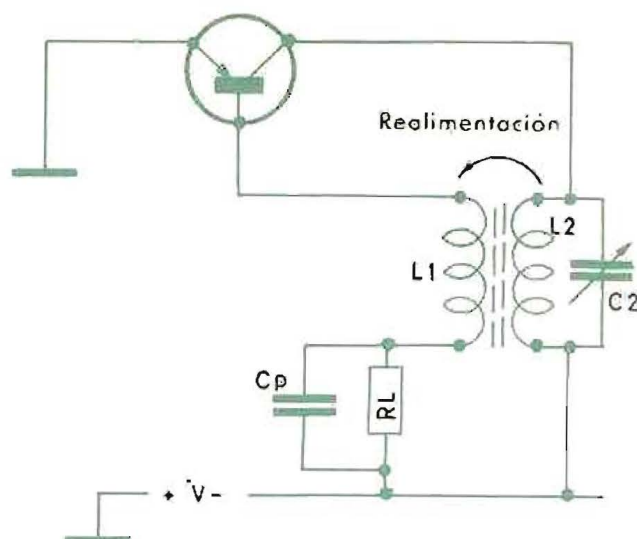
El circuito oscilador con válvula que hemos indicado es el de cátodo a masa, cuyo equivalente con transistor es el de emisor a masa. El esquema de principio sería el indicado en la figura siguiente. La única diferencia esencial es que en válvulas se trata de *tensiones amplificadas* y en transistores debemos hablar de *corrientes amplificadas*. En este caso, el circuito oscilante formado por L_2 - C_2 transfiere por inducción la señal de oscilación al devanado L_1 , que la aplica a la

base del transistor; éste la amplifica y la inyecta al circuito oscilante para compensar su atenuación. Se incluye una resistencia R_L limitadora de la corriente de emisor a un valor prudencial. El condensador C_F da paso a la señal de R.F. generada e inyectada a través de dicha resistencia, ya que de lo contrario este último atenuaría en gran manera la realimentación.

Este mismo circuito puede utilizarse también conectando el emisor a masa a través de una resistencia y condensador en paralelo, con lo cual, según ha demostrado la práctica, el funcionamiento del oscilador es mucho más estable.



Oscilador típico con válvula termoiónica (cátodo a masa).

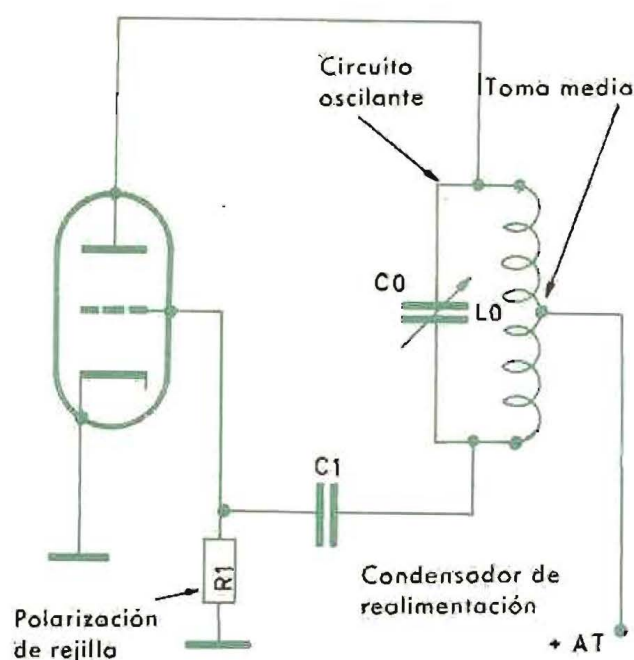


Oscilador de radiofrecuencia con transistor (emisor común).

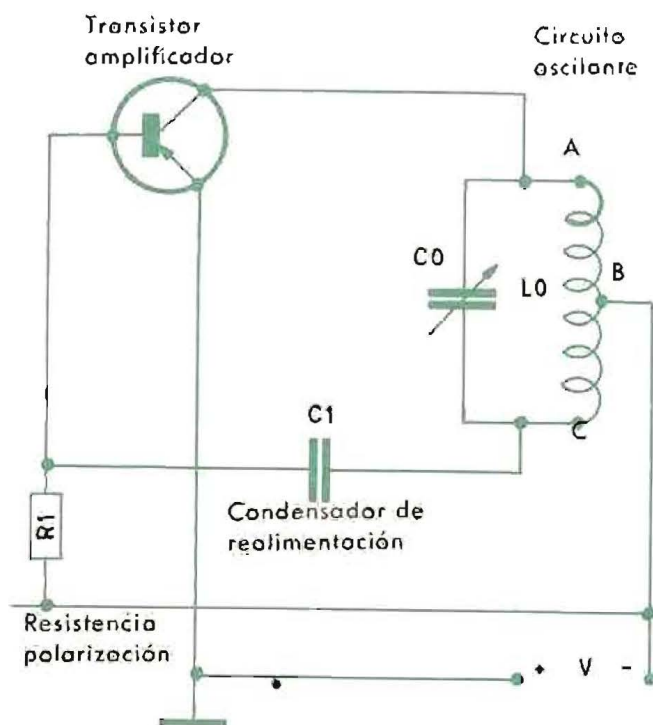
El oscilador Hartley

Tanto en los montajes con válvulas como en los de transistores, el oscilador Hartley se dis-

tingue en qué la bobina del circuito oscilante está dotada de una toma media y la realimentación de la oscilación se efectúa a través de la propia bobina del circuito oscilante.



Oscilador Hartley con válvula electrónica.



Oscilador Hartley con transistor.

Observando la anterior figura vemos que la oscilación se genera entre los puntos A y C. El colector del transistor se alimenta a través del punto B de la bobina osciladora; la tensión desa-

rollada entre los puntos B y C se aplica, a través del condensador de acoplamiento C, a la base del transistor para realimentar o entretener la oscilación.

CIRCUITOS MEZCLADORES

Sabemos que el receptor superheterodino se basa en el principio de superponer o «mezclar» una oscilación de alta frecuencia con la señal procedente de la antena, también de alta frecuencia, para obtener una señal cuya frecuencia sea la diferencia de las dos citadas (generalmente frecuencia intermedia), que se amplifica a continuación en varias etapas de F.I. Esta superposición de frecuencias se realiza en la etapa mezcladora que, lógicamente, es característica de todo receptor superheterodino.

Conocemos los diferentes circuitos conversores o mezcladores con válvulas que se utilizan o que han venido utilizándose. En los circuitos con transistores, como estos dispositivos semiconductores sólo tienen tres electrodos, sólo puede aplicarse a dos de ellos la señal de R.F. de la antena y la del oscilador local, obteniéndose la conversión o frecuencia intermedia en el tercer electrodo.

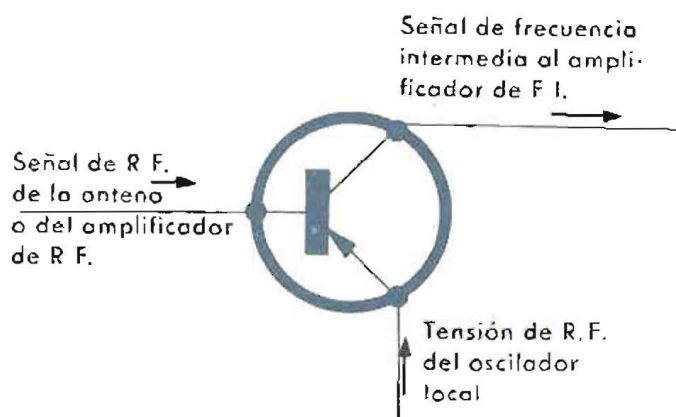
La señal de la antena se aplica por lo general a la base, por ser éste el electrodo de control, mientras que la señal del oscilador local se inyecta al emisor. La señal de F.I. se extrae del colector.

La tensión del oscilador necesaria para el proceso de conversión o mezcla puede suministrarse por un oscilador independiente del mezclador o puede estar producida por el mismo mezclador. El primer caso puede considerarse como circuito oscilador y mezclador puro, mientras que el segundo se conoce como de tipo combinado.

El primer método tiene la ventaja de que las señales de entrada potentes no afectan al funcionamiento del oscilador, mientras que en un circuito combinado (llamado corrientemente «mezclador autooscilador») pueden bloquearlo. Además, el ajuste de un circuito mezclador puro es menos crítico que el de un combinado; pero a pesar de estas desventajas suelen emplearse generalmente etapas mezcladoras autoosciladoras en los receptores normales, tal vez por la razón de que en la misma sólo se necesita un transistor en lugar de los dos transistores necesarios en el circuito mezclador puro.

Los requisitos impuestos al transistor mezclador autooscilador dependen de la gama de frecuencias en que deba trabajar la etapa mezcladora; por ello, el proyecto de ésta difiere según se trate de ondas media y larga o de onda corta y frecuencia modulada.

Los transistores más utilizados para receptores de onda media y larga son OC44, OC170 y AF117 u otros equivalentes.

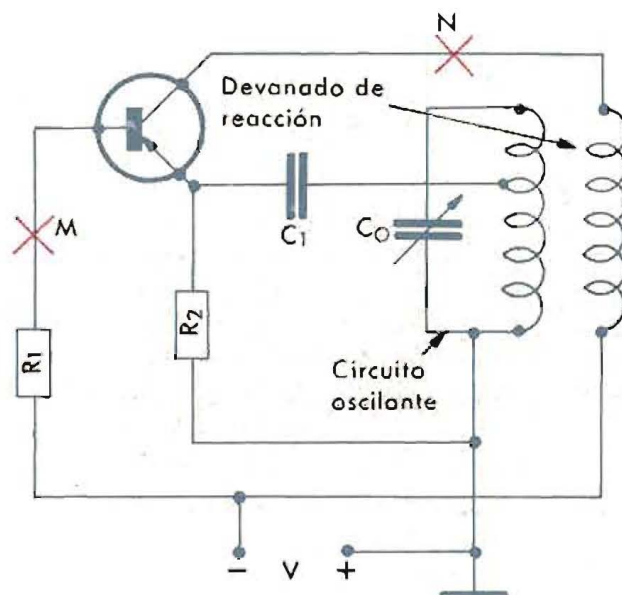


El transistor como mezclador de frecuencias.

Para comprender el funcionamiento de un circuito mezclador autooscilante, recordemos el circuito oscilador de R.F. con transistor descrito en anteriores páginas; pero apliquemos la tensión de realimentación para entretener la oscilación al emisor del transistor en lugar de hacerlo a la base, como se explicó.

Es decir, este oscilador es un derivado del anterior y comprende un circuito sintonizado en el emisor, acoplado por inducción al arrollamiento de reacción o realimentación del colector.

Si en este circuito se intercala en el punto M un circuito sintonizado a la señal que queramos, captada por la antena, y en el punto N se intercala el primario del primer transformador del amplificador de F.I., se obtiene el esquema de la figura siguiente.



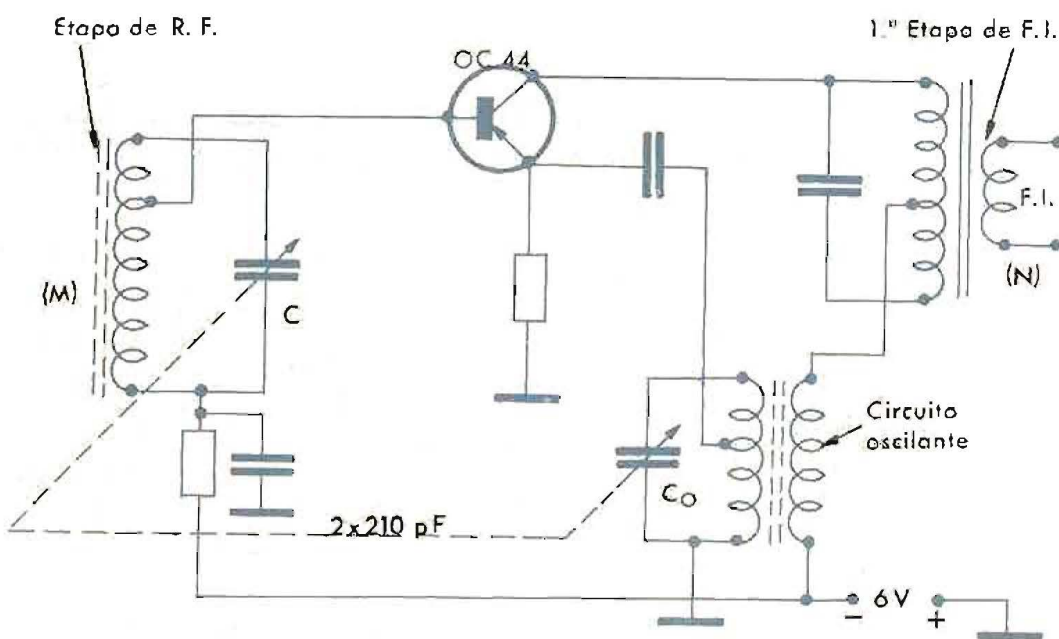
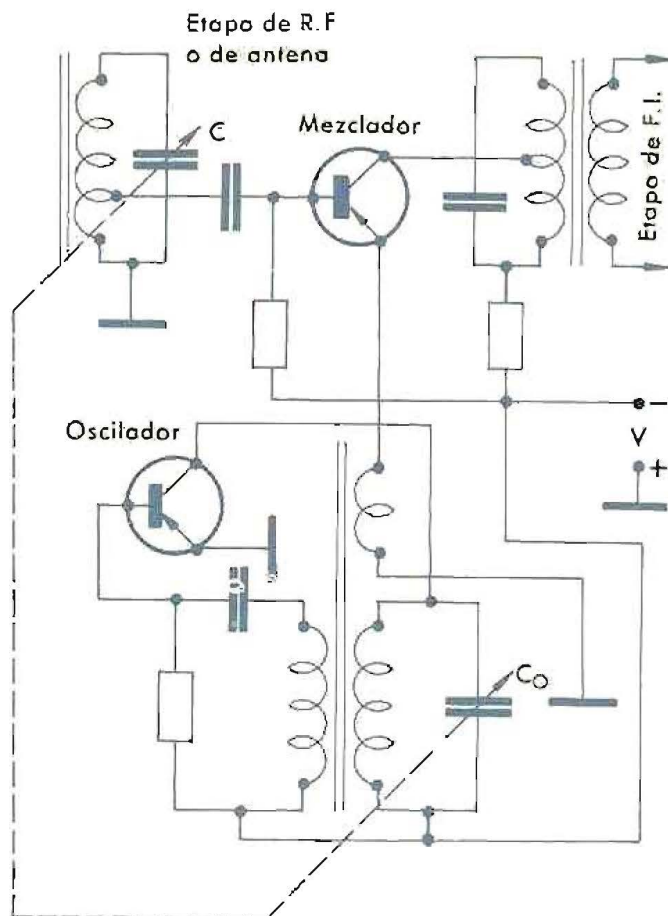
Podemos observar que, igual que en los circuitos con válvulas, la sección osciladora del convertidor de frecuencia se sintoniza simultáneamente con el circuito de R.F. (por ejemplo, el de antena) por medio de los condensadores de sintonía C y C_0 , acoplados mecánicamente.

El valor de los componentes de los circuitos oscilantes se determina de modo que la frecuencia diferencia se mantenga constante a un determinado valor, por ejemplo 450 Kc/s, frecuencia a la cual deberán estar sintonizados asimismo los transformadores de acoplamiento de F.I. de forma que se seleccione y amplifique la señal de esta frecuencia.

La oscilación local se obtiene por el circuito oscilante conectado al emisor y se mantiene por la realimentación aplicada inductivamente desde el colector.

Los circuitos provistos de oscilador local independiente son de tipo clásico. En general, un devanado de acoplamiento colocado en el retorno del emisor toma la tensión del oscilador.

Etapa convertidora con circuitos mezclador y oscilador independientes.



Circuito básico del convertidor de frecuencia deducido de una variante del oscilador Hartley.

ETAPA MEZCLADORA AUTOOSCILADORA PARA RECEPTORES DE FM

Para esta aplicación también se utilizan transistores de aleación difusa, como OC171, AF115, AF121, etc. Igualmente, la conexión de base común ha demostrado ser la más adecuada para el

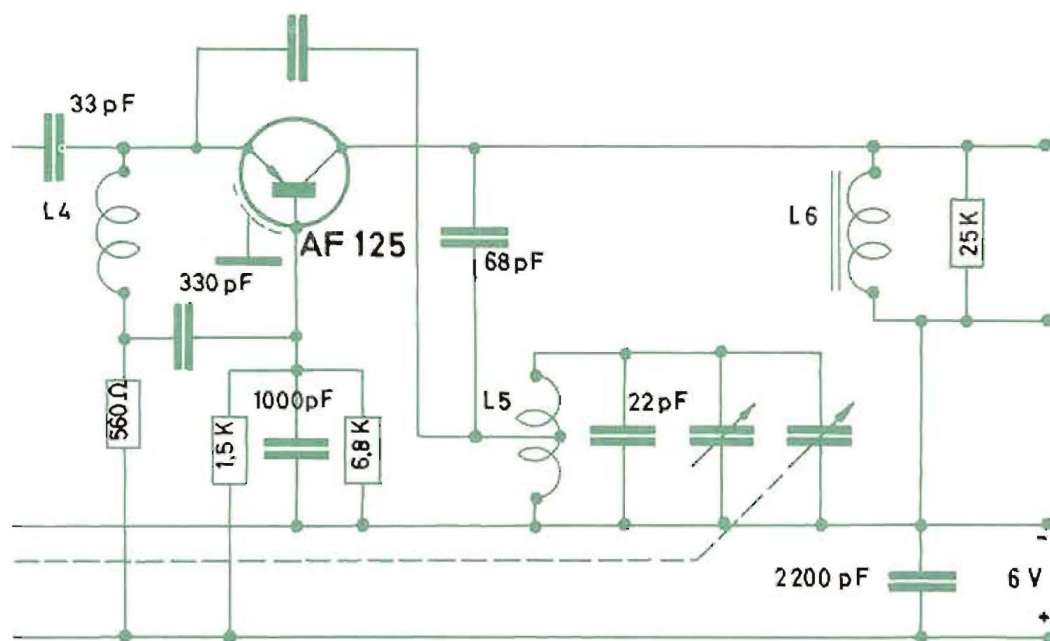
oscilador a frecuencias de 100 MHz o mayores.

La realimentación de la oscilación se obtiene por medio de un condensador, conectado entre colector y emisor.

A la entrada de la etapa mezcladora —es decir, en el acoplamiento entre amplificador de R.F. y mezclador— se conecta una inductancia en derivación para proveer un camino de escape fácil a las señales que de la salida en F.I. pudieran introducirse hasta la entrada, o emisor, del mezclador.

La frecuencia del oscilador depende en parte de la tensión de alimentación, lo cual quiere decir que si ésta varía, el funcionamiento de aquél es inestable. Como el consumo total de un recep-

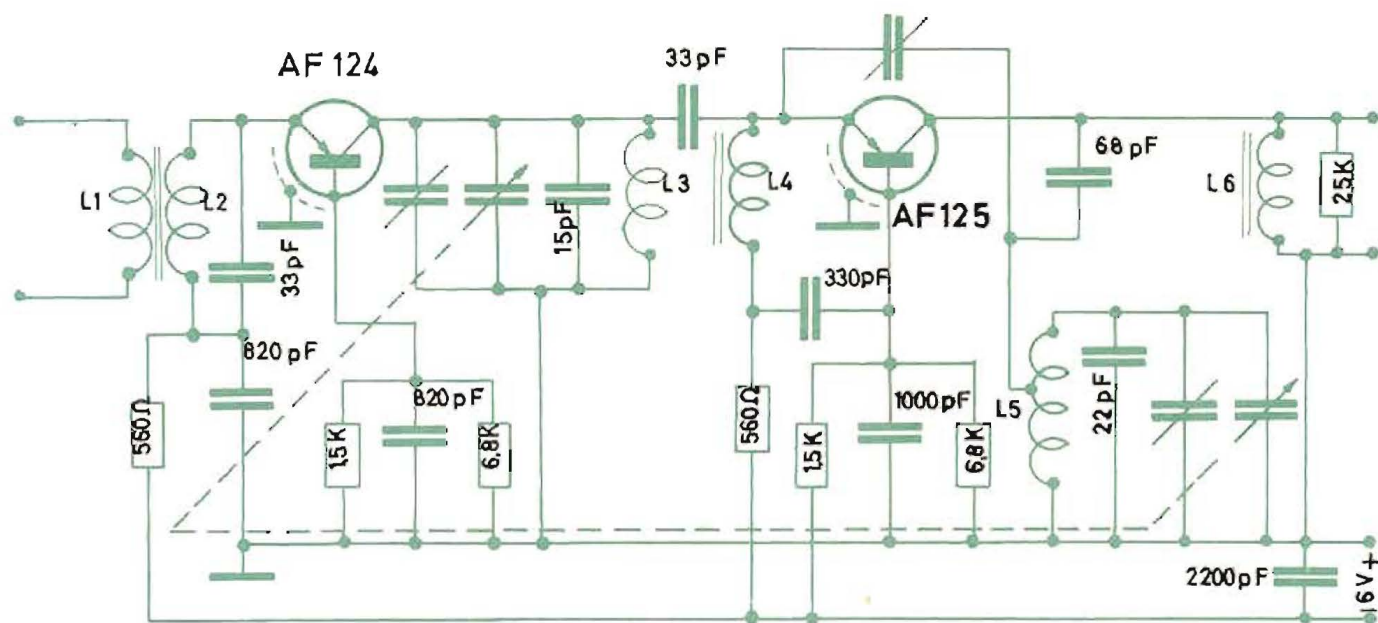
tor es muy diferente en ausencia de señal o a plena potencia, debido a la resistencia interna de la batería, la variación de corriente da lugar a una variación de la tensión de alimentación y, por tanto, puede alterar la frecuencia del oscilador y producir distorsión. Ello puede casi eliminarse, o por lo menos reducirse, tomando la señal del oscilador de una toma intermedia del circuito oscilante, bien por medio de una toma intermedia de la bobina o por una toma intermedia en la capacidad, utilizando dos condensadores en serie.



Mezclador-autooscilador para FM.

La frecuencia del oscilador local es 10^7 MHz superior a la de la señal de R.F., por lo que la señal de F.I. es de siempre 10^7 MHz. Este valor

de la frecuencia de F.I. ha sido normalizado en todo el mundo, por lo que todos los aparatos de FM tienen los pasos de F.I. a 10^7 MHz.



He aquí acopladas las etapas amplificadora de R.F. y automezcladora para un receptor de FM. (Documentación Miniwatt.)

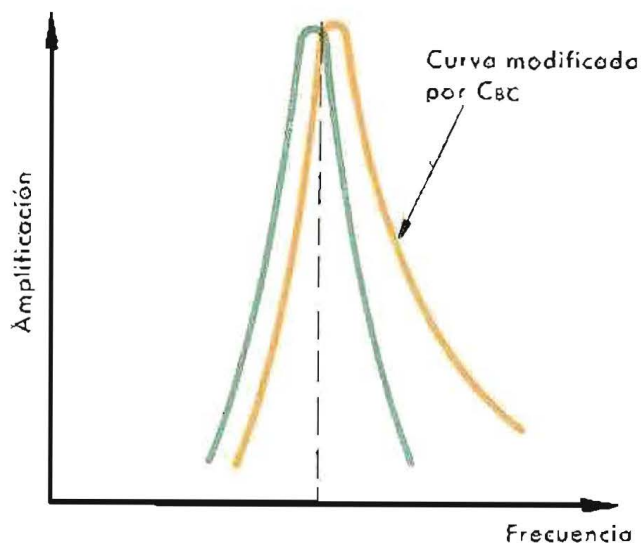
AMPLIFICADORES DE F.I.

Un amplificador de F.I. es en esencia un amplificador de radiofrecuencia; todas las consideraciones anteriores relativas a los amplificadores de R.F. son válidas también para los de F.I. Sin embargo, existe una diferencia: el amplificador de F.I. permanece siempre sintonizado a la misma frecuencia.

Las dos funciones específicas del amplificador de F.I. son las de suministrar la amplificación necesaria (por medio del transistor) y proporcionar la mejor selectividad posible (por medio de uno o más circuitos sintonizados).

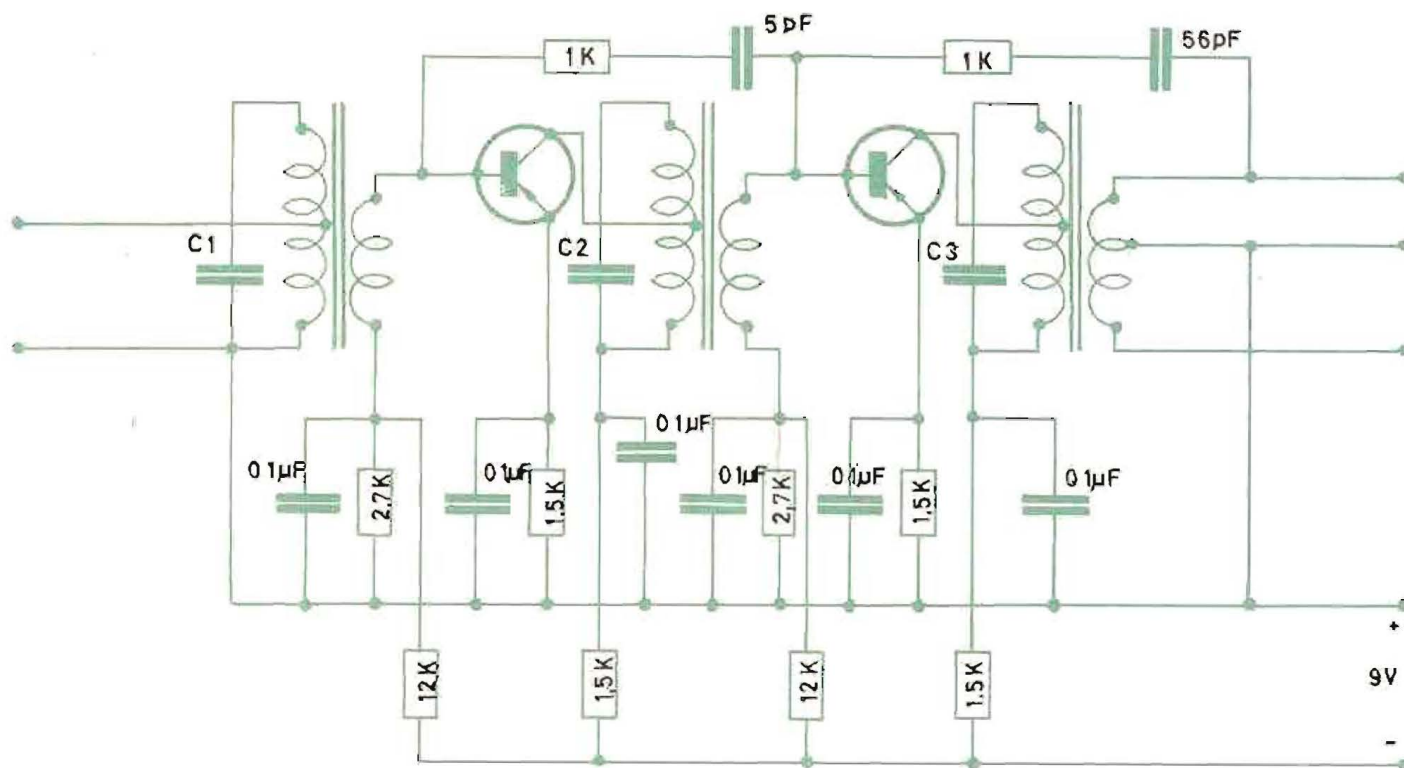
De la misma forma que en el amplificador de radiofrecuencia la capacidad parásita existente entre base y colector C_{BC} causa inestabilidad por introducir realimentación positiva, en los amplificadores de F.I. también se introduce realimentación a través de dicha capacidad, lo que se traduce en cierto desplazamiento de la frecuencia de resonancia de los circuitos sintonizados y una asimetría en la curva de paso de banda del amplificador de F.I.

Este desplazamiento o asimetría de la curva reduce la amplificación y produce inestabilidad. Esta anomalía puede eliminarse o reducirse aplicando alguno de los métodos de neutralización ya descritos para los amplificadores de radiofrecuencia.



Desplazamiento y asimetría producida por la capacidad parásita C_{BC} del transistor amplificador de F.I.

Los circuitos resonantes de un amplificador de F.I. equipado con transistores suelen llevar derivaciones para obtener la estabilidad y la selectividad requerida. Estos amplificadores con transistores acostumbran ser de dos pasos, a diferencia de los circuitos con válvulas, en que generalmente son de uno sólo.



Esquema típico de amplificador de F.I. de dos pasos para receptores AM con transistores.

AMPLIFICADORES DE F.I. PARA FM

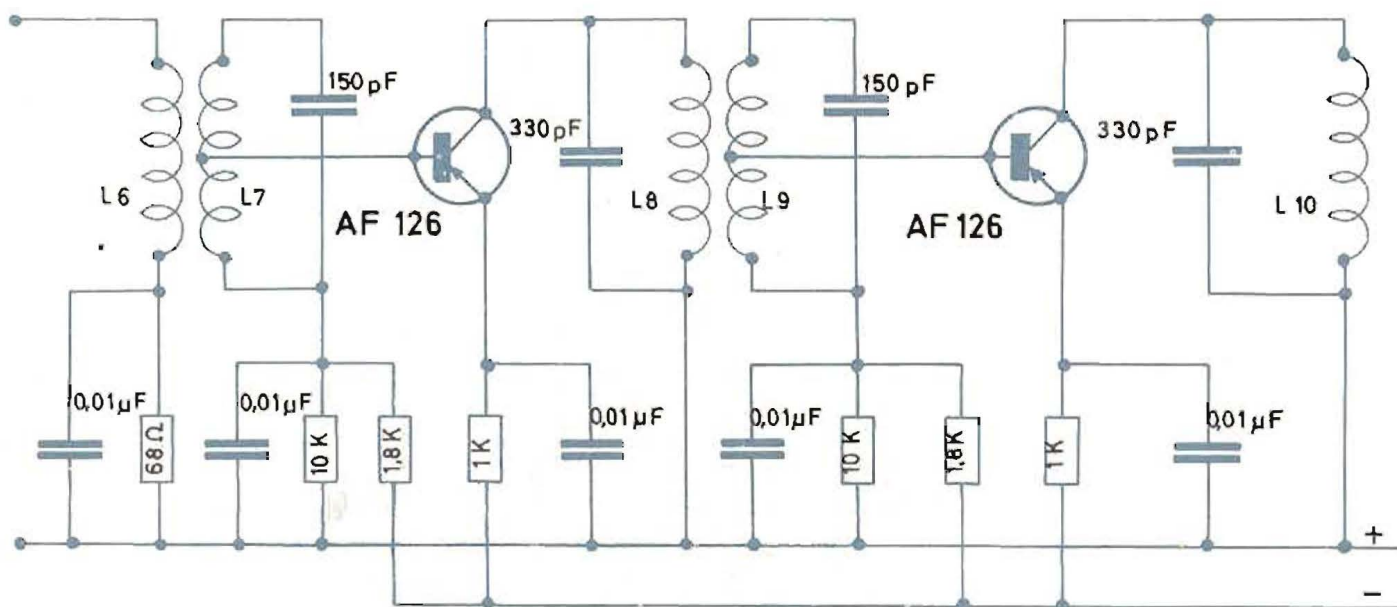
Como sabemos, los amplificadores de F.I. proporcionan gran sensibilidad y selectividad al receptor. La ganancia de una etapa de F.I. en receptores de FM es generalmente baja porque, como el ancho de banda debe ser de 200 KHz en lugar de 10 KHz para AM, deben utilizarse circuitos sintonizados de bajo Q. Además, a la frecuencia de 107 MHz con que en FM se trabaja en F.I. no es fácil conseguir la ganancia que se obtiene en frecuencias mucho más bajas, como la de 450 KHz que se utiliza en AM. En consecuencia, los receptores de FM tienen más etapas amplificadoras de F.I. que los de AM.

El amplificador de F.I. emplea generalmente transformadores dobles sintonizados, que poseen la misma inductancia en primario y secundario y pueden sintonizarse inductiva o capacitivamente.

En la recepción de FM con un receptor de transistores se acostumbra emplear tres etapas de

amplificación de F.I. (en los circuitos con válvulas se utilizan dos etapas). Los transistores que se utilizan para estas etapas son los de aleación difusa.

En los receptores de AM-FM el primer transistor amplificador de F.I. se convierte en oscilador-mezclador cuando el receptor se utiliza en AM, para lo cual se disponen los correspondientes conmutadores. Es decir, en estos receptores el amplificador de F.I. en FM consta de tres etapas y en AM se utilizan dos. Para el paso de la recepción AM a la de FM se emplean generalmente dos circuitos de conmutación: uno en el circuito de base, que desconecta el primer paso de F.I. del convertidor de FM y lo conecta al circuito de sintonía de antena en AM, y otro circuito de conmutación en el colector del transistor que desconecta el retorno de F.I. en FM y conecta el circuito oscilador de AM a través del primario del transformador de F.I. en AM.



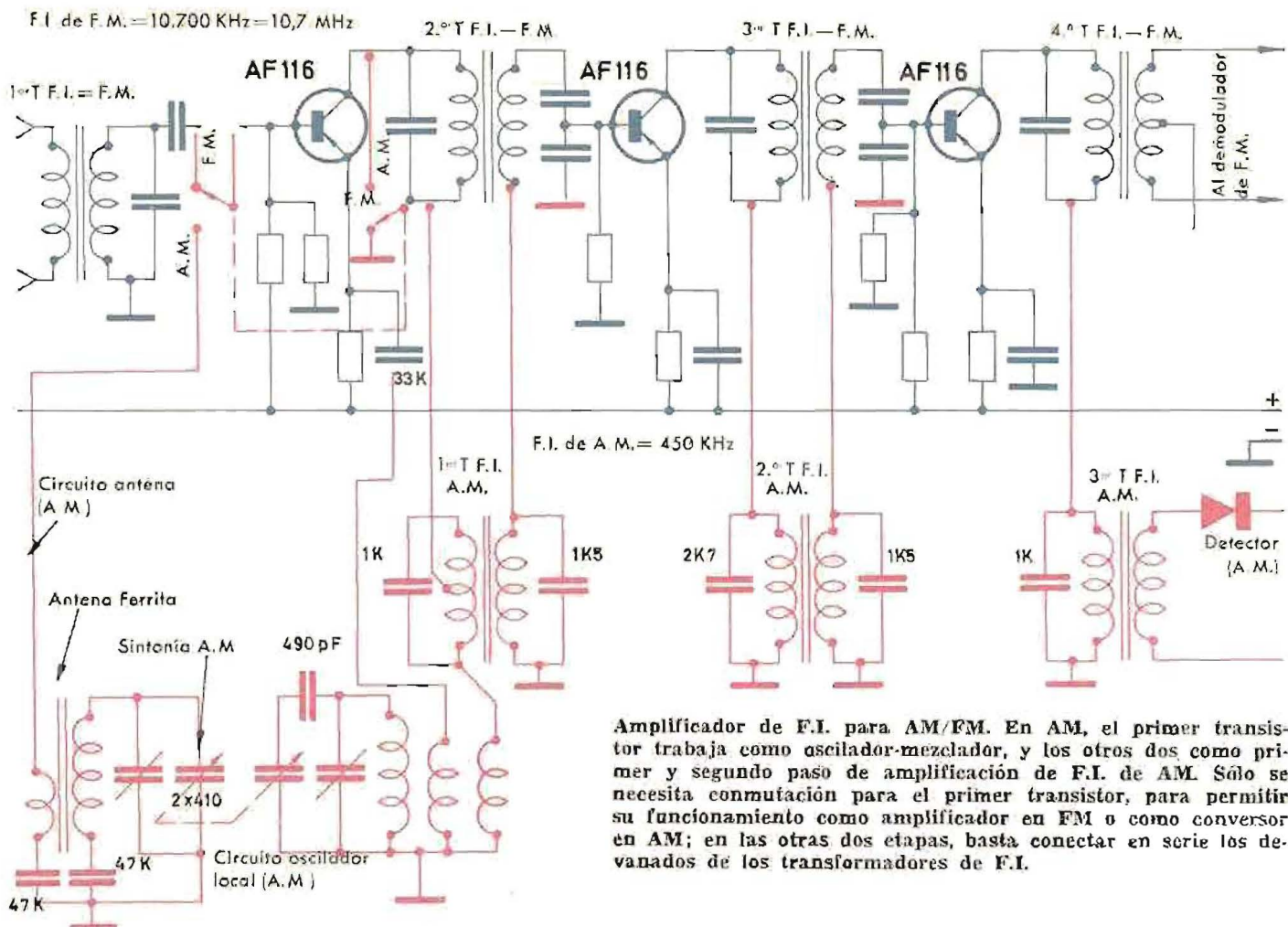
Amplificador de F.I. para FM.

Para evitar tener que conectar en cada paso un transformador u otro, según se trate de recepción AM o FM, se conectan los dos devanados en serie de forma que en AM presenten muy poca impedancia para la señal de F.I. de FM y viceversa. Con ello, tanto en una recepción como en otra, sólo el transformador correspondiente está correctamente acoplado.

Los circuitos resonantes de un amplificador de F.I. equipado con transistores suelen llevar derivaciones inductivas o capacitivas para acoplamiento correcto de las impedancias y para obte-

ner la requerida estabilidad y selectividad. Pero en el caso de transistores de aleación difusa, como los que se utilizan en la actualidad, debido a la elevada impedancia de colector de estos transistores, no es necesario proveer derivaciones en el primario de los transformadores, salvo en el primero para AM.

Por el contrario, en los secundarios es preciso proveer un divisor inductivo o capacitivo para acoplar la impedancia de salida del transformador de F.I. a la base del transistor siguiente a fin de no provocar un amortiguamiento excesivo.



Amplificador de F.I. para AM/FM. En AM, el primer transistor trabaja como oscilador-mezclador, y los otros dos como primer y segundo paso de amplificación de F.I. de AM. Sólo se necesita conmutación para el primer transistor, para permitir su funcionamiento como amplificador en FM o como conversor en AM; en las otras dos etapas, basta conectar en serie los devanados de los transformadores de F.I.

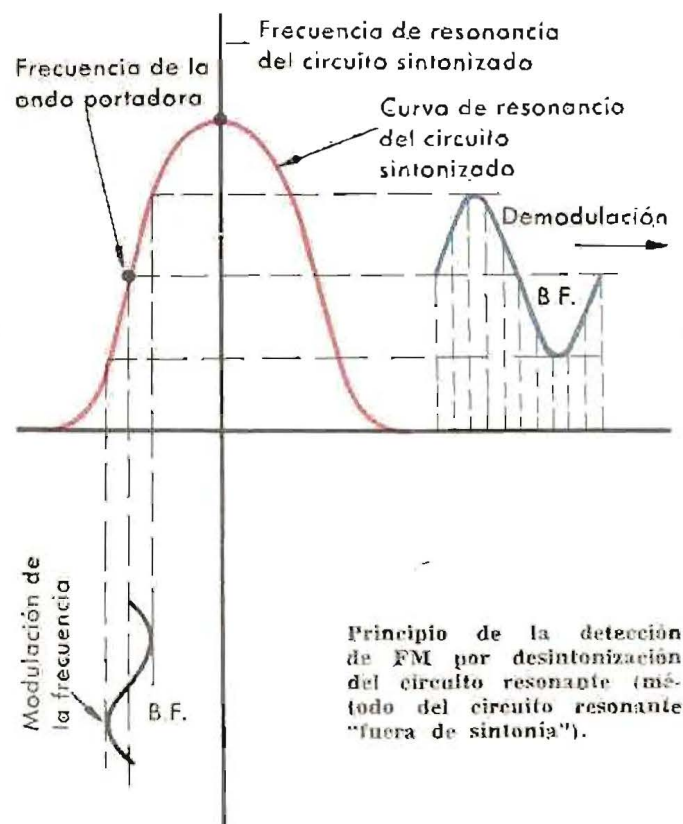
DEMODULACION EN FM

El medio más sencillo de detectar una señal modulada en frecuencia —es decir, convertirla en una tensión alterna de baja frecuencia— es emplear un circuito sintonizado normal con detector diodo.

Sabemos que la tensión en un circuito sintonizado depende de la frecuencia. La tensión es máxima en la frecuencia de resonancia y decrece a medida que nos separamos por ambos lados de dicha frecuencia.

En FM, si el circuito sintonizado se ajusta de tal manera que para una determinada emisora la frecuencia portadora caiga en el centro de una de las pendientes laterales de la curva de resonancia, toda variación de frecuencia (por modulación de B.F.) da lugar a una tensión alterna de audiofrecuencia de amplitud variable. Es decir, en realidad se trata de detectar por **DESINTONIZACIÓN**. Hoy en día se utilizan, no obstante, circuitos más perfeccionados.

En la actualidad, para la demodulación de señales de FM se utilizan corrientemente dos tipos de dispositivos detectores (completamente diferentes del de AM): el discriminador y el detector de relación.

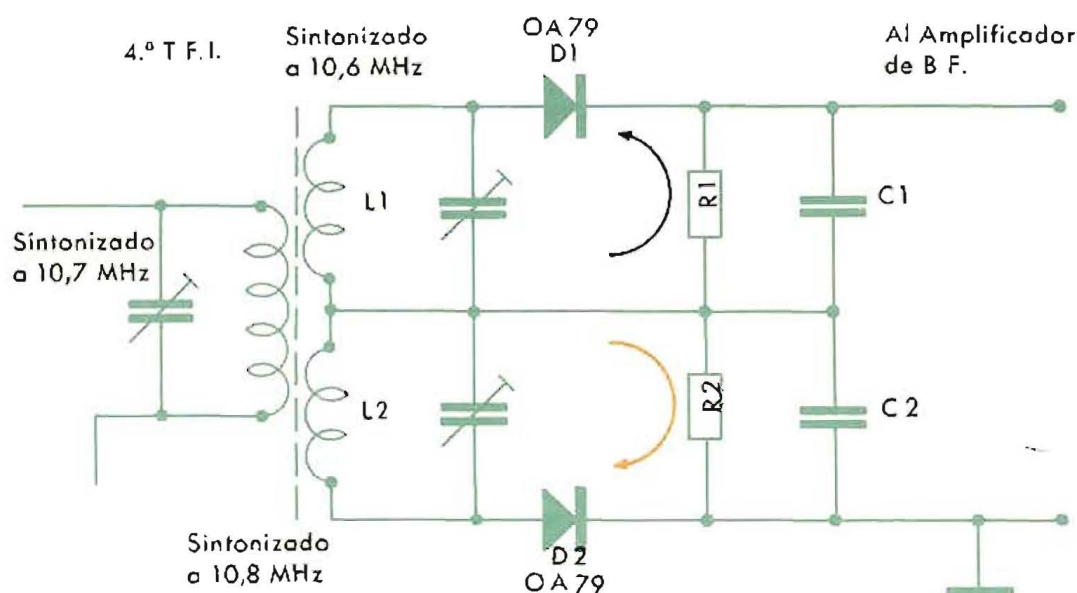


Principio de la detección de FM por desintonización del circuito resonante (método del circuito resonante "fuera de sintonía").

EL DISCRIMINADOR

Para la demodulación para discriminador, el devanado secundario del transformador final de

F.I. está subdividido en dos, cada uno de los cuales lleva su propio condensador de sintonía.

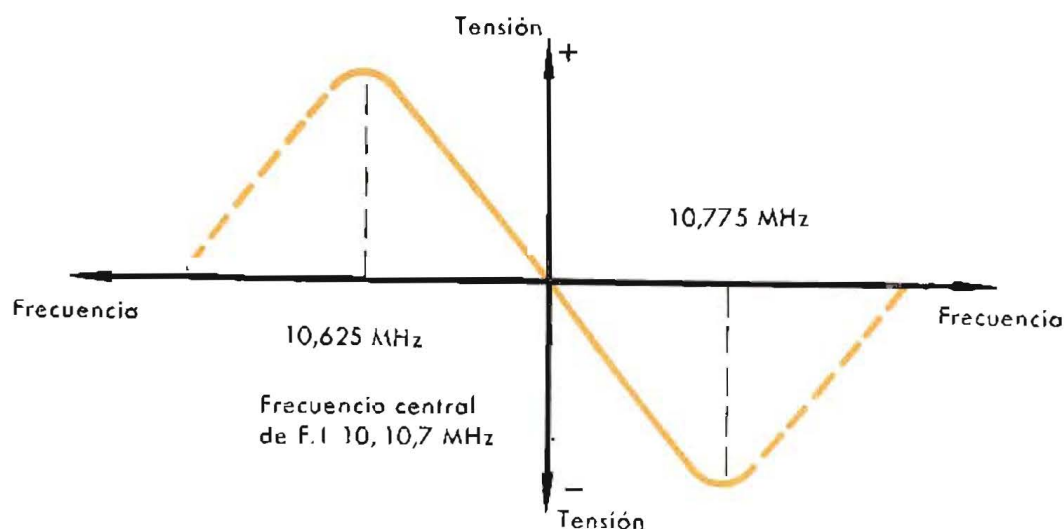


Circuito básico de discriminador (discriminador doble sintonizado o de Travis).

El primario del transformador está sintonizado a la frecuencia nominal de F.I. en FM, es decir, 10,7 MHz. En el secundario, en cambio, cada devanado lo está a 75 KHz por encima y por debajo de dicha frecuencia; es decir, un devanado a 10,775 y el otro a 10,625 MHz, lo que quiere decir que los dos devanados están sintonizados a los extremos del máximo desplazamiento de frecuencia de la señal de F.I. En los extremos de los secundarios de cada transformador aparecen señales de baja tensión cuando la señal de entrada corresponde a la frecuencia de la portadora sin modular (10,7 MHz). A medida que la frecuencia de la señal de entrada al discriminador se acerca a la frecuencia de resonancia de uno u otro de los circuitos sintonizados secunda-

rios, se desarrolla en éstos una señal cuya tensión aumenta de acuerdo con el desplazamiento de frecuencia.

La señal que aparece entre los extremos de cada uno de los devanados se rectifica por diodos separados. Por tanto, entre los extremos de las resistencias R_1 y R_2 aparecen tensiones continuas entre cada una de las cuales es proporcional a la amplitud de la señal que aparece entre los extremos de su correspondiente devanado secundario. Como cada circuito secundario está dispuesto en oposición con respecto al otro, las tensiones desarrolladas en los extremos de las dos resistencias son contrarias; y la resultante de estas dos tensiones se aplica al amplificador de audiofrecuencia.



Curva de tensión del discriminador en función de la frecuencia (señal detectada de B.F.). Para la frecuencia central de 10,7 MHz, la tensión de salida es cero. A cada lado de esta frecuencia central se obtienen tensiones cuya polaridad y magnitud dependen del sentido y magnitud de la variación de frecuencia.

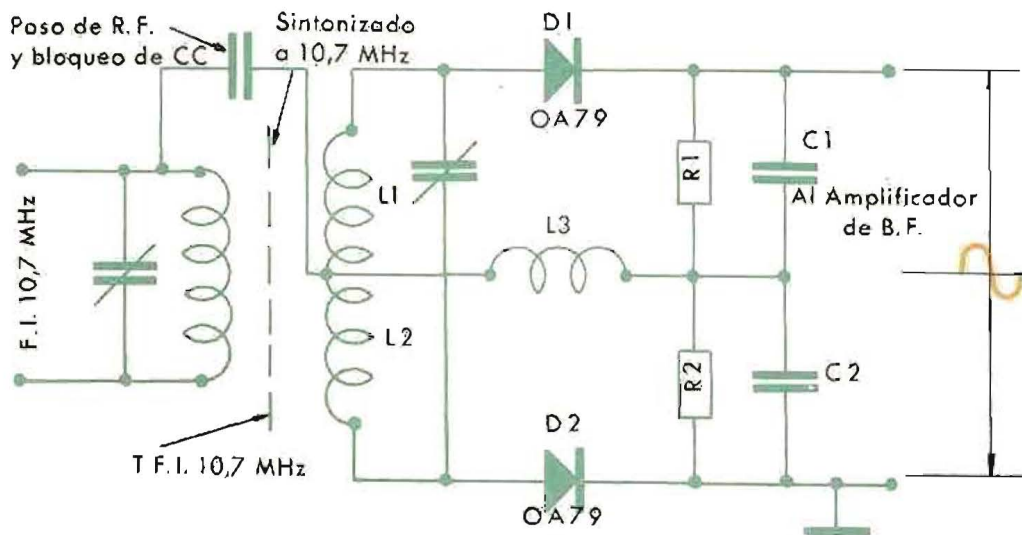
Cuando se recibe una señal en el centro de la banda de F.I. las tensiones a través de las resistencias de carga son iguales y opuestas, por lo que su suma es cero. Cuando la señal varía con respecto de la frecuencia portadora o frecuencia central de F.I. (10.7 MHz), estas tensiones individuales son diferentes en un circuito y en el otro; la resultante es una tensión cuya polaridad es la misma que la de la mayor y su valor es igual a la diferencia de tensiones de ambos circuitos.

El discriminador que acabamos de describir se conoce como «discriminador Travis» o «discriminador doble sintonizado» y es el básico para gran número de variantes que lo han perfeccionado. Actualmente apenas se utiliza porque es muy difícil ajustar los dos secundarios a la resonancia requerida y es difícil de proyectar y

fabricar el transformador de F.I. con dos secundarios de mismas características.

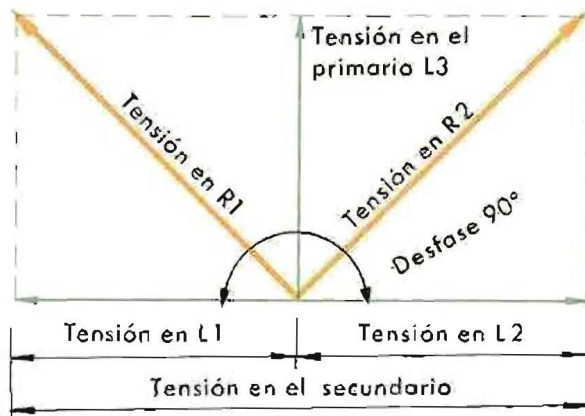
Discriminador Foster-Seeley

Este discriminador, inspirado en el anterior, se ha utilizado y se utiliza mucho en los receptores de FM, especialmente en los de válvulas con un paso limitador. Por su construcción, la diferencia principal con respecto al anterior es que el secundario del transformador tiene una toma media, en lugar de estar dividido, y utiliza un solo condensador de sintonía. Los diodos trabajan de la misma manera que en el circuito discriminador Travis y la señal de salida es idéntica a la obtenida con aquel circuito.

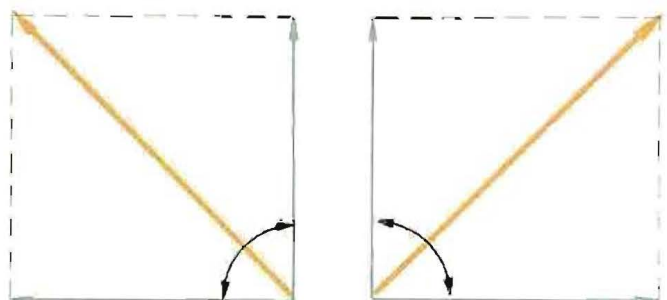


Eléctricamente, la principal diferencia consiste en las tensiones del devanado secundario. Los devanados primario y secundario están sintonizados a resonancia con la frecuencia central de F.I. (10.7 MHz). Independientemente del despla-

zamiento de frecuencia de la señal de F.I., la tensión de la señal entre los extremos de la mitad superior del secundario, L_1 , es siempre igual a la tensión de la señal entre extremos de la mitad inferior, L_2 . La tensión entre extremos del



Tensión en $R1 =$ tensión en $R2$
 $V_{R1} - V_{R2} = 0$ (No hay señal de audio)



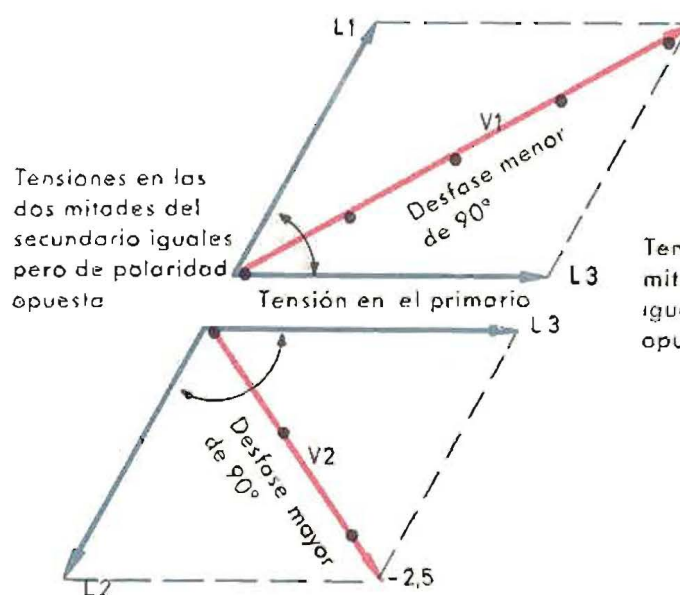
primario se aplica a través de la inductancia L_1 (choque de R.F.) y se suma a las tensiones en L_1 y L_2 .

En efecto, el circuito primario está en serie, para la radiofrecuencia, con cada mitad del secundario puesta a tierra; cuando la señal recibida coincide con la frecuencia de resonancia del secundario, la tensión en este último está defasada 90 grados con respecto a la tensión en el primario (es el defase normal de todo transformador). Puesto que cada diodo está conectado en paralelo con una mitad del secundario y el arrollamiento primario en serie, las tensiones de R.F. resultantes aplicadas a cada uno son iguales, y las tensiones desarrolladas a través de cada resistencia de carga del diodo son iguales y de polaridad opuesta. Por ello, la diferencia de potencial entre el extremo superior de las resistencias de carga y masa es cero.

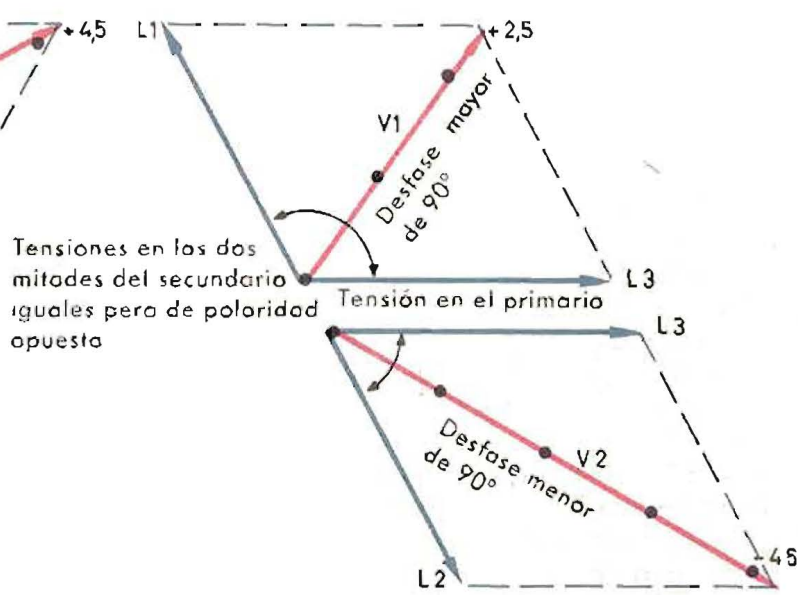
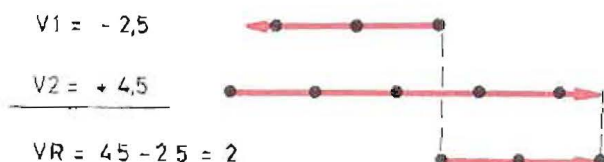
Sin embargo, si la frecuencia de la señal es

distinta de la de resonancia de 10.7 MHz (es decir, si la portadora de R.F. está modulada en frecuencia) la diferencia de fase entre primario y secundario será diferente, de 90°. Cuando esto ocurre las tensiones resultantes aplicadas a los dos diodos son desiguales; y en las resistencias de carga en serie aparece una tensión continua proporcional a la diferencia entre las tensiones de R.F. aplicadas a los diodos. Cuando la frecuencia de la señal varía a un lado y otro de la frecuencia de resonancia del discriminador, se desarrolla una tensión de c.a. de la misma frecuencia que la de la modulación en el emisor y proporcional a la desviación de frecuencia. Esta tensión alterna, de la misma frecuencia (audiofrecuencia) que moduló la portadora en el transistor, es la que se aplica al amplificador de B.F.

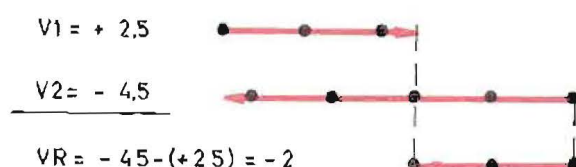
Los diodos que generalmente se utilizan en los circuitos discriminados son del tipo OA79. Conviene que se empleen por pares equilibrados.



Tensiones en los secundarios cuando la señal de R.F. tiene frecuencia inferior a la resonancia (F.I. = 10.7 MHz). En este caso el valor de la resultante es de signo positivo e igual a la diferencia de las dos tensiones resultantes.



Cuando la señal de R.F. tiene frecuencia superior a la de resonancia. En este caso el valor de la resultante es de signo negativo e igual a la diferencia de las dos tensiones resultantes.



EL DETECTOR DE RELACION

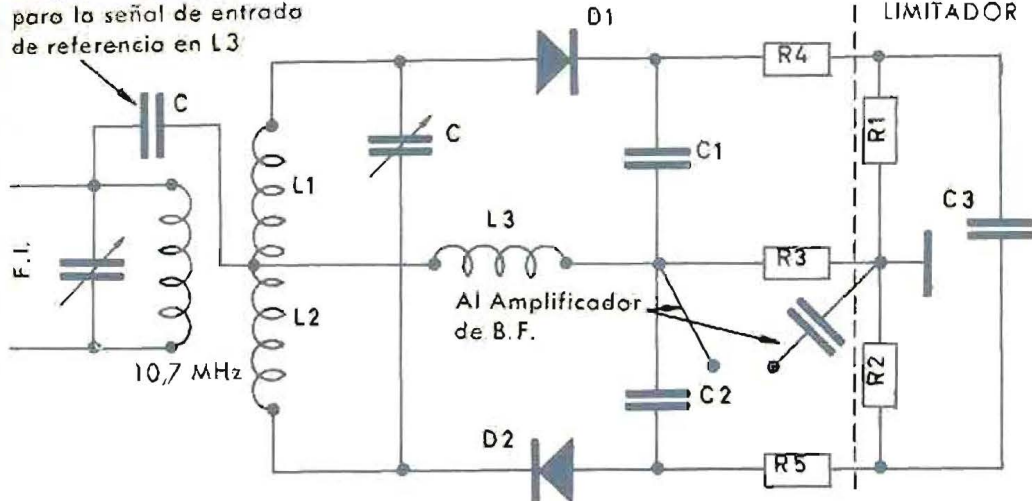
Los circuitos discriminadores analizados anteriormente son sensibles a las variaciones de amplitud de la señal de F.I.; luego es preciso utili-

zarlos en combinación con un limitador que elimine tales variaciones de amplitud. El detector de relación ha sido proyectado para obtener la

Acoplamiento capacitivo para la señal de entrada de referencia en L3

DISPOSITIVO DETECTOR F.M.

DISPOSITIVO LIMITADOR



Detector de relación básico. Obsérvese que es una variante del discriminador; pero se ha invertido la conexión de uno de los diodos y el circuito comporta un dispositivo limitador de amplitud.

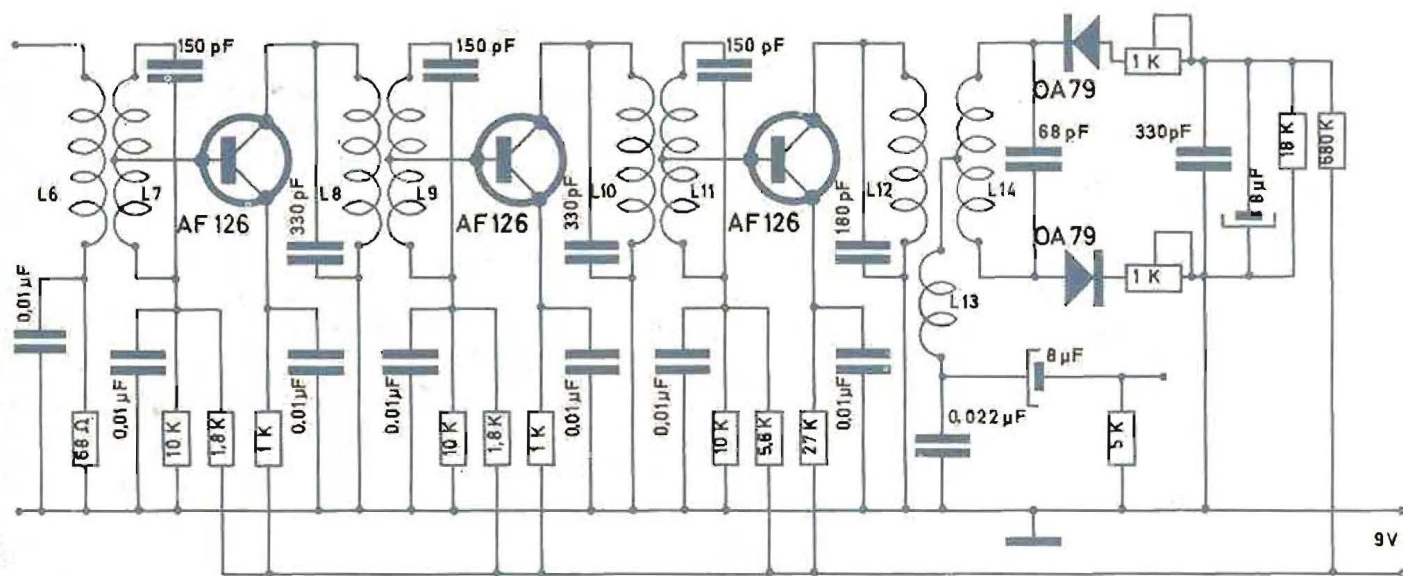
demodulación de FM sin necesidad de una limitadora.

Por hacer factible la supresión de una etapa en el receptor de FM, el detector de relación se emplea mucho en la actualidad.

El circuito del detector de relación es semejante al de un discriminador. Sin embargo, debe notarse que en este detector los dos diodos están polarizados de forma que sus tensiones continuas de salida se suman, en contraste con el circuito Foster-Seeley, en que dichas tensiones se oponen. La señal de salida de cada uno de los diodos aparece a través de las dos resistencias R_1 y R_2 . El dispositivo RC de resistencia y capacidad (R_1 , R_2 , C_3) actúa como limitador de amplitud y es el que da la preferencia a los detectores de relación al sustituir la etapa adicional previa que necesitan los discriminadores.

Debido a la forma en que están conectados los dos diodos, la señal de F.I. se rectifica de tal mo-

do que la parte superior del dispositivo RC se carga positivamente, mientras su parte inferior se carga negativamente. La tensión entre extremos del dispositivo RC está determinada por la tensión media de la señal de F.I. Si los valores del circuito limitador RC están bien determinados, las variaciones de amplitud de corta duración, tales como las producidas por los ruidos, no tienen efecto alguno de variación de tensión entre los extremos del sistema. Al contrario, los aumentos y disminuciones de larga duración en el nivel de la señal de F.I. dan lugar a los correspondientes aumentos y disminuciones de tensión entre los extremos del sistema RC. Es decir, este dispositivo actúa, por ejemplo, como un volante de inercia; y es el grado de inercia lo que debe determinarse con valores correctos para R_1 , R_2 y C_3 , de forma que la tensión entre los extremos del grupo RC sea estable. A medida que la señal de F.I. se desplaza de su frecuencia central (10.7



Amplificador de F.I. en FM y discriminador.

MHz), las tensiones a través de C_1 y C_2 varían notablemente; pero la suma de dichas tensiones en C_1 y C_2 se mantiene constante porque siempre es igual a la tensión en extremos del grupo RC, el cual se opone a toda variación brusca.

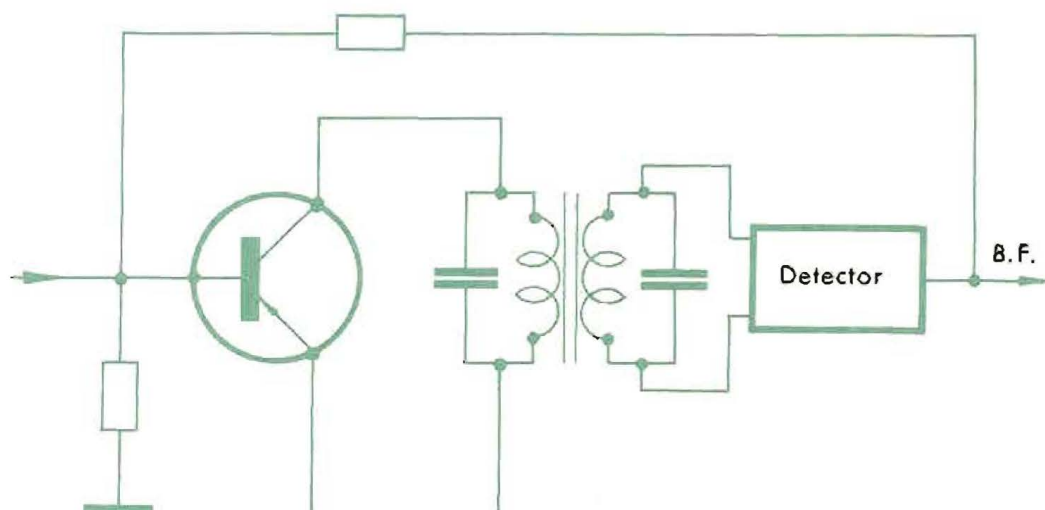
Los circuitos sintonizados del detector de re-

lación trabajan en la misma forma que los del discriminador Foster-Seeley, y los diagramas de desplazamiento de fase de este último son también valederos para el detector de relación. Como este circuito y sus posibles variantes ya han sido estudiados, nada más diremos sobre él.

CONTROL AUTOMATICO DE SENSIBILIDAD

Se utilizan dos procedimientos básicos para regular automáticamente la ganancia de los amplificadores de radiofrecuencia y frecuencia intermedia con transistores.

Uno es similar al utilizado con válvulas. Consiste en variar la corriente de polarización de base del transistor, utilizando la componente continua de la tensión de salida del paso detector.



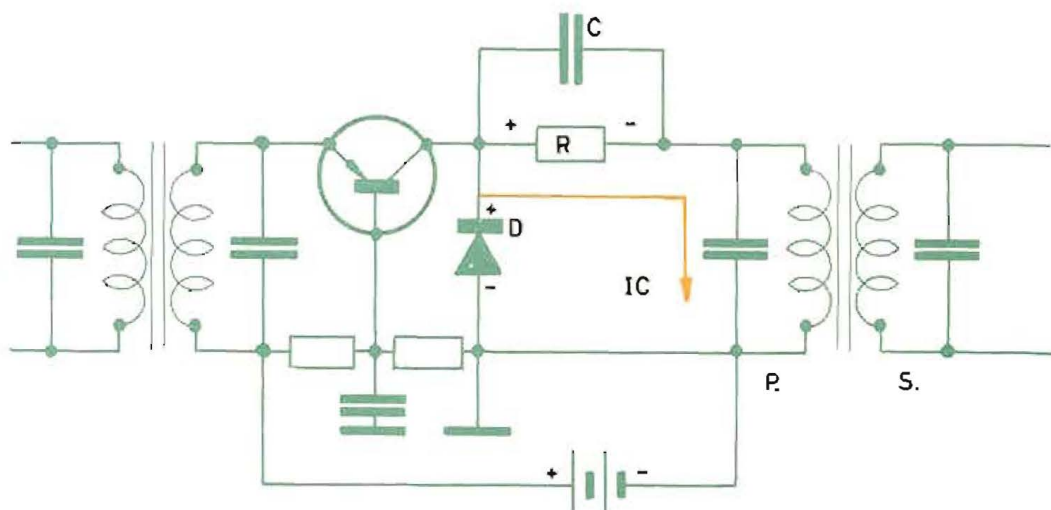
C.A.S. por variación de la corriente de polarización.

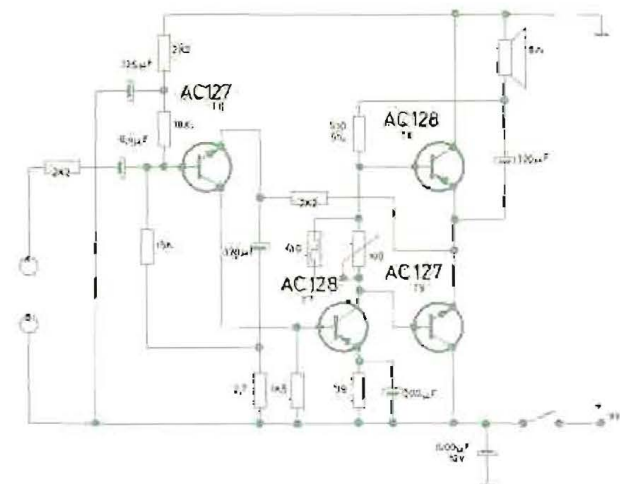
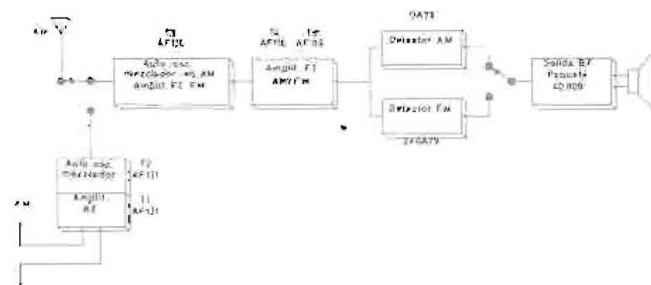
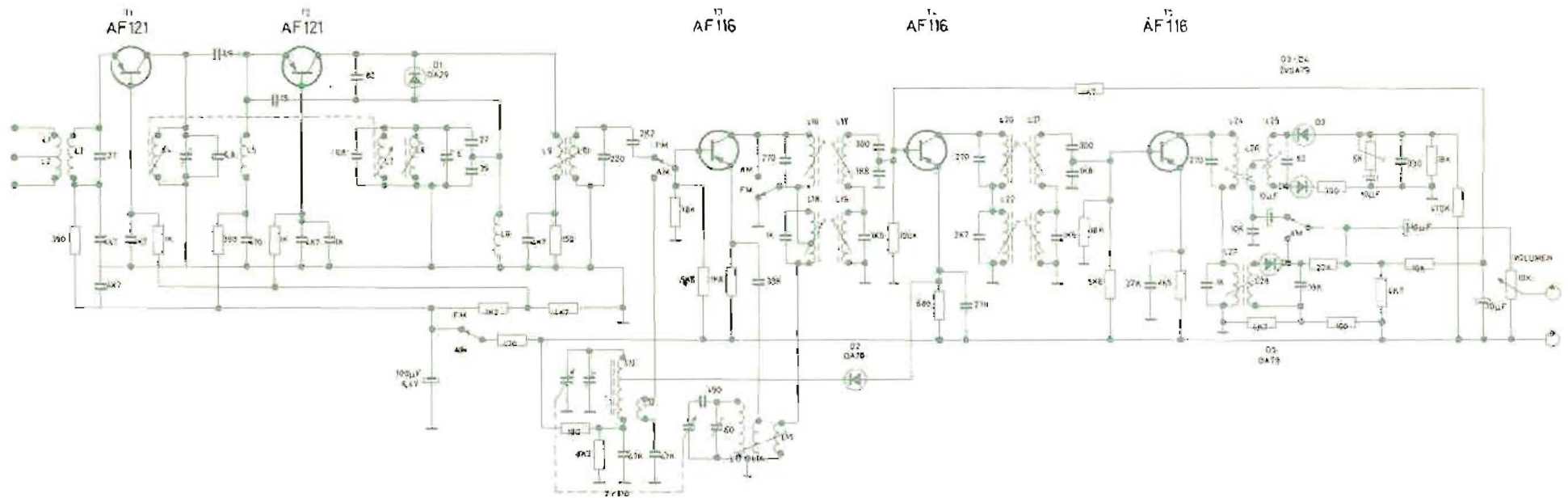
El otro procedimiento tiene un fundamento análogo al de los *limitadores* de diodos empleados en FM.

El esquema de principio es el que indica la figura. La componente continua de la corriente de colector I_c da origen en los extremos de la resistencia R a una d.d.p. que polariza al diodo D de forma que queda bloqueado en ausencia de señal.

Cuando se aplica señal, a esa d.d.p. se añade la tensión variable que aparece en el devanado P.

Si esa señal es pequeña, el diodo permanece bloqueado y normal la ganancia del paso; pero para señales más potentes, y a partir de cierto nivel, el diodo conduce durante los ciclos negativos de la señal de colector. El efecto es el mismo que si se hubiese agregado al circuito resonante una resistencia en paralelo, con lo que su





Superheterodino mixto AM-FM a transistores. (Documentación Miniwatt.)

impedancia disminuye y también la ganancia del paso amplificador.

Añadimos un esquema completo de un receptor mixto AM-FM con nueve transistores, en que puede apreciarse cómo la ganancia del transistor T_1 (AF116) está regulada por el primer procedimiento, y cómo el diodo D_1 (OA79) regula por el segundo procedimiento el nivel de la señal de colector en el transistor T_2 (AF121) que trabaja como oscilador-mezclador.

También por este procedimiento regula el dio-

do D_2 (OA70) el nivel de la señal en la bobina de antena de AM.

En efecto, a dicha bobina se aplica por un extremo, mediante el divisor constituido por las resistencias de $180\ \Omega$ y de $8K2\ \Omega$, una tensión que polariza el cátodo de D_2 . El ánodo queda polarizado por la tensión del emisor de T_1 .

Normalmente la d.d.p. en extremos de D_2 es tal que está bloqueado; pero cuando la señal en la bobina de la antena es excesiva, el diodo conduce y rebaja el nivel de dicha señal.

**Los transistores en la técnica
de impulsos
Multivibradores y convertidores
de corriente continua
Dispositivos semiconductores
especiales
Resistencias NTC, VDR y LDR**

LECCION 43



Aplicaciones diversas de los dispositivos semiconductores

LOS TRANSISTORES EN LA TECNICA DE LOS IMPULSOS

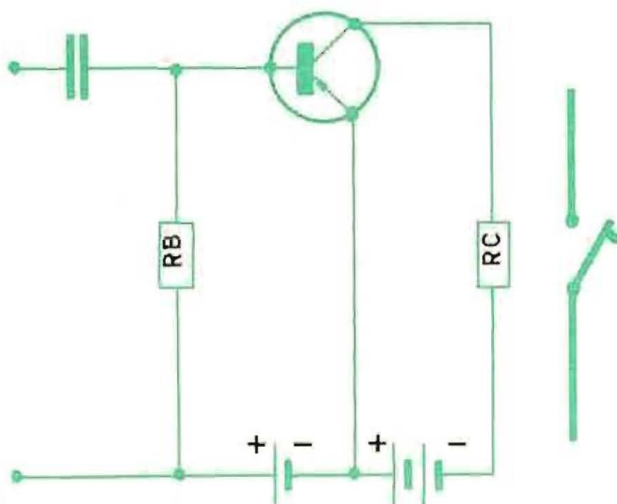
La apertura y cierre súbitos de cualquier interruptor suficientemente rápido produce un impulso de tensión y de corriente. Los interruptores de tipo mecánico son poco adecuados para ello, ya que, como podemos comprender, son demasiado lentos por la inercia y roce de sus piezas. Como ejemplo de interruptores mecánicos que trabajan por impulsos podemos citar los zumbadores o timbres de llamada. No obstante, antes de la aparición de los transistores se utilizaron vibradores mecánicos que producían una serie de impulsos, la tensión de los cuales, a semejanza de una corriente alterna, puede elevarse por medio de un transformador y luego rectificarse para obtener c.c. de tensión elevada. Por medio de estos vibradores se podía elevar la tensión de la batería de los automóviles (6 ó 12 V) para alimentar en c.c. a 100 V, por ejemplo, los receptores con válvulas para automóviles.

Hoy en día los interruptores para producir impulsos de tensión y de corriente son casi siempre electrónicos, ya que el circuito ha de abrirse y cerrarse en un tiempo muy corto.

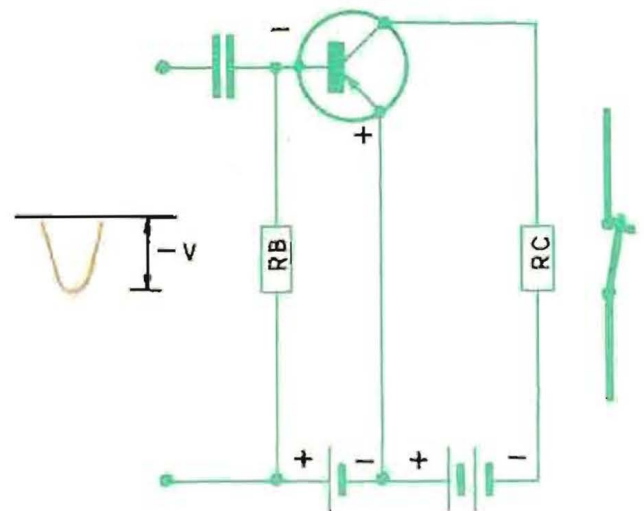
El transistor es muy adecuado, igual que la válvula, para funcionar como interruptor electrónico, aunque el primero tiene la ventaja que representa todo circuito transistorizado (poco consumo, tensiones de servicio relativamente bajas, etcétera).

La figura siguiente muestra el circuito de un transistor conectado de forma que el colector tiene potencial negativo con respecto al emisor. En el circuito de base del transistor, conectado en emisor común, la base está ligeramente polarizada con signo positivo con respecto al emisor, por lo que no circula corriente por el diodo emisor-base ni, por tanto, tampoco por el circuito del colector.

Con esta disposición, pues, el transistor no conduce y puede compararse a un interruptor en posición de abierto. Ahora bien, si de pronto se aplica un impulso de tensión en el circuito de base en forma tal que ésta quede polarizada con signo negativo respecto al emisor, empieza a circular corriente por el diodo emisor-base, dando lugar a su vez a la circulación de corriente por



Transistor en estado de no conducción. (Interruptor abierto.)



Transistor en estado de conducción por aplicación de un impulso de tensión. (Interruptor cerrado.)

el circuito de colector. Siguiendo la anterior analogía, el transistor se comporta como un interruptor en la posición de cerrado.

Un interruptor mecánico necesita un gesto que

MULTIVIBRADORES

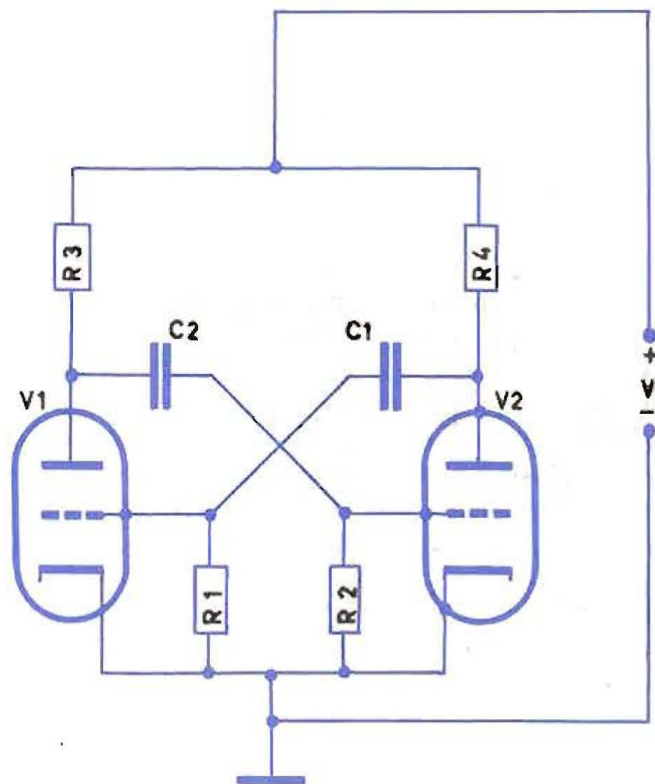
El multivibrador puede ser comparado básicamente a un oscilador de dos etapas amplificadoras acopladas por resistencia-capacidad, en el que la salida de la segunda etapa se realimenta a la entrada de la primera etapa a través de un condensador de acoplamiento. Hemos dicho que básicamente se trata de un oscilador porque en este montaje cada válvula (o transistor) invierte la fase de la tensión aplicada a su rejilla (o a la base del transistor), de modo que dos de estas inversiones producen una señal de placa de la segunda válvula (o en el colector del segundo transistor) que está en fase con la tensión presente en la entrada de la primera válvula (o primer transistor.)

En un multivibrador, pasado el período inicial de puesta en servicio, una de las válvulas (o uno de los transistores) conduce mientras la otra está bloqueada; el tiempo durante el cual se mantiene esta condición depende de los valores del circuito (R_1 - C_1 y R_2 - C_2 en la figura).

En el instante en que se conecta la tensión de alimentación V , una de las dos válvulas conduce más que la otra (ya que ni las dos válvulas ni las resistencias tendrán exactamente las mismas características). Supongamos que la que conduce más es la válvula V_1 ; la corriente de placa circula a través de la resistencia R_3 y produce una caída de tensión en sus bornes, con lo que el lado de placa de esta resistencia es menos positivo que el lado del positivo de la fuente de alimentación. Es decir, el lado de placa haciéndose más negativo a medida que la emisión termoiónica (conducción) aumenta con la temperatura del filamento, o sea del cátodo, ya que a mayor corriente de placa se produce mayor caída de tensión en la resistencia.

Como el condensador C_2 está conectado al lado cada vez más negativo (cada vez menos positivo) de la resistencia R_3 , comparativamente, la rejilla de la válvula V_2 se hace cada vez más negativa, con lo que disminuye la conducción de esta segunda válvula. Como la corriente de placa de V_2 disminuye, también disminuye la caída de tensión en bornes de R_4 , con lo que el lado de placa de esta resistencia se hace cada vez más positivo con respecto a su potencial inicial. Como

lo cierre; en forma parecida, el transistor necesita un impulso de tensión para que pueda quedar en estado de conducción. El dispositivo que procura este impulso es el MULTIVIBRADOR.



Esquema de principio de un oscilador multivibrador con válvulas.

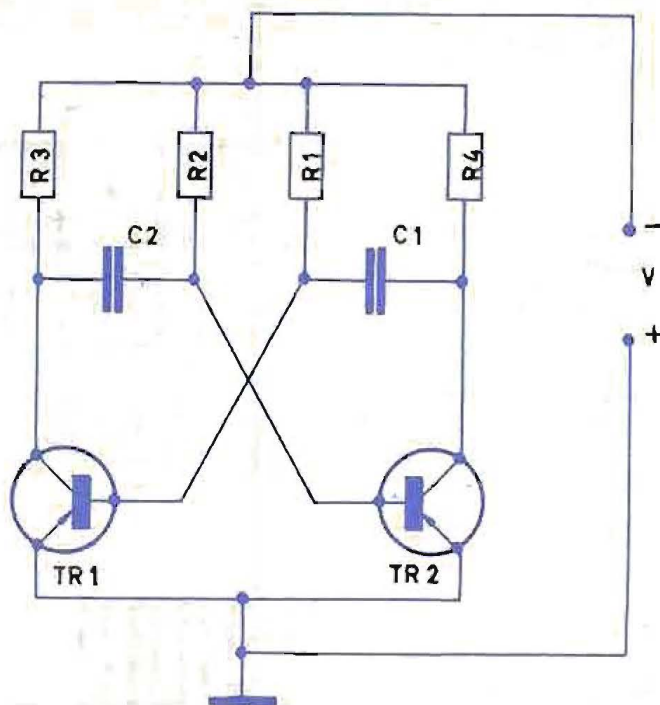
en este punto está conectado el condensador C_1 , éste transmite dicho aumento de potencial positivo a la rejilla de la primera válvula V_1 , provocando que ésta conduzca cada vez más y que la caída de tensión en bornes de R_3 sea cada vez más elevada. El proceso continúa de esta forma, disminuyendo cada vez más la conducción de la válvula V_2 hasta que llega a anularse. Téngase en cuenta que este fenómeno ha sido un poco largo de explicar, pero en la realidad se produce con suma rapidez.

La válvula V_2 permanece bloqueada mientras el condensador C_2 va cargándose y mantiene el elevado potencial negativo aplicado a la rejilla V_2 . En el momento en que el condensador C_2 se descarga a través de la resistencia R_2 , la válvula V_2 empieza a conducir y circula corriente a través de R_4 , haciendo cada vez más negativo el extremo de placa de esta resistencia. Al hacerse este punto crecientemente negativo (menos positivo), la carga de la rejilla de V_1 se hace más negativa

a través del condensador C_1 , con lo que disminuye la conducción de la primera válvula y disminuye también la caída de tensión en bornes de R_3 . Esta reducción de la caída de tensión a través de R_3 representa que el extremo de placa de esta resistencia se vuelve más positivo con relación al potencial anterior, con lo que, a través del condensador C_2 , la rejilla V_2 se hace más positiva y aumenta la conducción de V_1 . Entonces, la caída de tensión de R_1 también aumenta y la rejilla de V_1 se hace cada vez más negativa a través de C_1 , con lo que esta válvula llega al estado de no conducción o bloqueo. Llega el momento en que C_1 se descarga y el proceso continúa de nuevo.

Resumiendo, el funcionamiento del multivibrador es el siguiente: Primero una válvula conduce más que la otra; esta válvula aumenta su conducción mientras disminuye la de aquella, y llega un momento en que la segunda se bloquea. Esta condición se mantiene hasta que se descarga el condensador de acoplamiento o realimentación; y entonces la segunda válvula empieza a conducir hasta llegar al momento en que la primera cesa de hacerlo y se bloquea. Cuando se descarga el respectivo condensador de acoplamiento empieza de nuevo a conducir hasta que la segunda válvula vuelve a bloquearse, y así sucesivamente. La rapidez con que se realizan dichas conmutaciones determina la frecuencia del oscilador; depende de los valores de los condensadores y resistencias de los circuitos de rejilla.

La figura siguiente muestra un multivibrador análogo basado en el empleo de transistores. Cada transistor debe conectarse como amplificador de emisor común para obtener la necesaria inversión de fase en cada etapa. Como en la actualidad el precio de los transistores es bastante reducido, es mucho más adecuado el montaje de multivibradores con transistores en lugar de válvulas; y además la unidad resulta mucho más sencilla y sus dimensiones son más reducidas. Lo mismo que en el circuito con válvulas, en el momento de aplicar la tensión de alimentación uno de los transistores conduce un poco más que el otro, por ejemplo TR_1 más que TR_2 . Ello crea una caída de tensión en R_3 y la consiguiente disminución de la tensión aplicada a la base del transistor TR_2 a través de C_2 , haciendo que la corriente del colector de este transistor disminuya y, al circular por R_1 , reduzca la caída de tensión en sus bornes e incremente la tensión aplicada a base de TR_1 a través de C_1 , que a su vez es la causa de que la corriente de colector de este transistor aumente todavía más. El proceso continúa has-



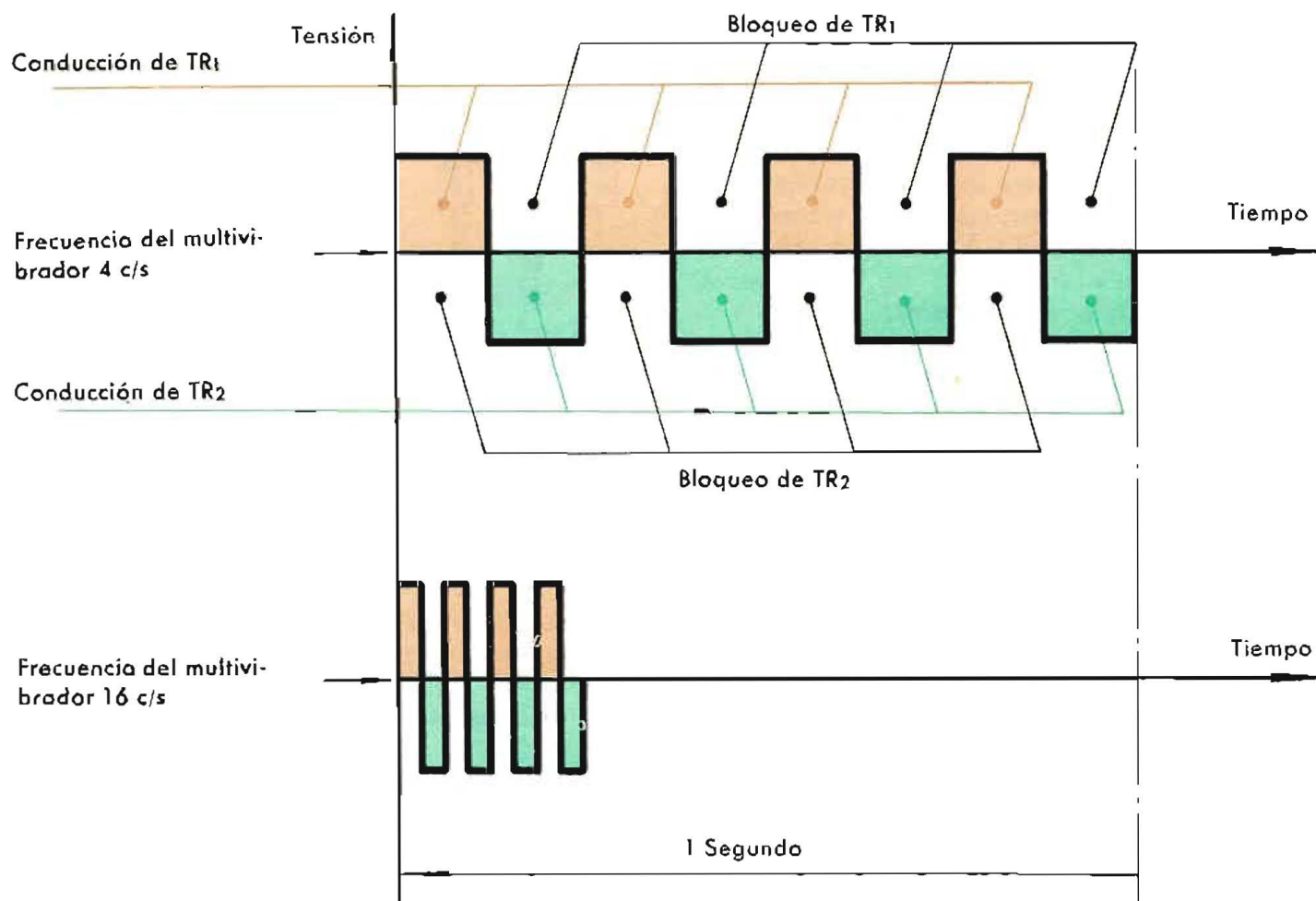
Multivibrador con transistores.

ta que la caída de tensión en R_3 es lo suficientemente elevada como para que TR_2 deje de conducir. El proceso se invierte, y TR_2 empieza a conducir en forma estable hasta que TR_1 se bloquea, y así sucesivamente.

En el momento en que un transistor no conduce (está bloqueado) se dice que está desconectado. En estos momentos la conducción del otro transistor es estable (sin variaciones); y se dice que está conectado.

El tiempo que tarda un transistor en desconectarse y el otro en conectarse es extremadamente corto; al contrario, el tiempo en que permanece uno conduciendo normalmente al máximo (conectado) y el otro en estado de bloqueo (desconectado) depende de los valores de R_1C_1 y R_2C_2 . Como consecuencia, para un mismo período de tiempo (un segundo, por ejemplo), según sean los tiempos de conducción estable o bloqueo la conmutación se efectúa más o menos veces; es decir, la frecuencia es más o menos elevada.

Anteriormente habíamos indicado que los multivibradores están basados en la técnica de los impulsos. Ello es cierto porque los períodos de conducción y bloqueo no se alcanzan de una forma paulatina o senoidal sino que se producen bruscamente, lo que da lugar a una onda con semiperíodos de tipo cuadrado si su frecuencia es baja (períodos largos de conducción y bloqueo estable) o de tipo de punta cuando la frecuencia es muy elevada (períodos cortos de conducción y bloqueo).



Series de impulsos producidos por un multivibrador.

Las aplicaciones del multivibrador son muy variadas y cada día hallan nuevos usos. Así, adoptando valores adecuados puede utilizarse como oscilador de baja frecuencia para la comprobación de amplificadores, altavoces, etc.; generador de onda cuadrada y de diente de sierra para osciloscopios y televisores; generador de ruido para localización de averías; órgano electrónico; convertidor de corriente continua, etc.

Órgano electrónico transistorizado

Si se dispone de un piano de juguete, puede modificarse para realizar un órgano electrónico de gran sencillez. Para ello basta con modificar las teclas del piano, reemplazando los martillitos de que seguramente está dotado por tiras de latón, por ejemplo, que hagan contacto sobre una varilla de cobre común.

El dispositivo electrónico consta de un multivibrador en el que se modifica una de las resistencias de polarización de base. La señal de baja

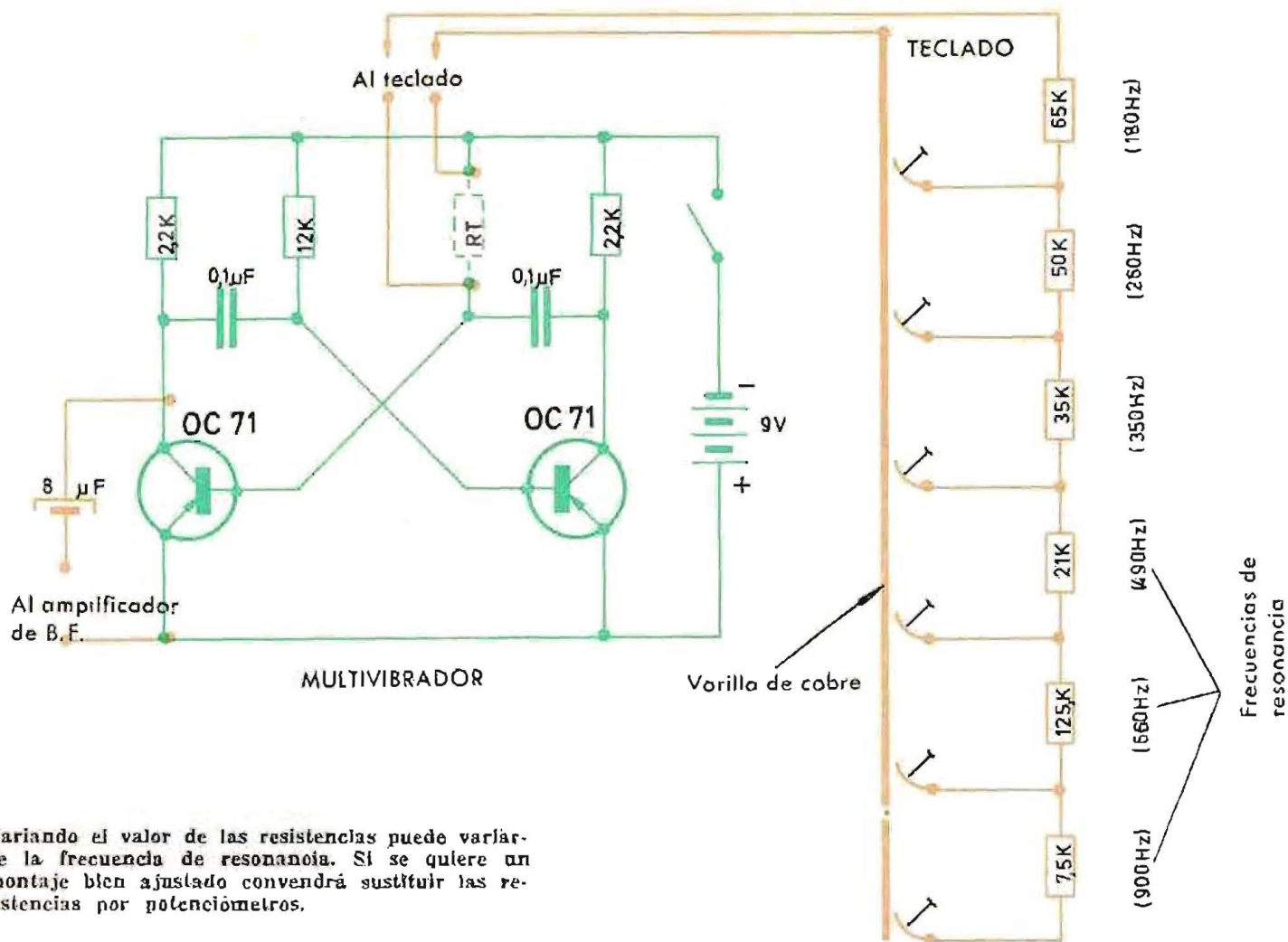
frecuencia se toma de uno de los colectores y se amplifica por cualquier amplificador con transistores de que se disponga.

El multivibrador y dos pilas de 4'5 V de alimentación seguramente podrán disponerse dentro del piano. El amplificador y altavoz también pueden colocarse en su interior si así se desea.

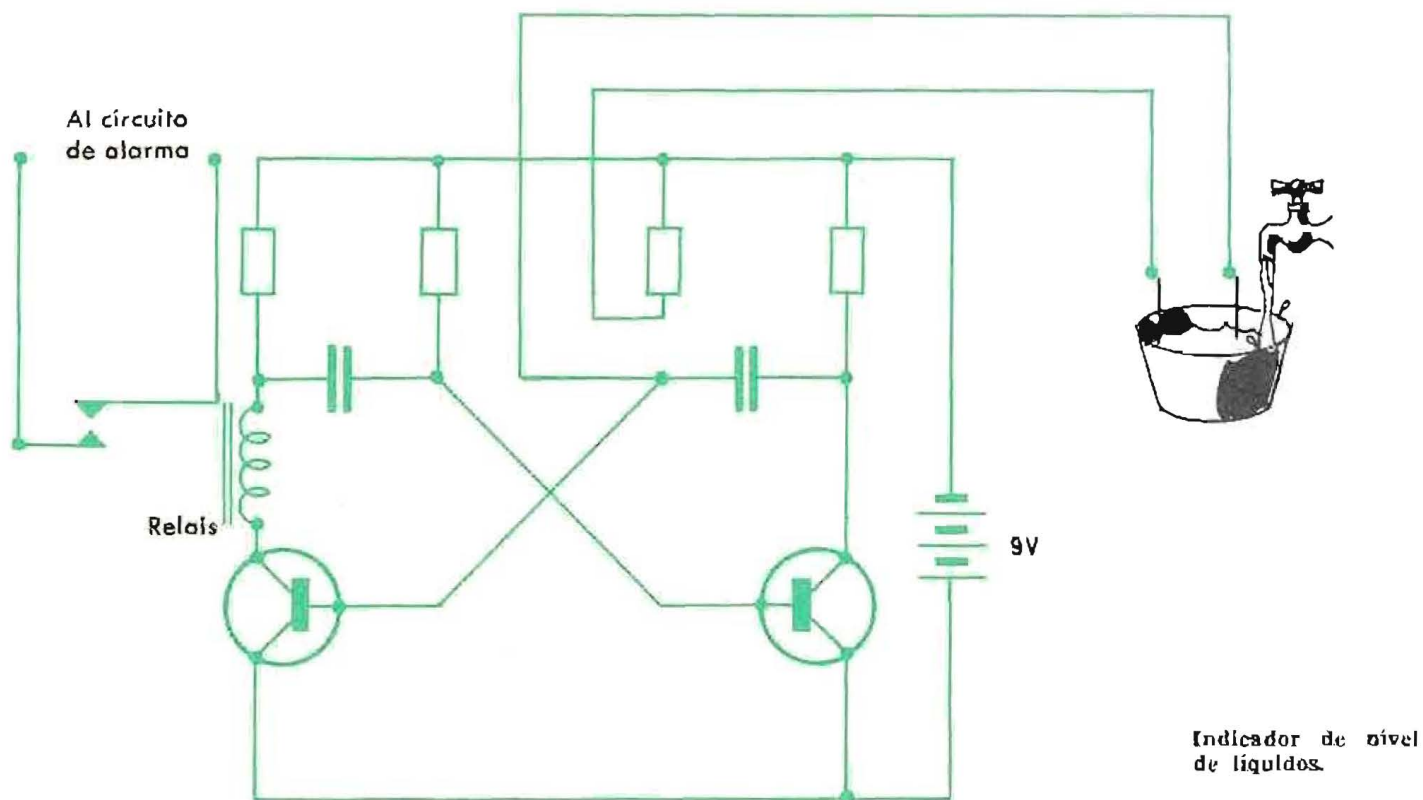
Variando el valor de las resistencias puede variarse la frecuencia de resonancia. Si se desea un montaje bien ajustado conviene sustituir las resistencias por potenciómetros.

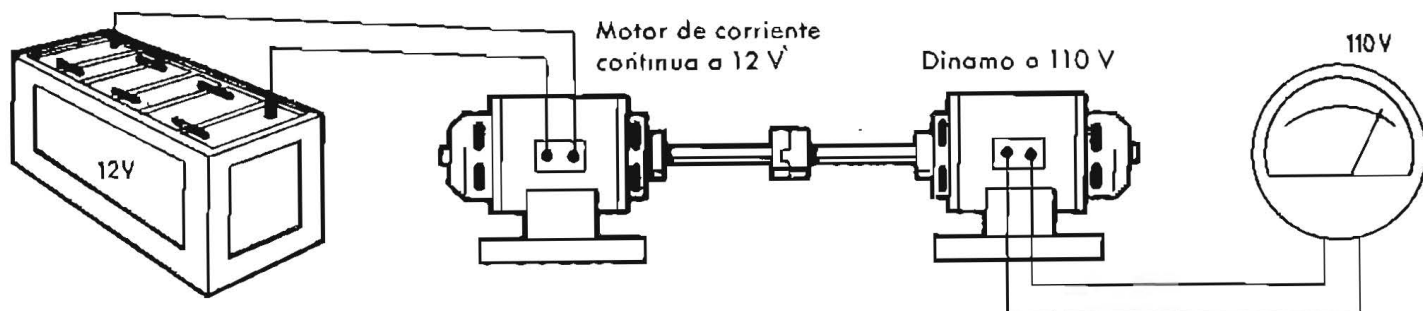
Indicador de nivel de líquidos

El mismo principio anterior puede utilizarse para un detector de humedad o para indicar el nivel de líquidos conductores. En efecto, si la humedad o cualquier otro líquido cortocircuita las dos puntas sensibles, el multivibrador funciona y activa un relé que cierra sus contactos, con lo que acciona un avisador u otro aparato de alarma.

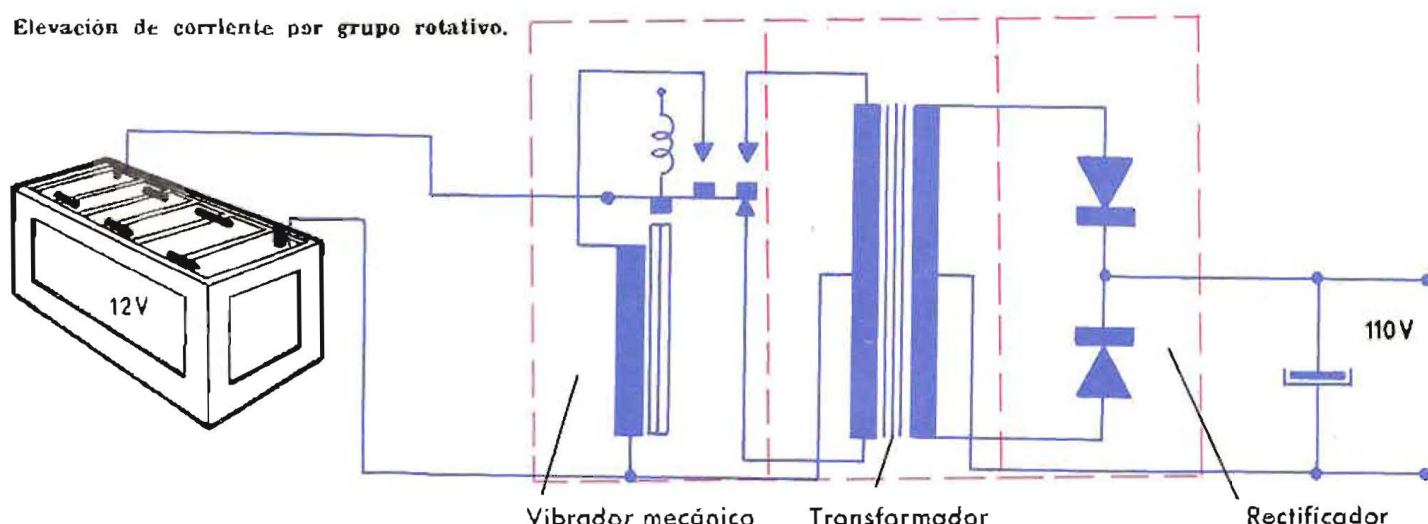


Variando el valor de las resistencias puede variarse la frecuencia de resonancia. Si se quiere un montaje bien ajustado convendrá sustituir las resistencias por potenciómetros.





Elevación de corriente por grupo rotativo.



Convertidor de corriente continua con vibrador mecánico.

Transformadores o convertidores de corriente continua por medio de osciladores y multivibradores transistorizados

Como sabemos, cualquier tensión alterna puede elevarse hasta el valor deseado por medio de un transformador. También sabemos que tal cosa es difícil de solucionar con sencillez cuando se trata de una tensión continua.

Antes del advenimiento y de la utilización comercial de los semiconductores, los dos métodos que se utilizaban para elevar una tensión continua eran: generatriz de corriente continua arrastrada por un motor de corriente continua; y vibrador mecánico, muy utilizado para la alimentación de receptores para automóviles.

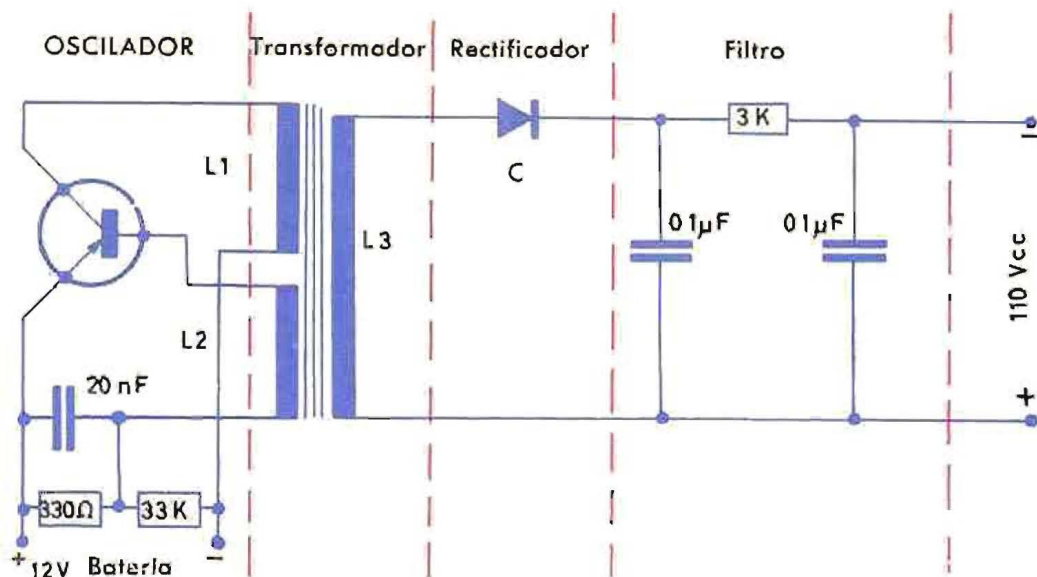
Actualmente, para convertir una tensión continua en un valor diferente, se puede utilizar un montaje oscilador con transistor seguido de un transformador y de un rectificador con su circuito de filtro. A este dispositivo, que trabaja según la técnica de los impulsos y convierte o transforma

una tensión de corriente continua de valor más elevado, se le denomina *convertidor* o también *transformador de corriente continua*.

Las ventajas de estos transformadores se deben a que no contienen piezas móviles como los vibradores mecánicos y las máquinas rotativas; por ello son silenciosos, no se desgastan y su rendimiento, que es excelente, llega al 80 % en total, es decir comprendiendo las pérdidas debidas al transformador y al rectificador.

Estos transformadores de c.c. o convertidores son muy adecuados para potencias comprendidas entre algunos milivatios y varios centenares de vatios, para alimentación —por ejemplo, en zonas rurales, donde no exista red de distribución— del receptor de televisión o para el alumbrado con tubos fluorescentes por medio de baterías.

Estos convertidores pueden llevar oscilador de un transistor, o de dos en montaje simétrico. El montaje asimétrico con un transistor sólo tiene interés para potencias hasta 2 W; para potencias superiores es más económico el montaje simétrico, que además tiene mejor rendimiento y estabilidad de servicio.

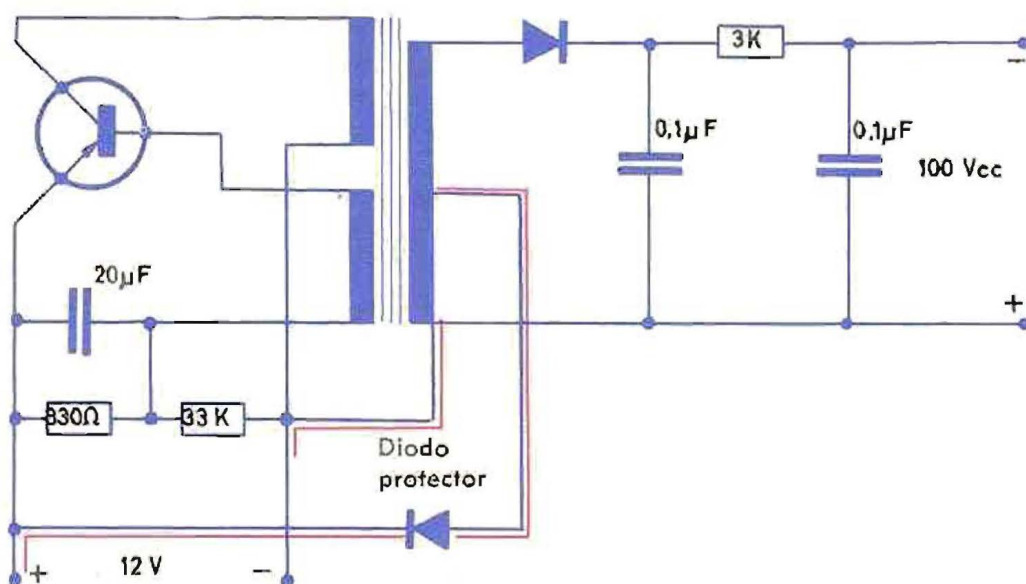


Convertidor o transformador de corriente continua para alimentar con una batería de automóvil un aparato a 110 V en corriente continua.

La anterior figura da el esquema de principio de estos dispositivos, que como podemos observar constan de un montaje oscilador con realimentación entre los devanados L_1 y L_2 fuertemente acoplados. Las oscilaciones producidas dan lugar a una serie de impulsos, cuya tensión es elevada en el devanado L_3 del transformador, después del cual el diodo C rectifica la corriente alterna de tensión más elevada y el filtro aplana la corriente

pulsatoria obtenida en el sistema rectificador.

Cuando la carga, conectada en los bornes de tensión continua más elevada, se desconecta en funcionamiento, el transistor puede sobrecargarse con peligro de que se inutilice. En estos casos es necesario montar un diodo de protección que recupere la potencia sobrante en el circuito de alimentación, tal como se indica en el montaje de la figura siguiente.

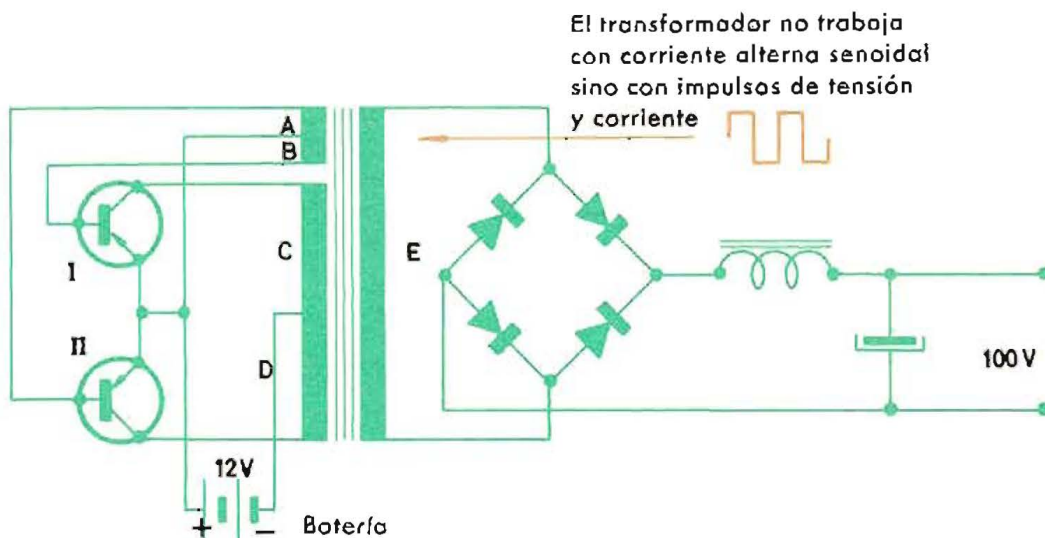


Convertidor o transformador de c.c. protegido contra las sobrecargas de desconexión o en vacío.

En el montaje simétrico con dos transistores, el oscilador de onda cuadrada (impulsos) es del tipo multivibrador. Como el acoplamiento y la realimentación se efectúan por los mismos devanados del transformador elevador, se le puede denominar *multivibrador inductivo*.

En este caso los transistores no tienen que soportar tensiones de cresta iguales al doble de la tensión de alimentación.

En el instante de conectar la batería (o de cerrar el interruptor de que esté dotada dicha conexión), uno de los transistores conduce una



Círculo básico de multivibrador inductivo (convertidor-transformador de corriente continua).

corriente de colector I_{co} mayor que la del otro, debido a la pequeña diferencia en las características de transistores de un mismo tipo. Empieza, pues, a circular corriente, del positivo de la batería a través del transistor, desde el emisor al colector (transistor I, por ejemplo), y por el arrollamiento C vuelve al negativo de la batería. El paso de corriente por dicho arrollamiento C genera una fuerza contraelectromotriz que se opone a la tensión aplicada, y a través del núcleo magnético común se desarrolla una fuerza electromotriz en los devanados A y B de tal polaridad, que mantiene abierto el transistor I y bloquea el II. La corriente continúa en aumento por el arrollamiento C y, por consiguiente, la f.c.e.m. generada, por lo que el transistor I es aún más conductor y el II se bloquea aún más.

Llega un momento —es cuestión de un tiempo cortísimo, inferior a un segundo (pueden ser millonésimas, milésimas o décimas de segundo, según sea el valor de la inductancia y resistencia de los devanados)— en que la corriente ya no aumenta porque el núcleo magnético se ha saturado. Al no haber variación de corriente (ésta es constante) no se genera ninguna fuerza electromotriz en el devanado C ni f.e.m. en los devanados A y B. Es decir, no hay tensión y el transistor I se cierra rápidamente. Al estar en posición de desconectado —es decir, no conduce y no pasa corriente— el núcleo se desmagnetiza, lo que da lugar a una variación de flujo magnético (variación constante) no se genera fuerza contraelectromotriz de sentido contrario a la anterior, con lo cual el transistor II se abre con rapidez. A partir de este momento empieza a circular corriente por el arrollamiento D, magnetizando el núcleo en sentido contrario y dando lugar a una f.c.e.m. en dicho

arrollamiento, junto con las correspondientes f.e.m. en los devanados A y B, que mantienen estables (realimentan) los dos transistores en la nueva situación. Es decir, el transistor I queda bloqueado y el II en estado de conducción hasta que de nuevo se alcance la saturación del núcleo magnético.

Este proceso es ininterrumpido. La frecuencia de conmutación de la conducción y bloqueo de uno y otro transistor depende del valor de saturación del núcleo magnético, del número de espiras del arrollamiento y, en general, de los valores y características de los diferentes elementos.

Los devanados A y B conectados a las bases de los transistores se denominan devanados de realimentación, porque en ellos debe inducirse, por parte de los devanados de colector C y D, una tensión capaz de excitar al transistor correspondiente a la intensidad máxima de colector I_c durante la conducción (teniendo en cuenta, no obstante, cierto margen de seguridad con relación a la I_{cmax} dada por las hojas de características del fabricante). Es decir, dichos devanados deben proporcionar una tensión capaz de mantener una corriente de base y, por tanto, una tensión entre base y emisor que corresponda con la intensidad de colector que se quiera establecer.

Fijémonos que el fenómeno no varía de forma continua, sino que el cambio de situación es brusco; al cortarse y originarse de una forma muy rápida, la corriente da origen al tren de impulsos característico de todo multivibrador.

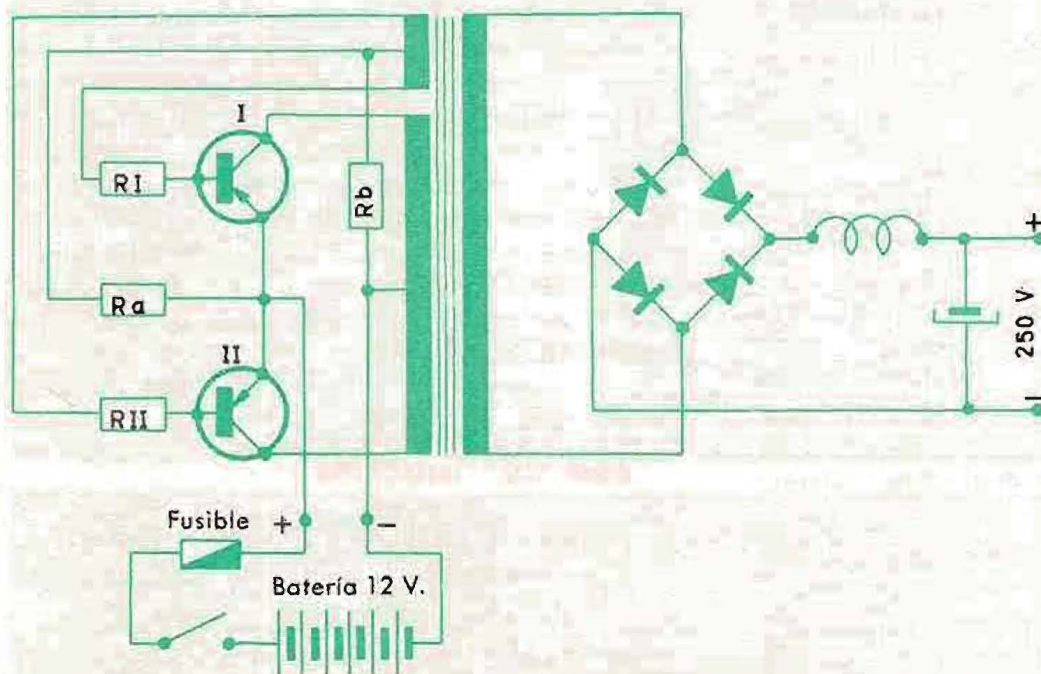
El devanado E del transformador eleva la tensión de los impulsos hasta un valor tal que, después de rectificadas y filtradas por una unidad de rectificación y filtración, se obtenga la tensión requerida por el uso que establezcamos.

Téngase en cuenta que el multivibrador inductivo sólo es utilizable, en la mayoría de los casos, como transformador elevador de tensión de corriente continua, ya que la serie de impulsos producida no corresponde a una corriente alterna de variación senoidal. Pero una vez rectificadas y filtradas sí que puede utilizarse para alimentar de corriente continua un aparato. Con ello queremos recordar que con este dispositivo puede transformarse una tensión continua en otra tensión también continua, mediante la conversión de la primera en una serie de impulsos cuya tensión puede elevarse con un transformador y los cuales a continuación se rectifican y aplanan para obtener de nuevo corriente continua.

En un circuito práctico de multivibrador inductivo se incluyen las resistencias R_a y R_b para dar a las bases de los transistores una polarización inicial para que el multivibrador pueda en-

trar en oscilación al ser puesto en funcionamiento. También se incluyen las resistencias R_1 y R_2 para igualar los consumos de los dos transistores, que aunque sean del mismo tipo pueden tener diferente ganancia de corriente.

Una de las aplicaciones más interesantes del multivibrador inductivo es la alimentación de tubos fluorescentes en vehículos y en zonas rurales, partiendo de una batería. En este caso no se precisa ningún rectificador del tren de impulsos, sino que el tubo se alimenta directamente con tal corriente, aunque el circuito se proyecta para la frecuencia más elevada posible (10 kHz), ya que cuanto mayor sea ésta mejor rendimiento tienen los tubos. En estos casos el mismo transformador lleva, los devanados para alimentación del tubo, ignición de la descarga y precalentamiento de los electrodos y la autoinducción o reactancia, como se la denomina corrientemente.



Circuito práctico de multivibrador Inductivo $R_1 = R_2$ = Resistencias para igualar el consumo de los transistores = 5 a 10 Ω . R_a y R_b = Resistencias para polarización emisora-base. $R_a = 10$ a 30 Ω $R_b = 150$ a 500 Ω .

DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES PARA APLICACIONES ESPECIALES

En los últimos años las investigaciones sobre el comportamiento de los materiales llamados semiconductores ante el paso de la corriente eléctrica ha dado por resultado una serie de descubrimientos y adelantos que han hecho posible el desarrollo de gran número de nuevos dispositivos que han encontrado aplicaciones específicas hasta ahora inimaginables.

Así, se emplean mezclas de óxidos metálicos de cobre, uranio, manganeso, níquel, cobalto, hierro, etc., que además del selenio, silicio y germanio, que ya nos son familiares, se utilizan en com-

binaciones como las de antimonio-indio, selenio-plomo, sulfuro de plomo y las oxigenadas de titanio, magnesio, cromo, circonio, etc.

Cada uno de los diferentes materiales ha sido desarrollado según el fenómeno observado y la aplicación que se le podía dar, pues en unos dispositivos la resistencia eléctrica varía con el calor, en otros con el potencial eléctrico, con la luz o con la cantidad de flujo magnético a que están sometidos, etc.

Los diferentes dispositivos semiconductores pueden clasificarse en tres grandes grupos según

las zonas de bloqueo o uniones PN que posean.

Las propiedades y aplicaciones de cada uno de los grupos de semiconductores se resumen a continuación:

a) Semiconductores sin ninguna unión

- *Semiconductores cuya resistividad disminuye cuando la temperatura aumenta*

Estos elementos se denominan termistancias o resistencias NTC (NTC = *negative temperature coefficient*; CNT = coeficiente negativo de temperatura); su resistencia disminuye rápidamente cuando la temperatura aumenta.

Se utilizan para la medida y regulación de temperaturas en hornos y calderas, para la compensación de los errores por variación de temperatura en aparatos de medida y temporizadores, etc.

- *Semiconductores cuya resistencia disminuye cuando aumenta la tensión aplicada*

Son las resistencias VDR (VDR = *voltage dependent resistor*), que se utilizan para regulación de tensión, protección de aparatos y circuitos contra sobretensiones, etc.

- *Semiconductores cuya resistividad disminuye cuando aumenta la luz a que están sometidos*

La resistividad de un semiconductor disminuye cuando aumenta el flujo luminoso que incide en él. A este fenómeno se le denomina *fotoconducción*. Estos dispositivos se utilizan para medidas y controles industriales y se denominan resistencias LDR (LDR = *light dependent resistor*).

b) Semiconductores con una unión

- *Diodos detectores y rectificadores*
- *Diodos Zener*

Conocemos estos dispositivos por el estudio de lecciones anteriores.

- *Semiconductores en los que la capacidad de la barrera o unión PN varía en función de la tensión aplicada*

Se denominan «varicap» y sus aplicaciones específicas son circuitos de sintonía y conmutación.

- *Fotodiodos*

Utilizan la propiedad de que la resistencia inversa de una unión PN disminuye bajo la acción de la luz. Sustituyen a las válvulas fotoeléctricas en las medidas y control industriales, pues son más sensibles, menos frágiles y de tamaño más reducido. Se aplican en relés fotoeléctricos, con-

tadores, medidores de nivel, de velocidad, detección de humos, etc.

- *Células fotovoltaicas*

Se basan en el efecto fotovoltaico, que consiste en la producción de una fuerza electromotriz por la acción de la luz en una unión PN o en el contacto de un semiconductor con un metal. La aplicación más sobresaliente de este efecto son las llamadas baterías solares. Se utilizan en luxómetros y en la producción directa de la energía eléctrica a partir de la energía luminosa (receptores portátiles con baterías solares).

- *Tecnetrón*

Son dispositivos semiconductores cuya resistencia varía bajo la acción de un campo eléctrico normal a su superficie. Se utilizan en amplificación y en osciladores de radiofrecuencia.

- *Diodos túnel*

Se basan en el efecto del mismo nombre, que consiste en que los electrones de un semiconductor N pueden atravesar una barrera de potencial lo bastante estrecha a pesar de que no tienen la energía teóricamente necesaria. Estos diodos gozan de dos características que faltan en los ordinarios: tienen resistencia negativa en la región de la característica directa y pueden trabajar en frecuencias muy elevadas. Por ello se utilizan como resistencias negativas. También tienen aplicación en amplificación, oscilación y conmutación en frecuencias muy elevadas, incluso superiores a 5000 MHz.

c) Semiconductores con dos uniones

- Transistores, en sus diferentes tipos, que ya conocemos por las lecciones de este Curso.
- *Fototransistores*

La luz, al incidir en la unión del colector, produce una corriente fotoeléctrica que se amplifica al atravesar la unión del emisor.

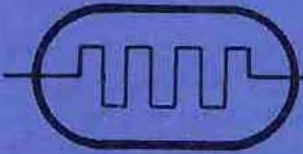
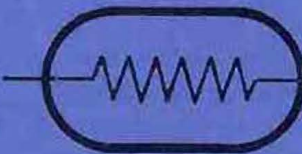



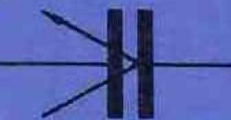


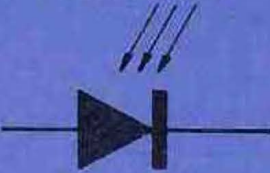
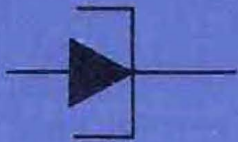


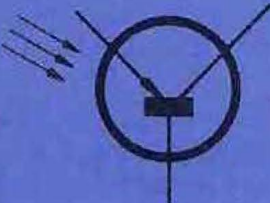
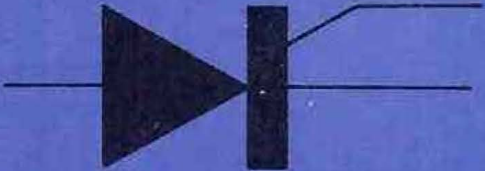
Sus aplicaciones son las mismas de los fotodiodos, pero con la ventaja de que en los transistores se obtiene una amplificación de la señal.

- *Dispositivos por efecto Seebeck*

Se basan en la producción de una fuerza electromotriz debida a la diferencia de temperatura entre dos uniones de metal o de semiconductor y metal.

Encuentran aplicación en pares termoelectrícos, medida de temperaturas, detección de energía infrarroja, conversión directa de la energía calorífica en energía eléctrica por medio de las llamadas pilas termoelectrícas, etc.

PRINCIPALES DISPOSITIVOS ELECTRONICOS SEMICONDUCTORES

NINGUNA UNION	<div>RESISTENCIAS NTC</div>  <div>RESISTENCIAS LDR</div>  <div>RESISTENCIAS VDR</div> 
UNA UNION	<div>DIODOS DETECTORES</div>  <div>DIODOS RECTIFICADORES</div>  <div>"VARICAP"</div>  <div>CELULAS FOTOVOLTAICAS</div>  <div>DIODOS "ZENER"</div>  <div>FOTODIODOS</div>  <div>DIODOS "TUNEL"</div> 
DOS UNIONES	<div>TRANSISTORES PNP</div>  <div>TRANSISTORES NPN</div>  <div>FOTOTRANSISTORES</div> 
MAS DE DOS UNIONES	 <div>TIRATRON SOLIDO (RECTIFICADOR CONTROLADO)</div>

— Dispositivos por efecto Peltier

Se basan en que el paso de una corriente a través de dos uniones de metal o de metal y semiconductor desprende o absorbe calor (calienta o enfría), según sea la polaridad de la fuente de alimentación, cuando se conecta a zonas P o N de las uniones.

Sus aplicaciones son la producción del frío en pequeños refrigeradores domésticos, de laboratorio o de dispositivos electrónicos (refrigeración de células fotomultiplicadoras, por ejemplo). Como aplicación curiosa cabe citar la del biberón de viaje: mientras no debe utilizarse se conecta con cierta polaridad a la batería del automóvil y la leche se mantiene fría para evitar su alteración, y en el momento en que debe utilizarse se cambia

la posición de la clavija, de forma que la polaridad sea inversa a la anterior, y la leche se calienta hasta la temperatura deseada.

d) Semiconductores con más de dos uniones

— Transistores pentodos

Tienen dos contactos de base, ya sea con dos emisores o con dos colectores.

Su aplicación característica es la de etapas simétricas con un solo transistor.

— Tiratrón sólido

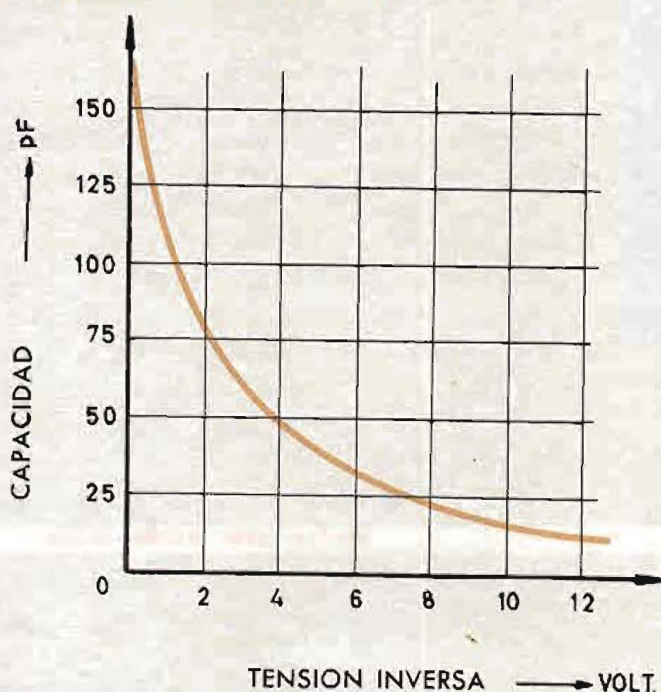
(O rectificador controlado.) Lo conocemos por el estudio que se hizo en anterior lección de este Tratado.

EL "VARICAP"-SEMICONDUCTOR DE CAPACIDAD VARIABLE

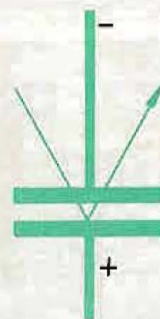
Una propiedad de las uniones semiconductoras PN es que su capacidad varía inversamente con la tensión continua inversa aplicada. Es decir, si se aumenta la tensión inversa aplicada la capacidad interelectrónica de la unión disminuye, e inversamente.

Este efecto ha podido apreciarse tanto en los diodos detectores como en los rectificadores de potencia. No obstante, la escasa resistencia inversa de la unión PN de los diodos de germanio no hacía posible aplicar tensiones suficientemente intensas para conseguir una variación apreciable de la capacidad; pero con la aparición de los diodos de silicio este efecto pudo aprovecharse y se han proyectado los elementos llamados «varicap» (VARIación de CAPacidad), constituidos por un semiconductor con dos terminales del tipo de unión PN por aleación de silicio destinado al empleo como condensador dependiente de la tensión.

En cualquier diodo semiconductor, la unión PN comporta la zona P con abundancia de «portadores» positivos y la zona N con abundancia de portadores negativos. Entre los dos se sitúa la barrera, donde existen pocos portadores móviles, ya que en realidad se han combinado entre ellos o se ha repartido. En el uso normal de tal diodo, al aplicar una diferencia de potencial a la unión, de forma que el polo positivo esté conectado a la zona P y el negativo a la N, los portadores de una y otro tienden a pasar la barrera y crean la corriente electrónica a través de la unión. La inversión de polaridad del potencial aplicado hace reaparecer la barrera y *aisla* cada una de las dos zonas.

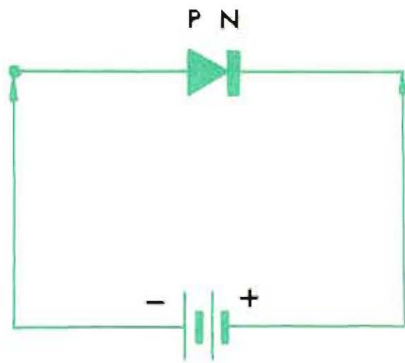


La capacidad del «varicap» varía en razón inversa de la tensión inversa de polarización.



Símbolo de un semiconductor de capacidad variable («varicap»).

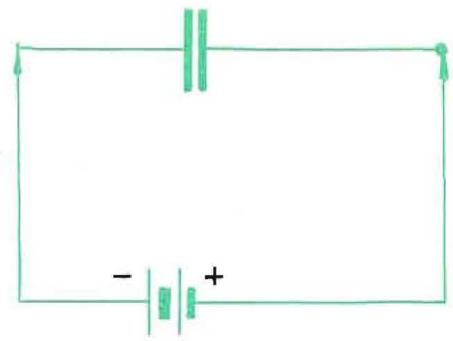
Semiconductor polarizado
en el sentido de la no
conducción



Aislador



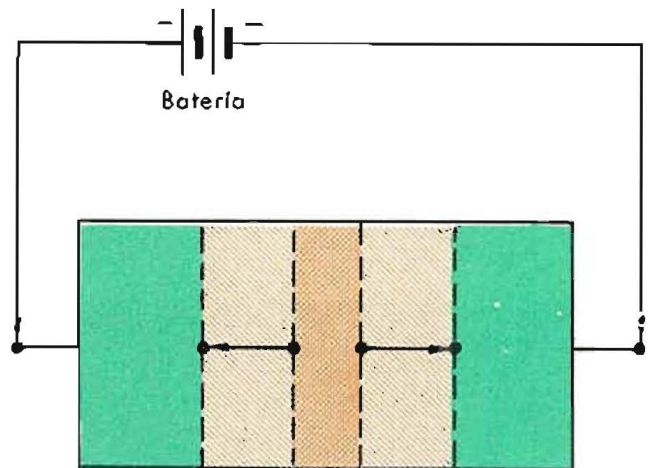
Condensador



En el «varicap» (diodo de capacidad variable) la diferencia de potencial exterior se aplica de tal forma que la unión trabaja en el sentido de bloqueo o de no conducción; es decir, actúa como aislador y los portadores de carga nunca traspasan la barrera (salvo muy pocos, que dan lugar a la característica corriente inversa, que es despreciable en el caso del «varicap»). Considerando al elemento funcionando en esta forma (aislador), podemos considerar la unión como un condensador (el clásico condensador de dos placas). Las zonas P y N representan los dos electrodos o placas, y la unión (barrera) el dieléctrico que los separa. Al aplicar el potencial en la forma indicada (en el sentido de la no conducción) se obliga a que los pocos «portadores móviles» que se encuentren en la zona de unión la abandonen por acción del campo eléctrico resultante. La distancia que recorren estas cargas al abandonar la unión y dirigirse al polo que las atrae, frente al que las repele, es directamente proporcional a la tensión aplicada.

El recorrido de estos portadores de carga que abandonan la barrera representa que incrementa la anchura de ésta, y por ende la distancia del dieléctrico entre las placas del condensador que representa el diodo semiconductor, con lo cual disminuye la capacidad.

Es decir, el diodo semiconductor de silicio «varicap» no se utiliza con fines de detección o de rectificación, sino como condensador variable polarizado dependiente de la tensión. (En algunos catálogos se le denomina «elemento capacitivo», lo cual, desde luego, no aclara nada.)

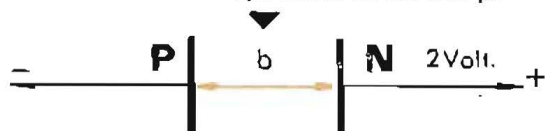


Anchura inicial
de la unión PN

Anchura de la unión PN
después de aplicación
de una tensión de polaridad
inversa a la conducción



Para 1 Volt. la capacidad es de 125 pF

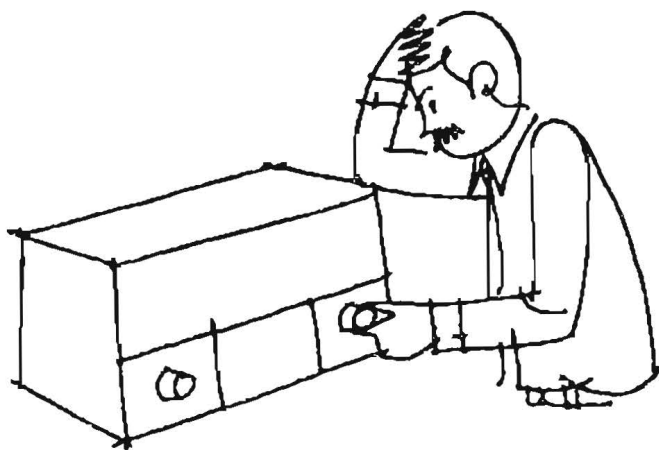


Para 2 Volt. la capacidad es de 75 pF

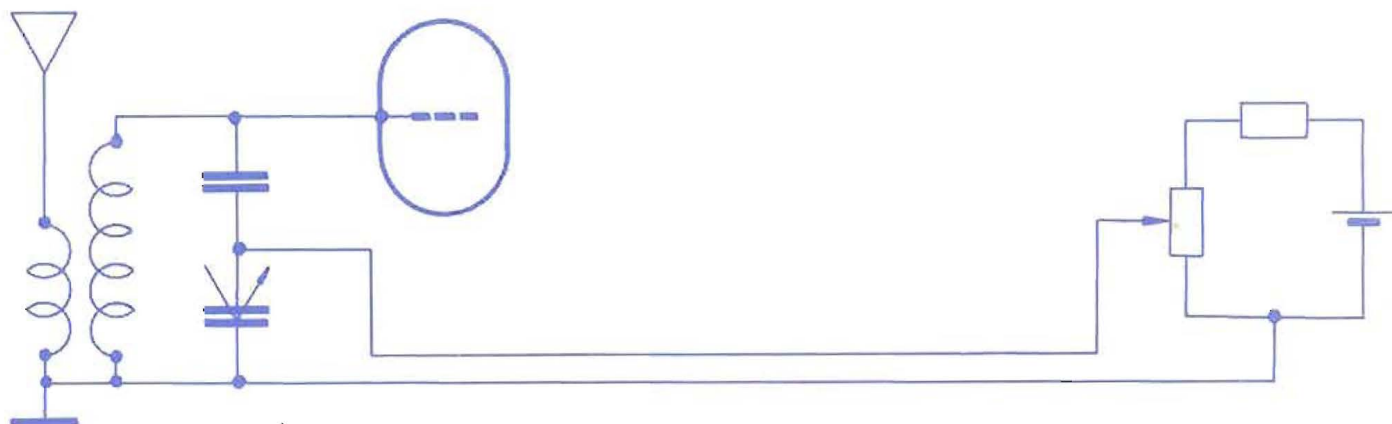
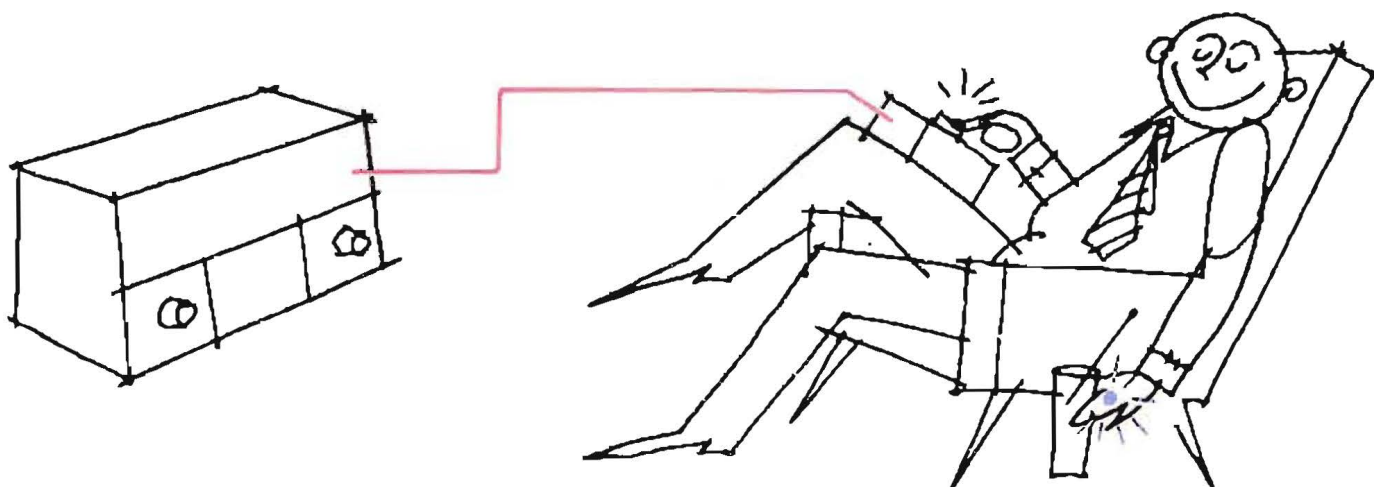


Para 3 Volt. la capacidad es de 25 pF

Si polarizamos inversamente una unión PN, ésta se comporta como un condensador cuya capacidad disminuye a medida que aumentamos la tensión.



Sus aplicaciones prácticas más usuales son las del control automático de frecuencia (cambia la frecuencia de un radioreceptor en función de la tensión de rejilla, dependiente a su vez de la señal de entrada); en modulación de frecuencia, sintonía remota por medio de una tensión continua variable, etc.



LAS TERMISTENCIAS O RESISTENCIAS NTC

Las llamadas termistencias o NTC (*negative temperature coefficient*) son resistencias aglomeradas de material semiconductor muy sensible al calor. Su resistencia varía mucho con la temperatura y esta variación se efectúa en razón inversa; es decir, tiene *coeficiente negativo de temperatura*.

Hacemos hincapié en esta particularidad porque es bien sabido que la resistencia de muchos materiales, entre ellos los metales, aumenta a medida que lo hace la temperatura y según un coe-

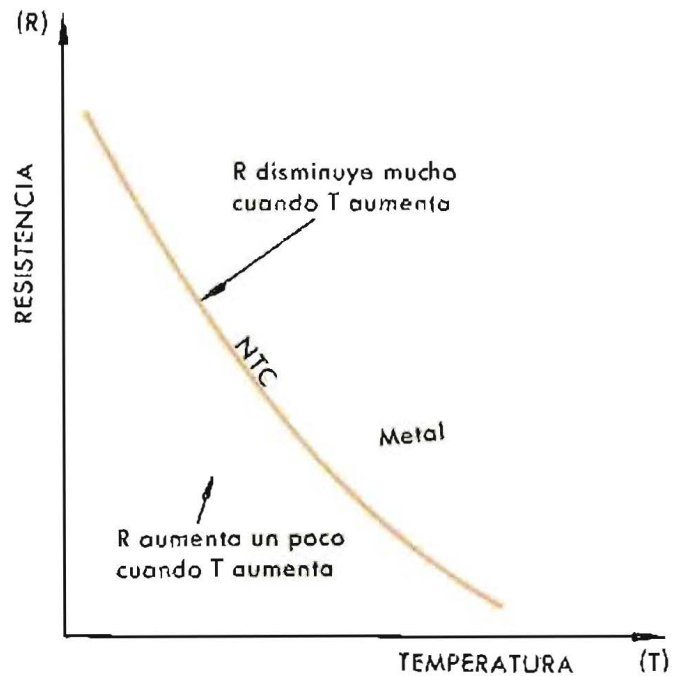
ficiente dado para cada grado centígrado. Ello es normal en la mayor parte de metales y compuestos metálicos; pero en las termistencias el coeficiente de variación de la resistencia en función de la temperatura es unas diez veces superior (el material de que están fabricadas las termistencias es muy sensible a los cambios de temperatura), y además este coeficiente es negativo; es decir, cuando la temperatura aumenta la resistencia disminuye, y viceversa.

Las termistencias se fabrican con titanato de

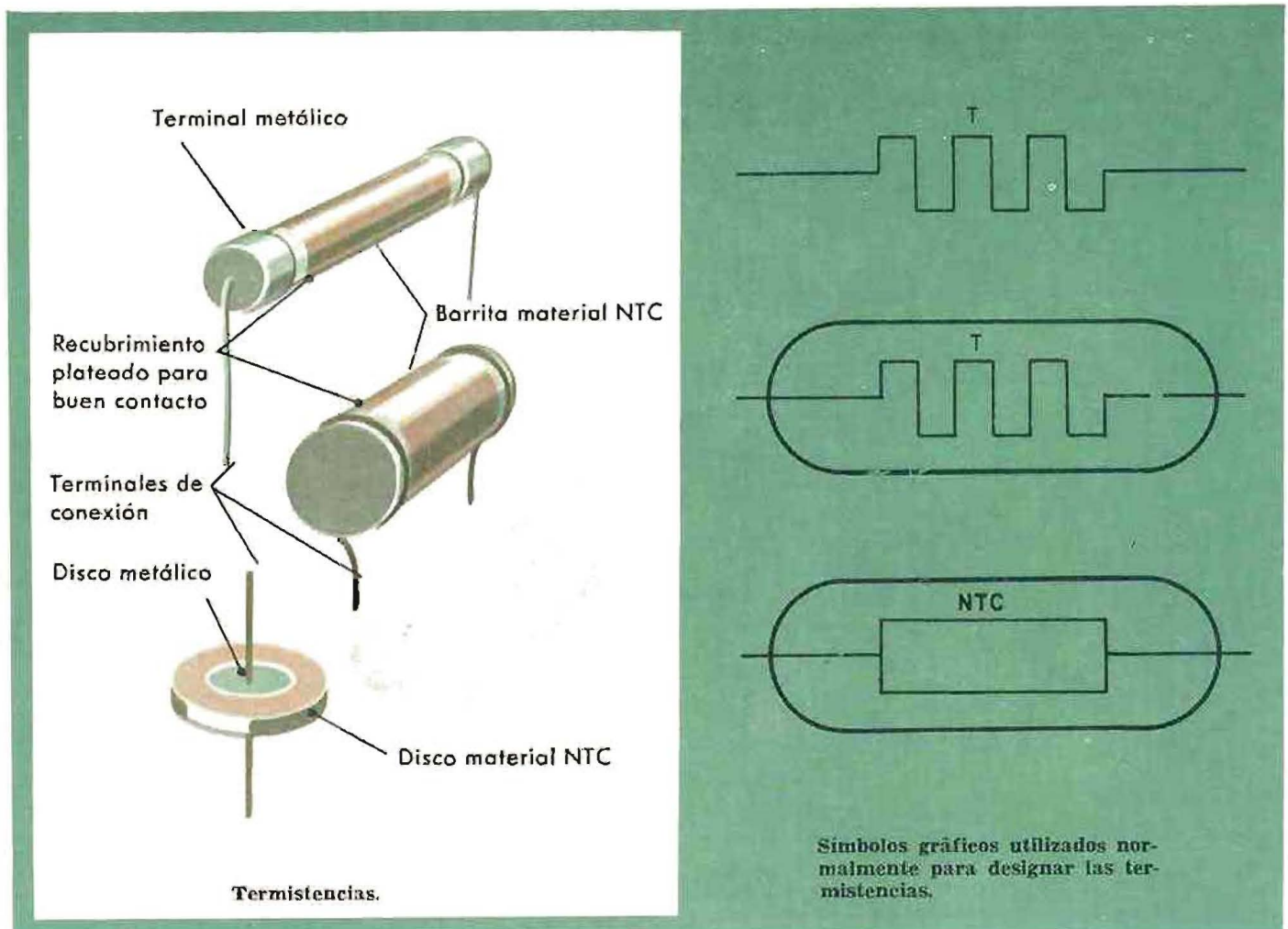
cinc, aluminato de magnesio u otros materiales finamente pulverizados y aglomerados con resinas para poder moldearlos en barritas de cierto diámetro que luego se cortan según longitudes adecuadas a los valores de resistencia que se especifican.

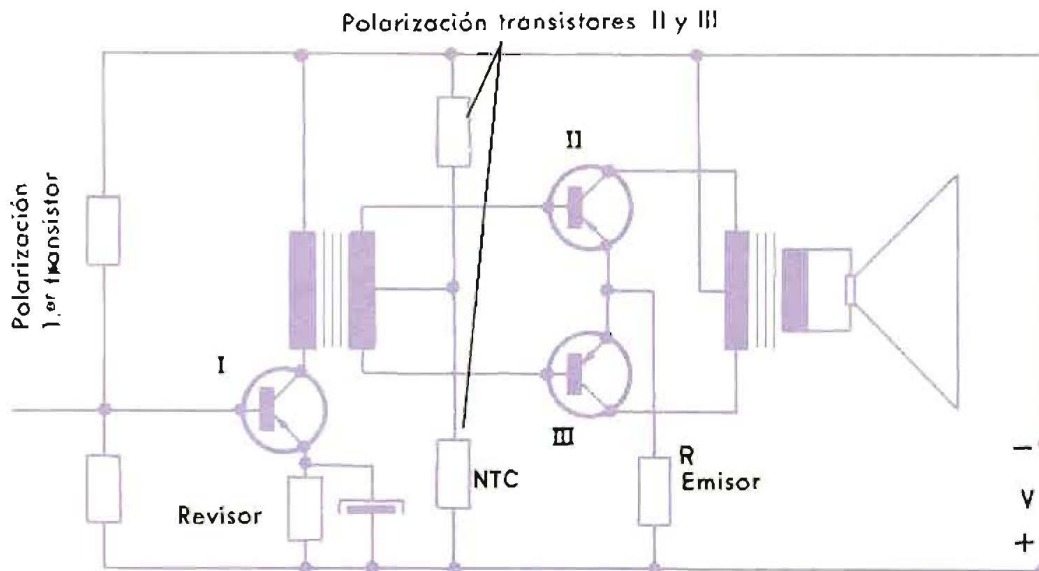
Las barritas o discos así obtenidos se proveen de terminales de conexión, que hacen contacto con el material semiconductor gracias a recubrimientos metálicos pulverizados (generalmente de plata).

La aplicación más característica de las termistencias es el control de temperaturas, en forma de termómetros eléctricos. Dentro de las aplicaciones en los circuitos transistorizados, que han ido ocupando nuestra atención en las lecciones anteriores, recordemos que los transistores ofrecen muchas ventajas sobre las válvulas; pero, en cambio, son muy sensibles a las variaciones de temperatura. Conocemos muchos medios de contrarrestar estos inconvenientes; uno de los más sencillos, eficaces y económicos consiste en utilizar una termistencia.



Variación de la resistencia en función de la variación de temperatura.





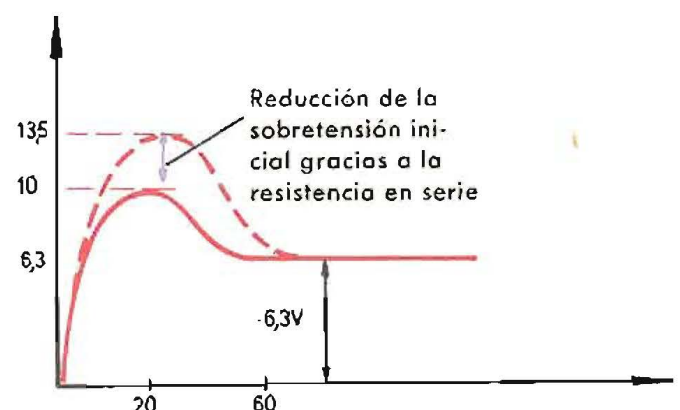
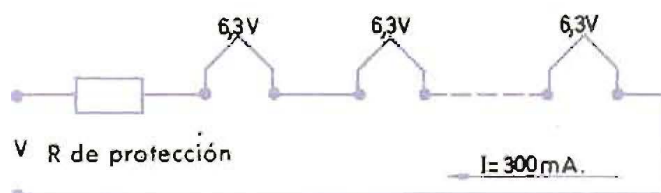
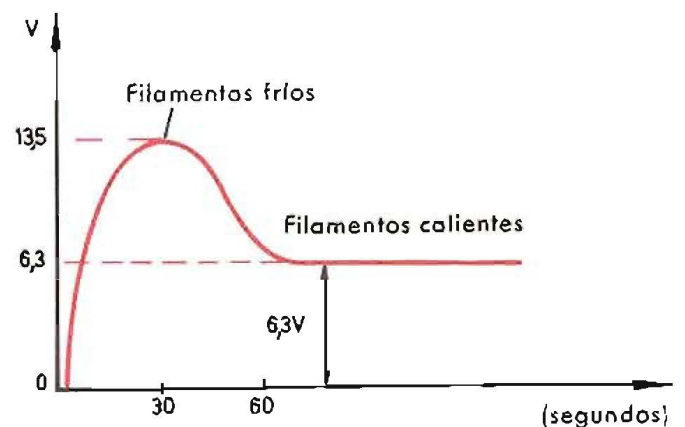
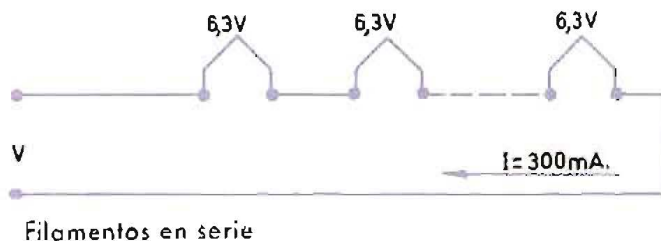
Aplicación de una resistencia "NTC" para estabilización de temperatura de un amplificador típico clase B con transistores.

También se utilizan como termómetros clínicos para obtener una lectura muchísimo más rápida que la de los clásicos termómetros de mercurio.

Entre las aplicaciones del control de temperatura citemos las más modernas en radiadores de motores de explosión o combustión interna, protección de devanados de motores eléctricos, alternadores y transformadores, así como detectores de incendios o de heladas, etc. Una aplicación también muy extendida es la indicación de nivel de líquidos, aprovechando el enfriamiento

que producen en las termistencias colocadas a distintos niveles de depósito.

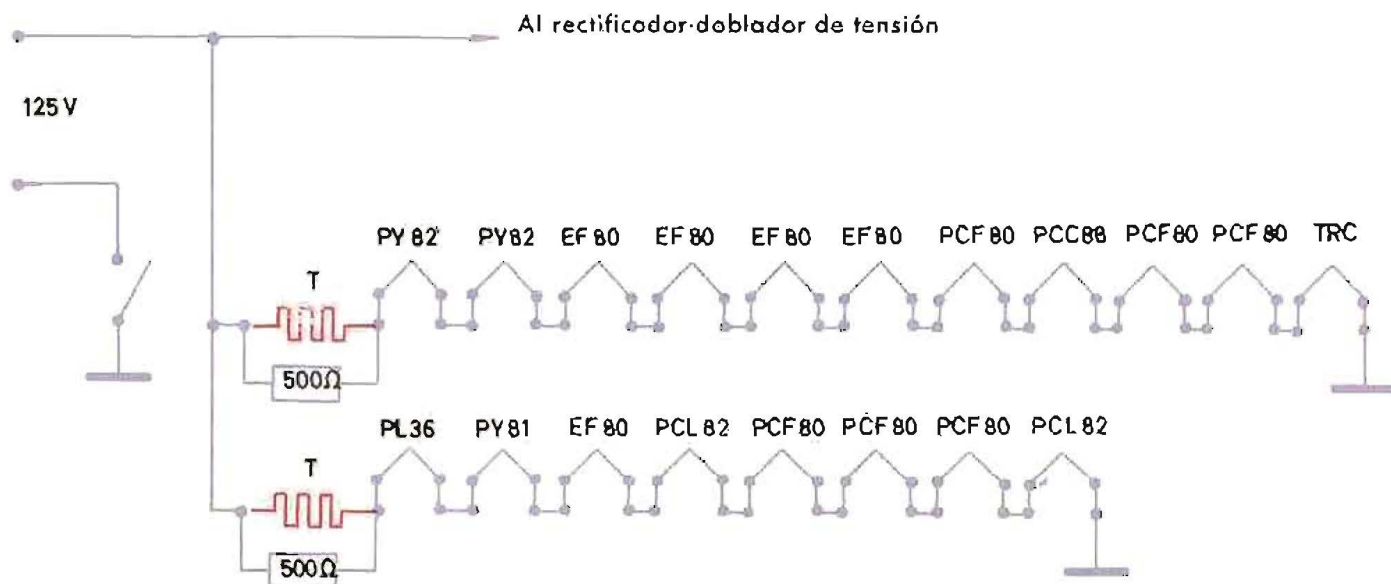
En los aparatos electrónicos en general, y en los de radio y televisión en particular, provistos con válvulas cuyos filamentos se conectan en serie, las termistencias encuentran una aplicación muy importante que es del máximo interés para el radiotécnico. En efecto, al conectar a la red un aparato con válvulas alimentadas en serie, los filamentos se caldean con exceso en el período inicial porque su resistencia en frío es muy baja con relación a la resistencia nominal en caliente.



Una resistencia en serie limita en parte la sobretensión inicial.

Si son varios los filamentos conectados en serie, dado que la resistencia total de todos ellos en frío es inferior a la que tienen en funcionamiento normal en caliente, resulta que cada uno soporta una tensión superior a la normal; como consecuencia circula una corriente mucho más elevada que puede llegar a inutilizar uno o varios de dichos filamentos. Este inconveniente se reduce si se conecta en serie una resistencia normal de radio, cuyo valor en frío o en caliente varía poco, que absorbe en parte el golpe de corriente inicial

(actúa de freno); pero la mejor solución consiste en conectar una termistancia, que en frío actúa como la anterior resistencia y en caliente tiene un valor tan bajo que no produce ninguna caída de tensión apreciable (por lo que su valor apenas se tiene en cuenta en el cálculo del circuito). Para, no obstante, proteger los filamentos contra sobrecargas en servicio puede conectarse, en paralelo con la termistancia, una resistencia normal que absorba aquéllas cuando la resistencia NTC haya alcanzado su temperatura de régimen.



Ejemplo de aplicación de las resistencias NTC a la protección de las cadenas de filamentos en serie de un receptor de TV.

LAS VARISTENCIAS O RESISTENCIAS VDR

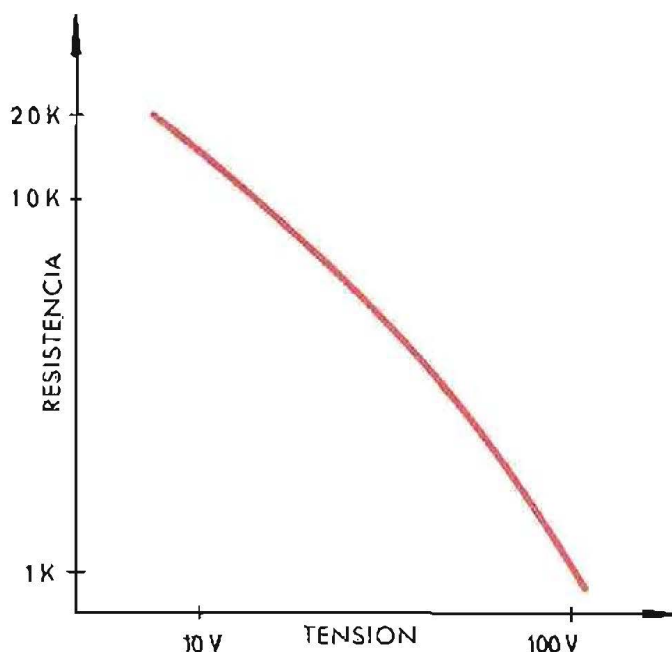
Las varistencias o resistencias VDR (*variable dependant resistor*) son una clase del grupo de los semiconductores que podríamos llamar no óhmicas, pues su resistencia varía mucho según sea la tensión aplicada en sus bornes; de tal modo, que disminuye rápida y progresivamente cuando aumenta la tensión.

Símbolo



Resistencia VDR (varistancia)

Variación de la resistencia en función de la tensión aplicada.

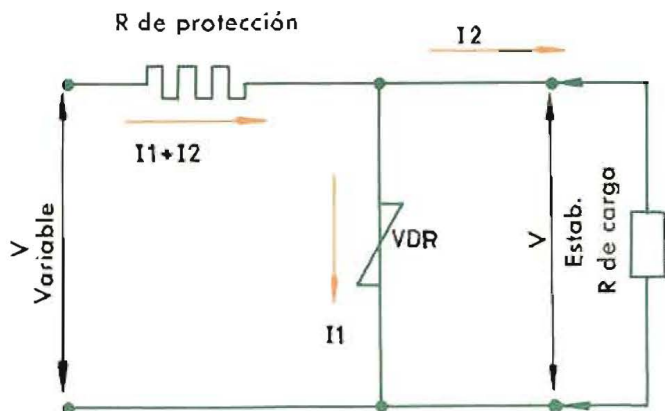


Las varistencias se fabrican con base de carburo de silicio finamente pulverizado y aglomerado con compuestos cerámicos. Se moldean a presión en forma de discos y barras, como en las resistencias NTC, y sus extremos se metalizan en idéntica forma que en estas últimas, sobre los cuales se aplican los electrodos metálicos o terminales para conexión.

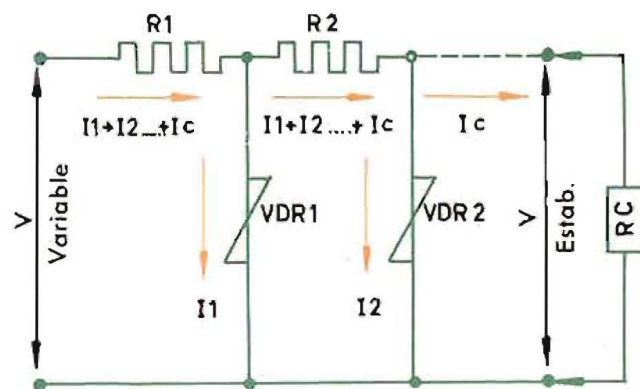
La principal aplicación de las VDR es la estabilización de tensión. Existen varios circuitos estabilizadores de tensión, como por ejemplo los

muy eficaces con diodos Zener que ya describimos. Entre los más sencillos podemos considerar los de una varistancia y una resistencia normal conectadas en las mismas formas ya descritas para el diodo Zener.

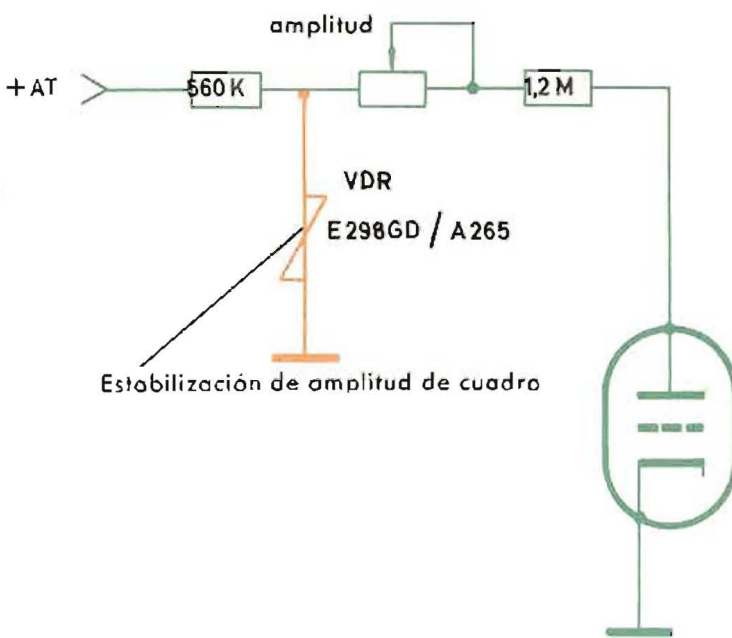
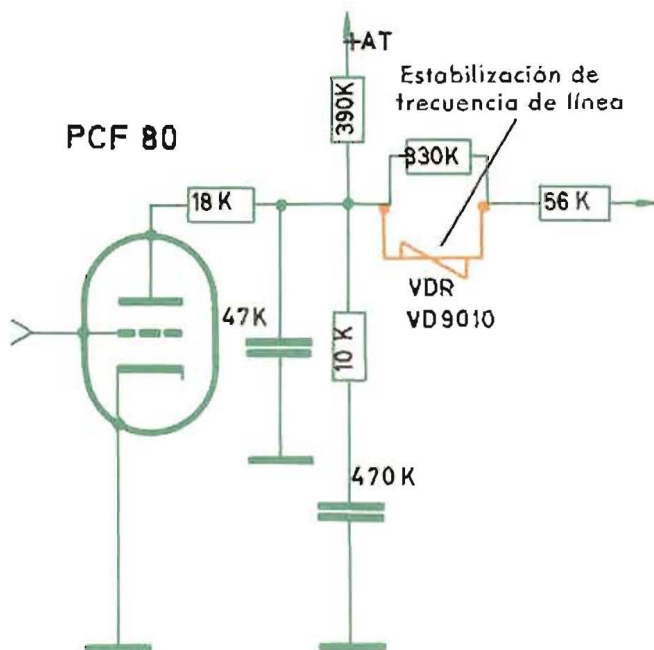
Otra aplicación característica de las VDR es la protección de los contactos de los interruptores para evitar el desgaste anormal e irregular por el arco de ruptura y el chisporroteo en el instante de desconexión. No obstante, también en esta aplicación son más eficaces los diodos Zener.



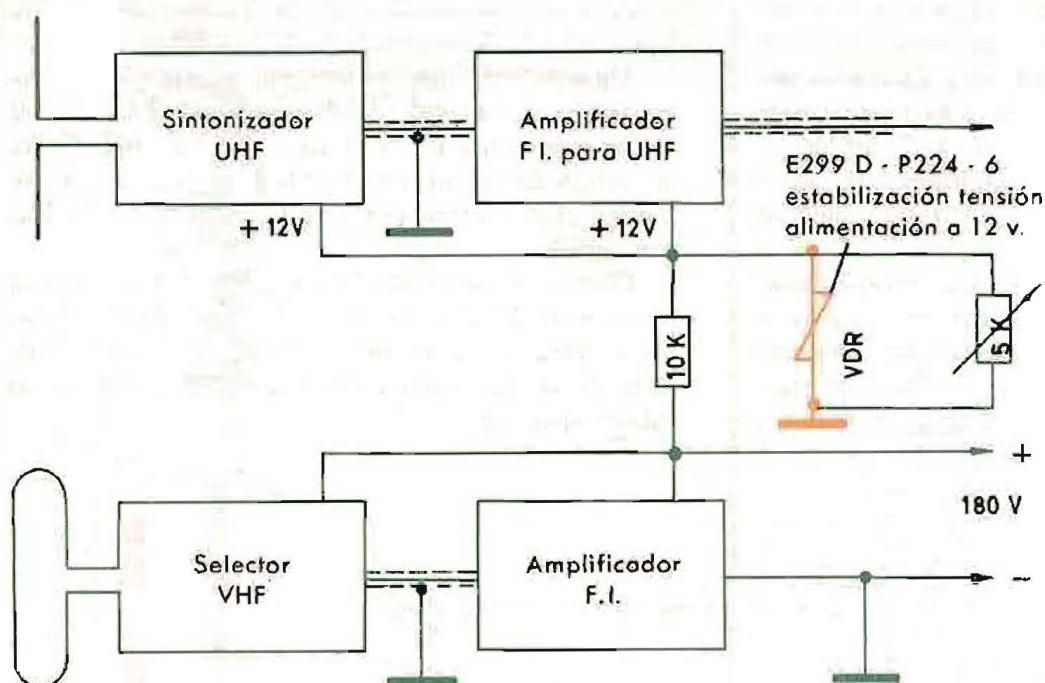
Circuito estabilizador de tensión con VR. Su principio es el mismo del diodo Zener.



Para aumentar el grado de estabilización se pueden conectar varios circuitos VDR en cascada.



Ejemplos de aplicación de resistencias "VDR" para la estabilización de tensión en circuitos de receptores de TV.



Ejemplo de estabilización con "VDR" de la alimentación del sintonizador de "UHF" y su amplificador de F.I., ambos a transistores, en un receptor de TV.

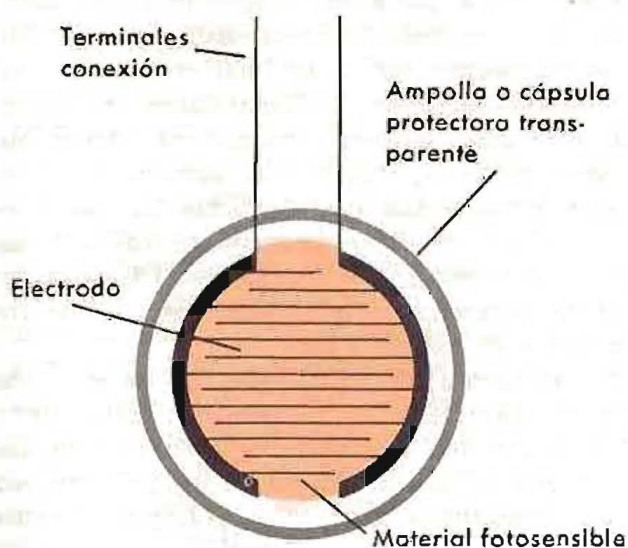
DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES SENSIBLES A LA LUZ

FOTORRESISTENCIAS O RESISTENCIAS "LDR"

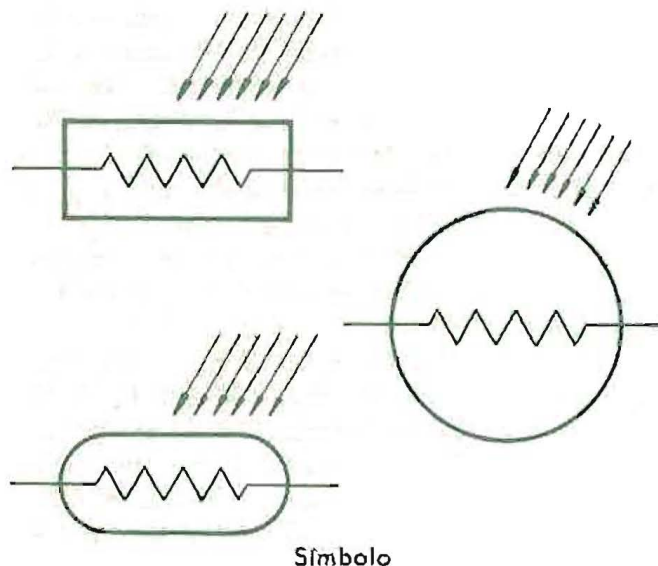
Las fotorresistencias, también llamadas células fotoconductoras, resistencias fotoeléctricas o resistencias LDR (*light dependent resistor*), son resistencias de material semiconductor cuya resistencia eléctrica varía mucho con las radiaciones luminosas que inciden en su superficie; a medida que aumenta la intensidad luminosa incidente disminuye la resistencia de la LDR.

Los materiales fotosensibles más utilizados para su fabricación son sulfuro de cadmio, sulfuro de plomo y seleniuro de plomo.

Su construcción se efectúa disponiendo sobre una plaquita de material inerte gran cantidad de electrodos muy próximos, entre los cuales se deposita el material fotosensible. La construcción con muchos electrodos facilita la obtención de la



Fotorresistencia o resistencia "LDR".



mayor superficie de contacto posible con el material fotosensible; y conviene que estén muy próximos, pues el número de electrones excitados por la luz que atraviesa dicho espacio es inversamente proporcional al cuadrado de esta distancia.

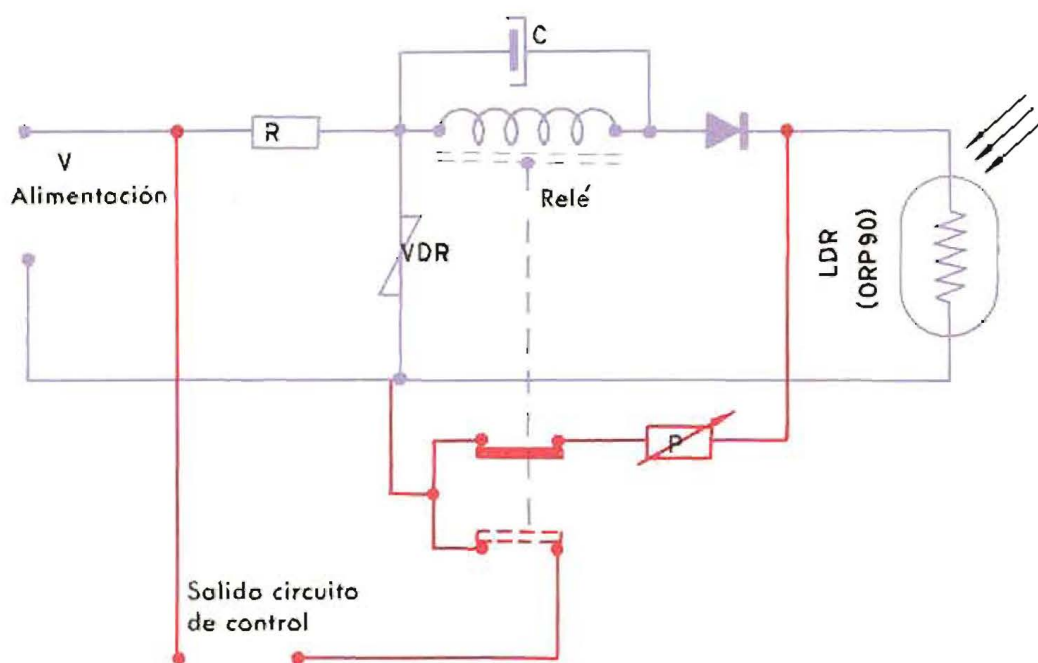
El conjunto se protege de la humedad, polvo y posibles daños mecánicos encerrándolo herméticamente en una ampolla de vidrio.

Las LDR, gracias a su gran sensibilidad, pueden sustituir a las células fotoeléctricas o fototubos y al amplificador que éstos últimos necesitan. Algunas pueden accionar directamente grandes relés, como por ejemplo para la conexión y

desconexión automática de la iluminación de calles según la intensidad de la luz solar.

Algunas, del tipo miniatura, se utilizan en televisores. En efecto, conectando una LDR en el circuito anódico o en el de rejilla de la válvula de salida de video, es posible la regulación automática del contraste y brillo en la pantalla del tubo de imagen.

Ciertos tipos se utilizan especialmente para el control de la llama en la fabricación del acero; otros para cámaras fotográficas, fotometría, medida de la radiación calorífica (LDR sensibles al infrarrojo), etc.



Circuito típico para accionamiento automático, por medio de una LDR y un relé, para iluminación u otras aplicaciones. La tensión alterna de la red se rectifica para evitar la vibración de los contactos del relé. El margen de control puede ajustarse con un potenciómetro P. La tensión de alimentación puede estabilizarse con una resistencia VDR.

FOTODIODOS Y FOTOTRANSISTORES

Todas las variedades de material semiconductor de germanio experimentan modificaciones de resistencia bajo la influencia de la luz; por tal razón, tanto los diodos como los transistores de germanio se encierran en cápsulas opacas.

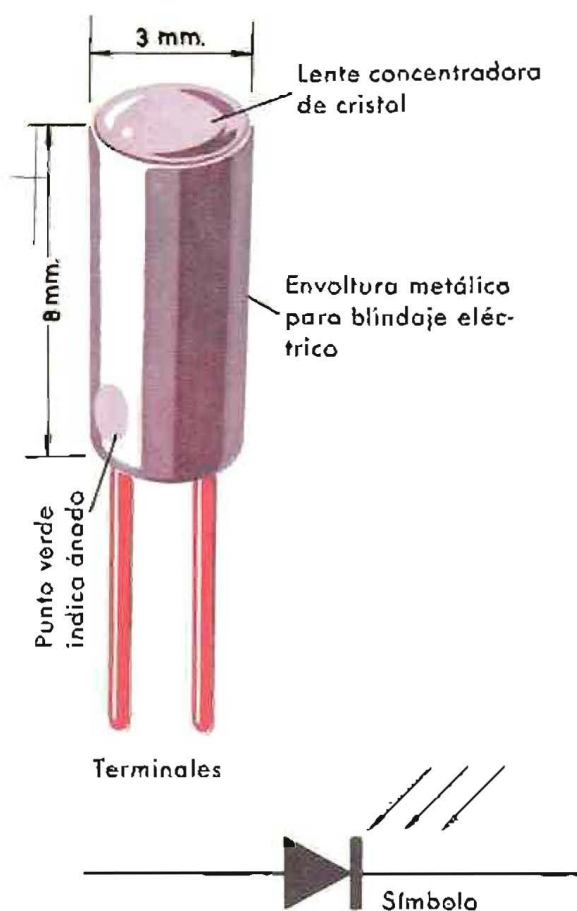
En un transistor o en un diodo ordinarios, la unión entre los dos tipos de germanio, N y P, crea un campo eléctrico que, como sabemos, retiene a los electrones libres en una región y a los huecos libres en la otra.

Si un fotón de luz incide en el germanio, libera en él un electrón y produce un hueco; si se alimenta con polaridad adecuada (en sentido inverso) la unión PN produce una corriente (fotoeléctrica) que es función de la iluminación incidente. Si la luz incide cerca de la unión, los electrones libres en un sentido y los huecos en el otro pasan la barrera de potencial con mucha

mayor facilidad que si incide lejos de dicha unión.

En los fotodiodos y fototransistores se aprovecha esta particular sensibilidad a la luz de las uniones PN de germanio. Como cuando la luz incide precisamente sobre la unión se liberan numerosos pares hueco-electrón dotados de gran energía, produciendo una corriente intensa comparada con la corriente inversa normal de toda unión a oscuras, en los fotodiodos y fototransistores se coloca una lente concentradora que enfoca la luz en dicha unión.

La liberación de electrón-huecos en la unión PN por acción de la luz incidente en dicha superficie provoca una corriente relativamente intensa y hace que la zona iluminada equivalga al emisor de un transistor y que en el colector aparezca una corriente amplificada correspondiente a la producción por la luz. Por ello suele denominarse

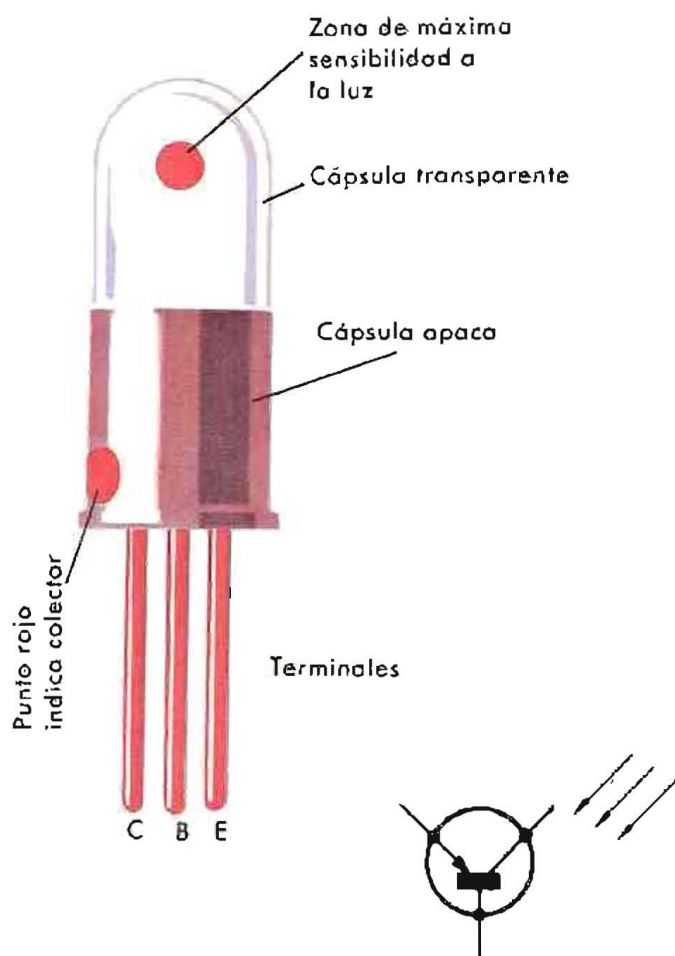


Fotodiodo.

incorrectamente «fototransistor» a un diodo de germanio fotosensible.

No obstante, existen verdaderos fototransistores, en los cuales la base fotosensible está situada entre un emisor y un colector.

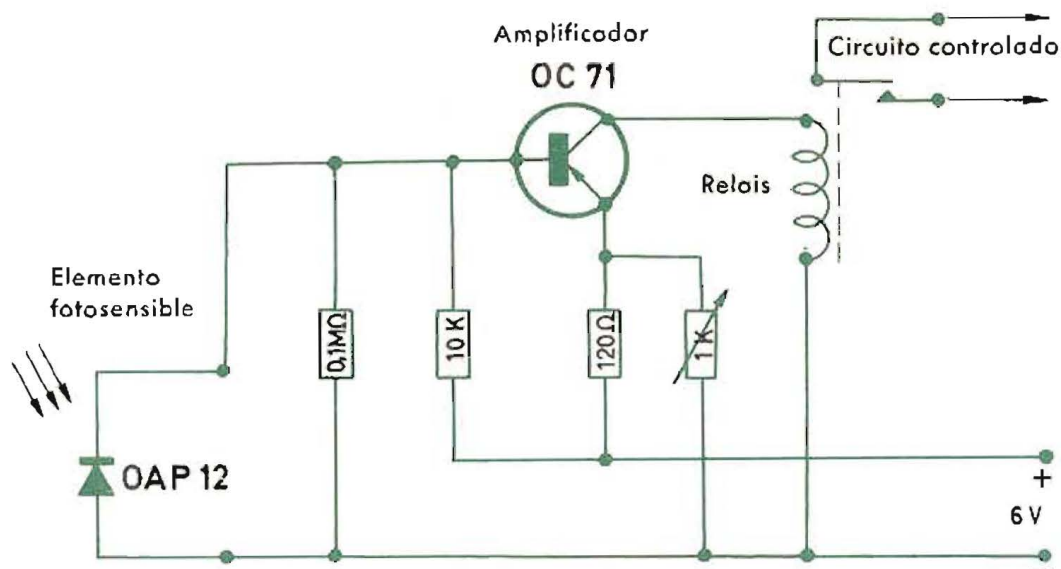
Los verdaderos fototransistores son transistores de unión, contruidos de forma que se aprovechan sus propiedades fotoeléctricas hasta lo máximo. El principio de su funcionamiento es igual al de un fotodiodo; pero difiere en que la corriente debida a la luz se amplifica por la acción normal del transistor, de tal modo que se obtiene una sensibilidad mucho mayor. No obstante, un fotodiodo seguido de un amplificador con transistor posee mejor ganancia de sensibilidad a la luz que un fototransistor. Además, la adaptación de impedancias es más fácil que con la primera solución y, finalmente, la frecuencia de corte del fotodiodo (señal luminosa, modulada) puede llegar a ser de hasta 100 KHz, cuando en el fototransistor no llega a 10 KHz.



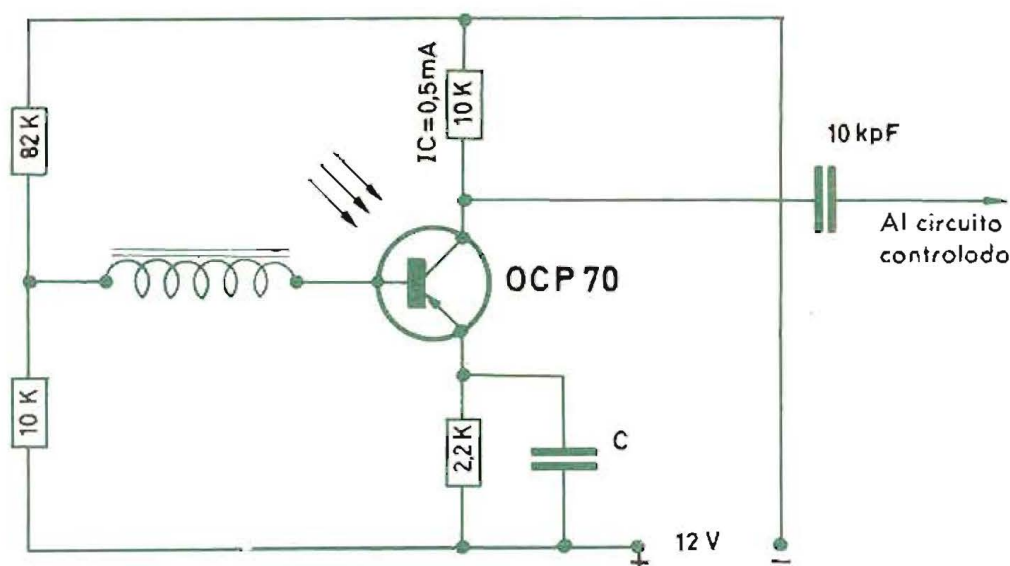
Fototransistor.

En general estos dispositivos fotoconductores son muy útiles para la medida de un flujo luminoso y combinan una notable variedad de características especiales muy superiores a las de otras células fotoeléctricas: reducido consumo, pequeña tensión de funcionamiento, conexión sencilla, precio reducido, robustez, larga duración, dimensiones muy pequeñas, gran sensibilidad a la luz, corriente proporcional a la iluminación para señales débiles, etc.

Sus aplicaciones son análogas a las de otras células fotoconductoras y pueden resumirse en mandos fotoeléctricos, lectura de pistas ópticas cinematográficas, interpretación de tarjetas perforadas, detectores de bordes en las operaciones de enrollado (fábricas de papel, hojas metálicas, textiles, industrias plásticas, etc.), control automático de iluminación, dispositivos de alarma contra el fuego (estos elementos son sensibles a los rayos infrarrojos), control de nivel de líquidos, ajuste automático del brillo de los televisores, etc.



Circuito típico de relé fotoeléctrico con fotodiodo y amplificador con transistor.



Circuito típico de aplicación de un fototransistor.

CELULAS FOTOVOLTAICAS

Las células fotovoltaicas, a diferencia de otros dispositivos sensibles a la luz, tienen la particularidad de transformar directamente la energía luminosa en energía eléctrica. Es decir son células de generación propia.

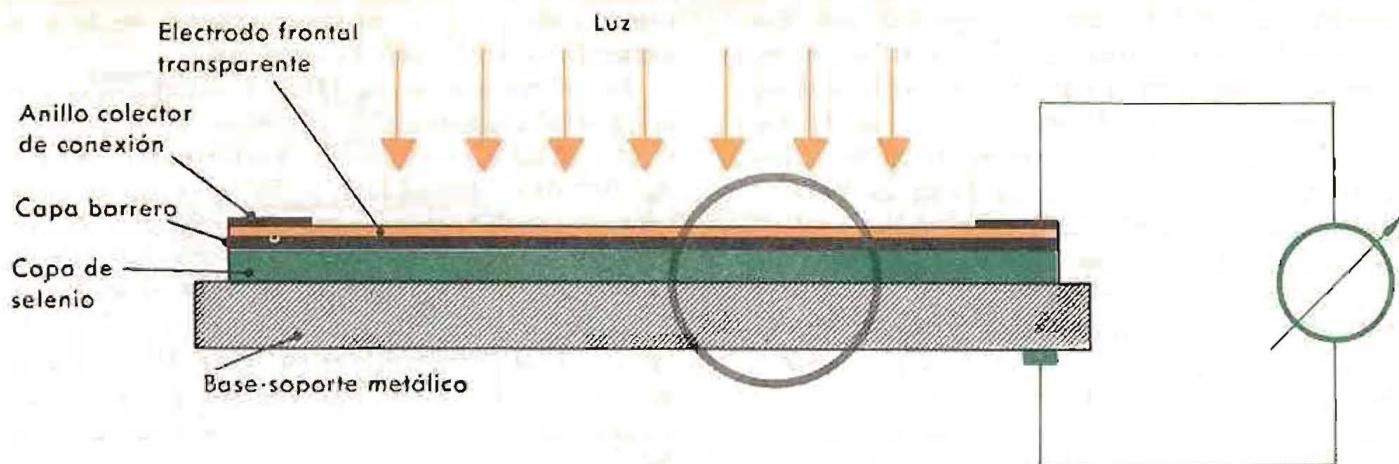
Su característica es, pues, generar una tensión (generalmente de hasta 0'58 V) cuando la luz incide en su superficie sensible. Esta diferencia de potencial da lugar a una circulación de corriente en un circuito conectado a la célula; la intensidad del circuito depende de la luz incidente.

Este tipo de fotoelemento puede considerarse, en consecuencia, como una fuente primaria de energía eléctrica, al igual que una batería o pila de tipo galvánico.

Células de selenio

Fueron las primeras que se emplearon. En 1873 el inglés W. Smith descubrió que la resistencia del selenio disminuye cuando se expone a la luz (por lo que también podría utilizarse como resistencia LDR, aunque con poco rendimiento).

En el pasado, la aplicación primera de las células de selenio estuvo en fotometría y en dispositivos medidores de luz como fotómetros, colorímetros y medidores para fotografía. Con la llegada de la automatización y la asequibilidad de los transistores fueron abiertas muchas nuevas aplicaciones.



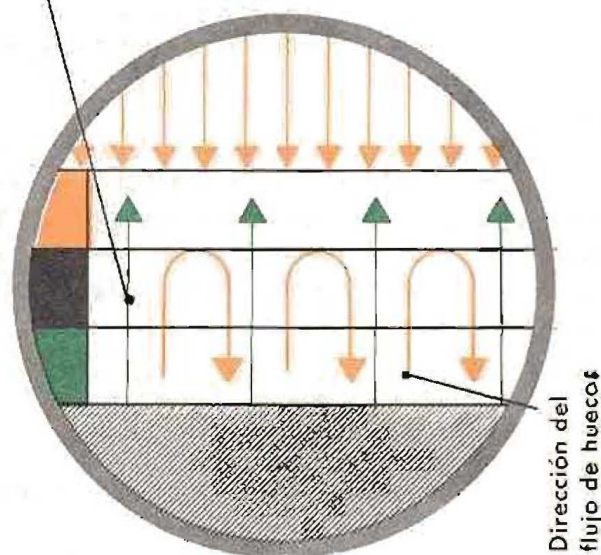
Estructura y funcionamiento de la célula foto-voltaica de selenio.

La célula de selenio consiste en una placa metálica de base sobre la cual se depositan múltiples capas de compuestos de selenio y metales preciosos. El electrodo frontal o sensible y la capa de barrera tienen un espesor aproximado de 0'05 mm. El conjunto se recubre con una resina protectora termostática que le da un acabado extremadamente robusto y a prueba de roturas.

La luz que incide en la célula atraviesa el electrodo transparente frontal y obliga al selenio a liberar electrones que viajan a través de la capa de barrera. Estos electrones son atrapados por el

Dirección del flujo de electrones

Flujo luminoso incidente



DIFERENTES FORMAS DE CELULAS DE SELENIO

RECTANGULARES	REDONDAS	FLEXIBLES

electrodo frontal y forman la carga negativa. Estos electrones no pueden volver al selenio (excepto en una muy débil corriente de fuga), debido a la conductividad unilateral de la capa de barrera. En estas condiciones, pues, el anillo colector constituye el negativo y la placa de base el positivo de esta célula, que en realidad es una pila eléctrica activada por la luz.

Con ella se puede alimentar o accionar cualquier dispositivo, siempre que la potencia de éste corresponda a la capacidad de la célula (radiorreceptores, relés, etc.). Lógicamente, la corriente de salida está en función de la resistencia de carga, del área fotosensible de la célula y de la intensidad de iluminación.

Normalmente, el soporte o base metálica de estas células es rígido; también se fabrican con base flexible para poder adaptar las células a cualquier superficie curva, cilíndrica, etc. (células de contorno).

También se han montado en serie, o en combinaciones serie-paralelo, varias células, que generan 2 mA cada una con una carga de $10\ \Omega$ con luz solar brillante, para convertir la energía solar en una fuente de energía para aparatos transistorizados portátiles.

Células de silicio

Cuando se considera la magnitud de la energía que cada segundo envía el sol a la tierra, no es sorprendente que el aprovechamiento de este vasto recurso haya sido un reto constante al hombre a través de los siglos.

A pesar de que algunos métodos de utilizar la energía solar han estado en uso por muchos años, con más o menos fortuna, los que hoy en día se consideran como más prácticos son los de la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica por efectos termoeléctricos o fotoeléctricos. Durante los últimos años ello ha des-

pertado amplio interés, especialmente en lo que respecta al fenómeno fotovoltaico.

Aproximadamente en 1876 se desarrolló la primera célula fotovoltaica de «capa barrera» utilizando selenio, como antes describimos. Por medio del desarrollo colateral de las técnicas eléctrica y electrónica, la célula fotoeléctrica de selenio ganó amplia aplicación; y recientes investigaciones en el campo de los semiconductores contribuyeron, con muchos conocimientos básicos aplicados al principio fotovoltaico, al desarrollo de las fotocélulas de silicio que ahora nos ocupan y cuya eficiencia es muy superior a la de sus predecesoras de selenio.

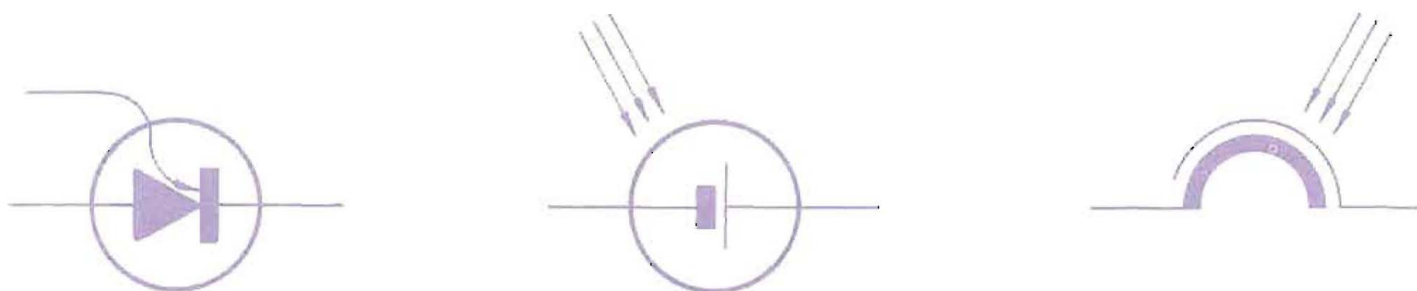
En 1956 los científicos investigadores de la Bell Laboratory descubrieron que la luz solar era capaz de liberar electrones de los átomos de láminas de silicio especialmente preparadas.

La célula fotovoltaica de silicio es del tipo de unión PN. La unión está formada por los dos tipos de semiconductor de silicio, el N y el P. El material tipo N se obtiene al añadir ciertas impurezas (boro) a un disco o lámina de silicio puro, durante su fundición y en la etapa de crecimiento de los cristales. La unión PN se forma difundiendo impurezas de tipo P sobre la superficie del disco de silicio tipo N.

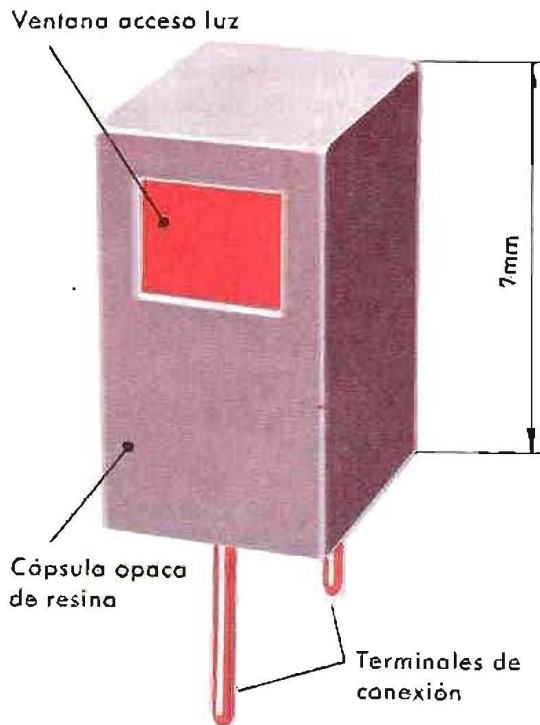
Una sección en corte de una célula de silicio mostraría la capa de silicio tipo P y la base tipo N, también de silicio, separadas por una capa barrera extremadamente fina (unos pocos micrones), la cual constituye un campo eléctrico permanente interior, como ya se explicó en la lección inicial sobre las uniones semiconductoras PN.

El movimiento y desplazamiento de electrones y huecos, que ocurre cuando la luz incide en el cristal de silicio, y el fenómeno subsiguiente que toma lugar en la unión PN, produce una diferencia de potencial entre las capas de silicio de la célula y da lugar a una corriente electrónica.

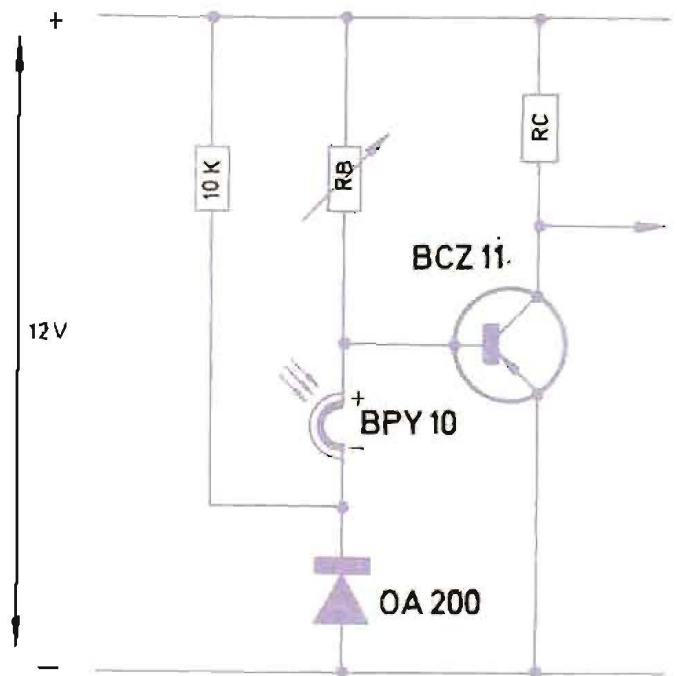
El conjunto de la célula se encierra en una cápsula, de resina en unos casos y de vidrio en



Símbolos corrientemente utilizados para designar las células fotovoltaicas de silicio.



Célula fotovoltaica de silicio.

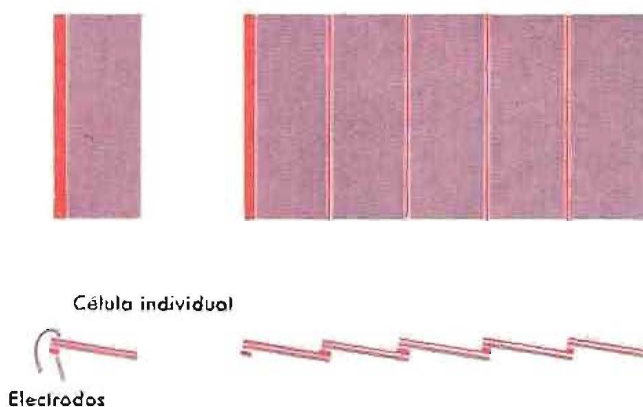


Circuito de aplicación industrial de una célula fotovoltaica de silicio. La tensión de polarización se estabiliza por medio de un diodo de silicio en serie con la célula para evitar la conducción de la célula en sentido inverso en ausencia de luz. La señal se amplifica con un transistor también de silicio.

otros, para protección química y contra daños mecánicos.

Estas células se utilizan en la industria para conmutación por detección de luz, particularmen-

te para la lectura de cintas o tarjetas perforadas y detección de bordes en el enrollado. También pueden utilizarse para detectar un haz de luz modulada y lectura de bandas sonoras ópticas.



Grupo de células conectadas en serie por soldadura entre electrodos solapados.



La tensión de polarización se estabiliza por medio de un diodo de silicio en serie con la célula para evitar la conducción de la célula en sentido inverso en ausencia de luz. La señal se amplifica con un transistor también de silicio.

La aplicación más espectacular quizás de las células de silicio es la constitución de las llamadas baterías solares, cuyo desarrollo es continuo y muy pujante. Recordemos que los dispositivos electrónicos de que están dotados los satélites y vehículos espaciales se alimentan de energía solar convertida en eléctrica gracias a estas baterías.

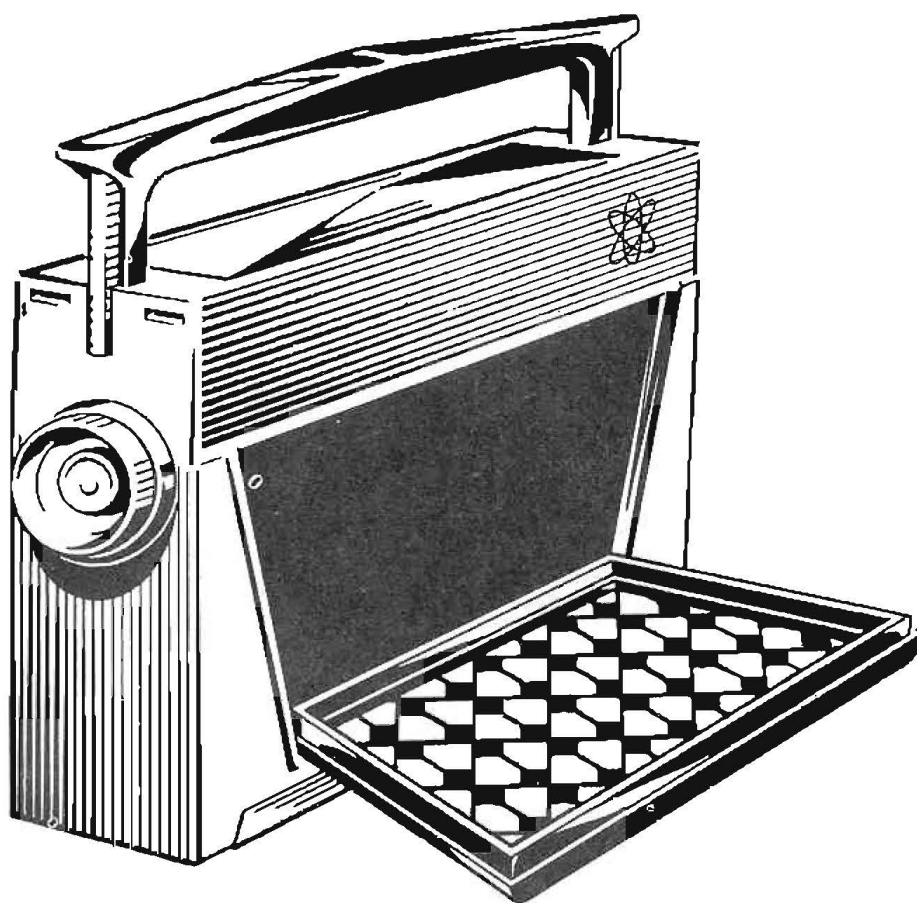
Las baterías solares, como se comprende, no son otra cosa que combinaciones serie-paralelo de células de silicio, unidas entre sí por soldadura u otros medios análogos, que proporcionan desde algunos milivatios hasta varios centenares de vatios.

Estas combinaciones serie o serie-paralelo se manufacturan en módulos o bloques preparados para su fijación al dispositivo a que se destinen.

Una aplicación interesante de las células de silicio es la de los relojes domésticos accionados por energía luminosa; es decir, por medio de estas células la luz del día les suministra la corriente necesaria para el funcionamiento de su mecanismo. Un día de sol puede ser suficiente para que el reloj pueda funcionar durante varios meses.

En las instalaciones en que se utilizan acumuladores para almacenar la energía sobrante de las horas de sol, es conveniente colocar rectificadores en serie para evitar que las baterías se descarguen durante la noche.

Otra de las aplicaciones más interesante, y que va extendiéndose, es la de alimentar un receptor de radio de transistores.



Receptor alimentado con baterías solares.

APENDICE



AFHA

REALIZACIONES PRACTICAS CON TRANSISTORES

Receptor elemental con diodo de cristal
Receptor con detector a diodo y amplificador
de B.F. con un transistor
Receptor con selectividad mejorada
Receptor con la selectividad y la sensibilidad
mejorada
Pequeña emisora experimental
Comprobación de transistores y diodos

experiencia

RECEPTOR ELEMENTAL CON DIODO DE CRISTAL

Incluimos aquí la descripción de esta experiencia más por seguir un orden lógico que por que represente una novedad para el lector, ya que fue descrita anteriormente en la lección 6 de nuestro Método.

Para esta experiencia, y para las que siguen, emplearemos el chasis que nos ha servido para el montaje de los diversos receptores a reacción descritos en lecciones anteriores y también la bobina

de tres devanados que formaba parte de ellos.

Tal vez le extrañe que para realizar este primer montaje utilicemos dos regletas, con gran cantidad de terminales, sobre las que le indicamos que efectúe soldaduras que aparentemente no tienen objeto.

La razón es que de esta forma podremos efectuar las sucesivas experiencias con un mínimo de modificaciones.

MATERIAL REQUERIDO

He aquí el material que necesitamos para esta primera experiencia:

- 1 chasis experimental.
- 1 condensador variable de 500 pF con dieléctrico de papel.
- 1 bobina de R.F. con tres devanados (la misma utilizada en los receptores regenerativos).
- 1 plaquita AT.
- 1 regleta de 14 terminales.
- 1 regleta de 12 terminales.
- 2 tiras aisladoras.
- 1 auricular de 500 Ω .

- 2 hembrillas negras.
- 2 hembrillas rojas.
- 4 terminales de soldadura para las hembrillas.
- 1 diodo de germanio 0A85.
- 1 condensador de poliester 6K8 pF, 400 V.
- 7 tornillos 1/8 6 mm con tuerca.
- 1 terminal de soldadura para tornillos 1/8.
- 1 botón de mando.
- hilo de conexión rojo.
- hilo de conexión verde.
- hilo de retención de 8/10.

MONTAJE

Dispondrá sobre el chasis los diversos elementos mecánicos tal como muestra la figura.

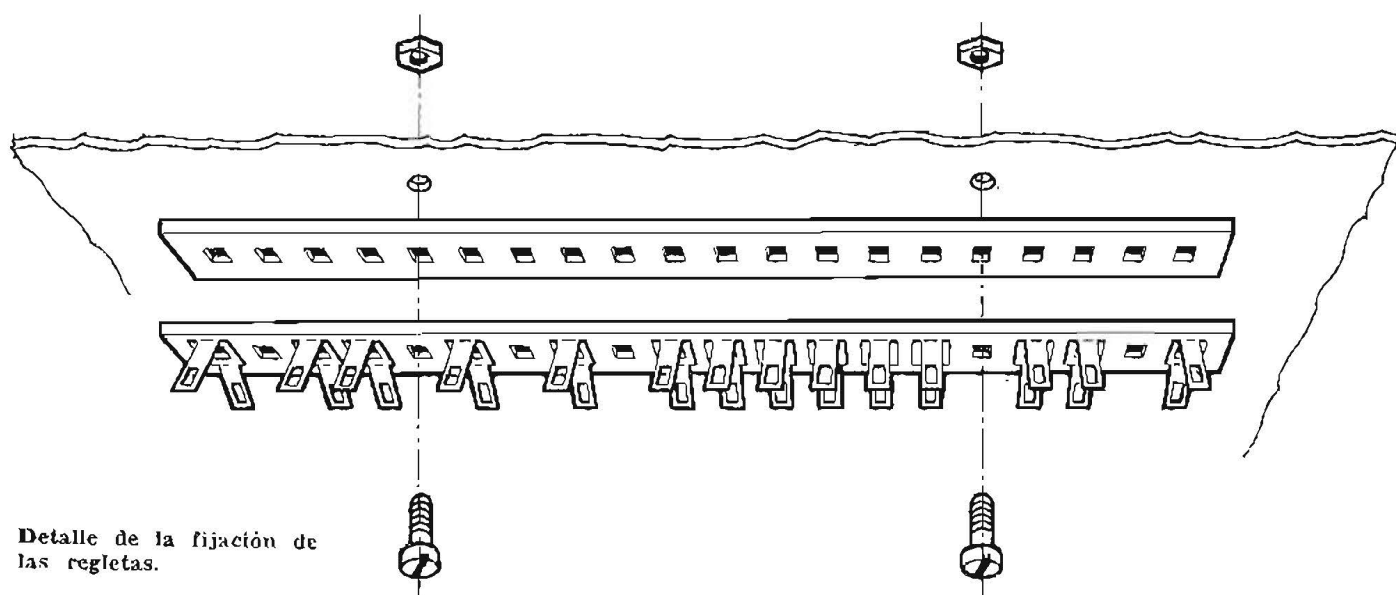
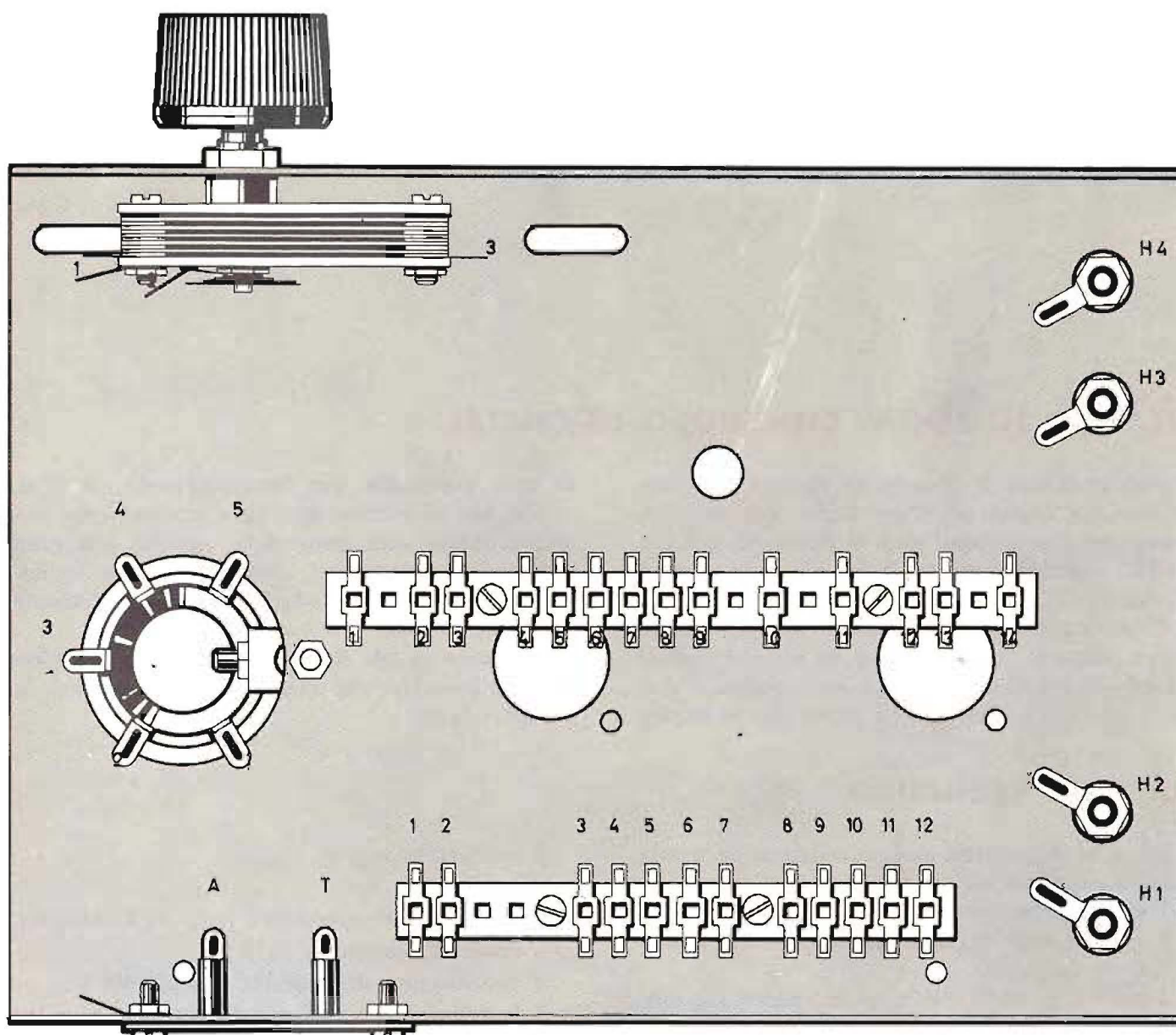
Para mayor claridad hemos añadido un de-

talle de la fijación de las reglitas y de las tiras aisladoras que se colocan para prevenir posibles cortocircuitos entre los terminales y el chasis.

Las regletas

Las dos regletas se han preparado a partir de tiras de terminales de 1 m de longitud que se encuentran fácilmente en el comercio.

Debajo de cada regleta se han colocado sendas tiras aislantes para impedir el contacto de los terminales con el chasis.

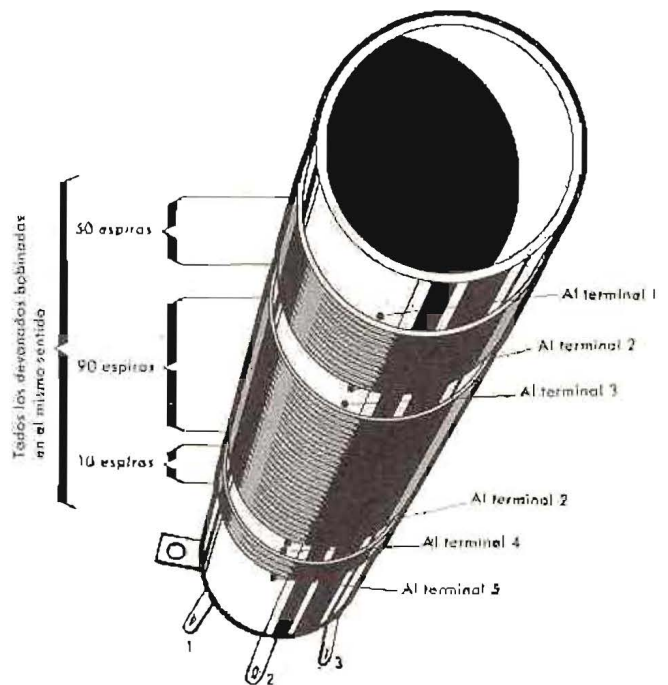


Detalle de la fijación de las regletas.

La bobina

Por lo que se refiere a la bobina, ya hemos indicado que se trata de la misma que hemos empleado en los receptores regenerativos descritos en el Tomo III; para mayor claridad, sin embargo repetimos aquí las instrucciones para su construcción.

Detalles de la construcción de la bobina.

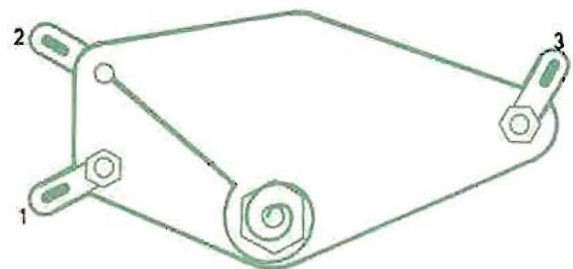
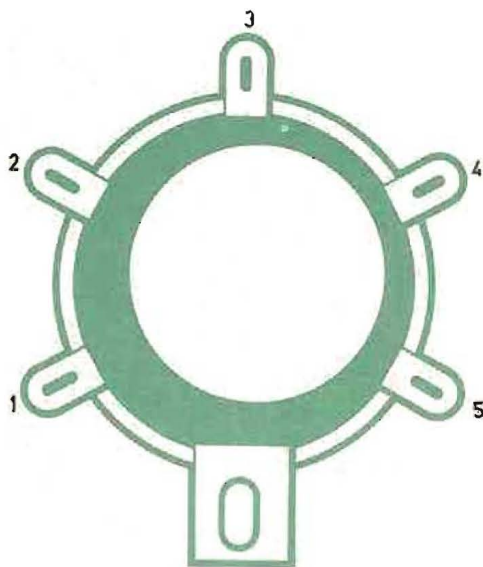


Alambrado

Para mayor seguridad siga paso a paso estas instrucciones:

1. Con hilo de retención conecte la lengüeta de la hembrilla H_1 (s) con los terminales 12 (s),

10 (s), 8 (s), 7 (s), 6 (s), 3 (s) y 1 (s) de la regleta A, con el borne T (ns) de la plaquita A-T y con la lengüeta de soldadura situada en el tornillo contiguo a ese borne (s).

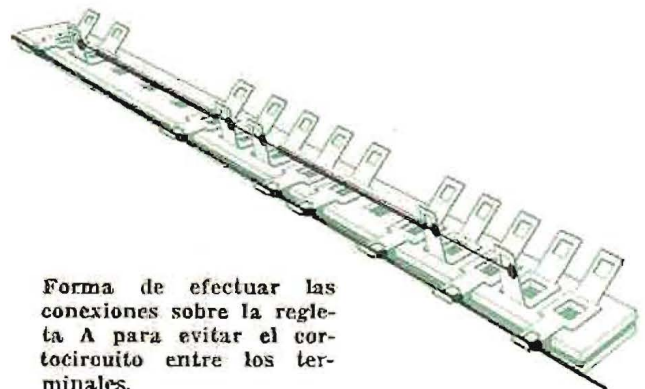


Aquí quedan indicadas las referencias numéricas con que designamos los terminales de la bobina y el condensador variable en las instrucciones de alambrado.

Recordemos que la indicación (s) significa que debe soldarse el contacto correspondiente y que (ns) indica que la soldadura no debe efectuarse por el momento.

2. Con hilo de retención conecte los terminales 2 (s), 4 (s), 5 (s), 9 (s) y 11 (s) de la regleta A.

Observe en los gráficos cómo, para evitar el cortocircuito entre los terminales conectados en esta operación y los conectados en la operación anterior, los primeros han sido doblados de modo que queden verticales y los segundos horizontales.



Forma de efectuar las conexiones sobre la regleta A para evitar el cortocircuito entre los terminales.

3. Con hilo de conexión verde, conecte el terminal 11 (s) de la regleta A con la hembrilla H_2 (ns).

4. Con hilo de conexión verde, conecte la hembrilla H_2 (s) con la hembrilla H_3 (s).

5. Con hilo de retención, conecte los terminales 2 (s) del condensador con los 5 (s) y 2 (s) de la bobina y con el borne T (s) de la plaquita A-T.

6. Con hilo de conexión verde, conecte el terminal 1 (s) del condensador variable con el terminal 3 (ns) de la bobina.

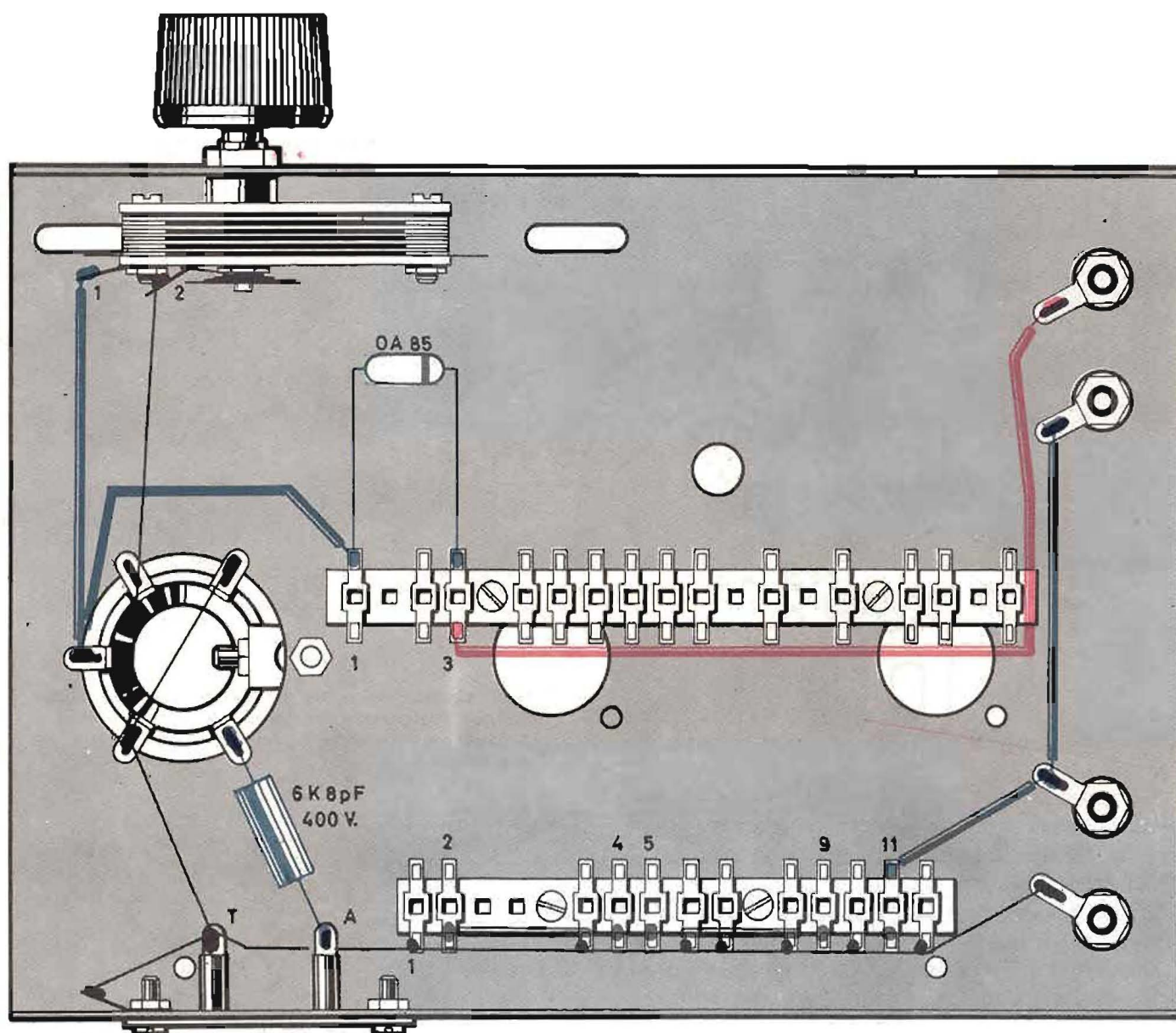
7. Con hilo de conexión verde, conecte el terminal 3 (s) de la bobina con el terminal 1 (ns) de la regleta B.

8. Conecte el diodo 0A85 entre los terminales 1 (s) y 3 (s) de la regleta B.

Tenga buen cuidado en esta operación de no calentar con exceso los alambres de conexión del diodo. Para ello es conveniente no cortarlos y sujetarlos, mientras se efectúa la soldadura, con unas alicates de punta plana.

9. Con hilo de conexión rojo, conecte el terminal 3 (s) de la regleta B con la hembrilla H_4 (s).

10. Conecte el condensador de 6K8 pF entre el terminal 1 (s) de la bobina y el borne A de la plaquita A-T.



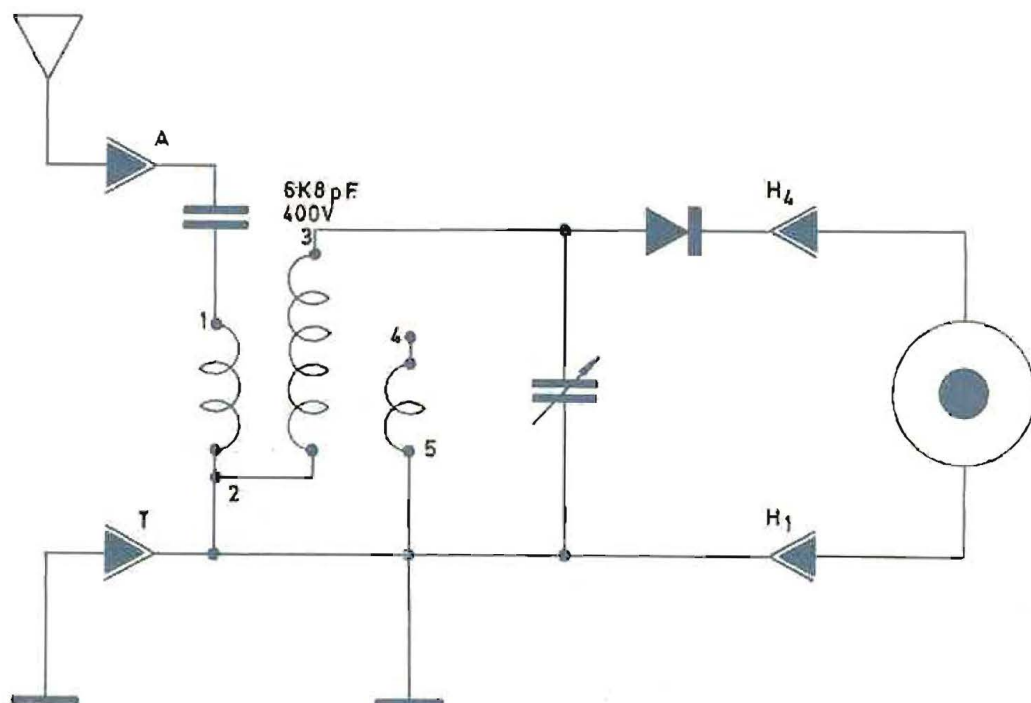
PUESTA EN MARCHA

Con esto queda montado este receptor elemental. Basta conectar las hembrillas de antena y tierra a los bornes correspondientes de la plaquita A-T y el auricular a las hembrillas H₁ y H₂ para, moviendo el condensador variable en uno u otro sentido, intentar sintonizar alguna emisora.

Decimos *intentar* porque el éxito no es segu-

ro, ya que la sensibilidad de este receptor es muy escasa.

Por el esquema inmediato puede comprobar que en esencia el receptor es el mismo cuyo montaje indicamos en la lección 6, ya que el tercer devanado, que ahora lleva incorporada la bobina, no tiene por el momento ninguna utilidad.



Esquema del receptor elemental con diodo de germanio.

PRUEBA DEL RECEPTOR CON AUXILIO DEL GENERADOR DE R.F.

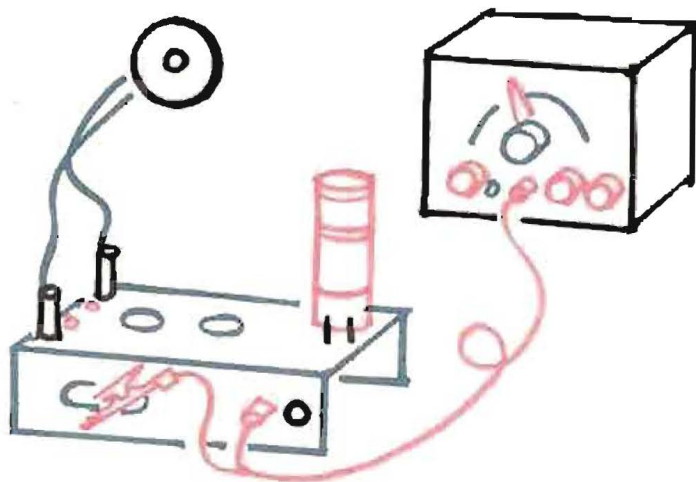
En el caso de que las señales de radiodifusión que lleguen al receptor no sean suficientemente potentes como para percibirse en el auricular, será posible comprobar el buen funcionamiento del montaje con ayuda del generador de señales, que como ya sabemos equivale a una emisora.

Para ello, una vez puesto en marcha el generador, conectaremos la pinza del cable de salida al chasis del receptor y la banana al borne A de la plaquita A-T, retirando primeramente, claro está, la banana correspondiente a la antena.

Con el selector en la banda C y los potenciómetros totalmente vueltos hacia la derecha, situaremos el índice transparente frente a una marca cualquiera entre 500 y 1500 Kc/s (900 Kc/s, por ejemplo).

Moveremos luego el botón de mando del receptor para sintonizar esa señal. Si en el aparato no existe alguna avería o equivocación, en el auricular percibiremos el tono de 600 c/s correspondiente a la modulación.

También podemos comprobar que moviendo el índice del generador a uno y otro lado la señal sigue percibiéndose en un amplio margen, lo que indica la poca selectividad de este montaje.



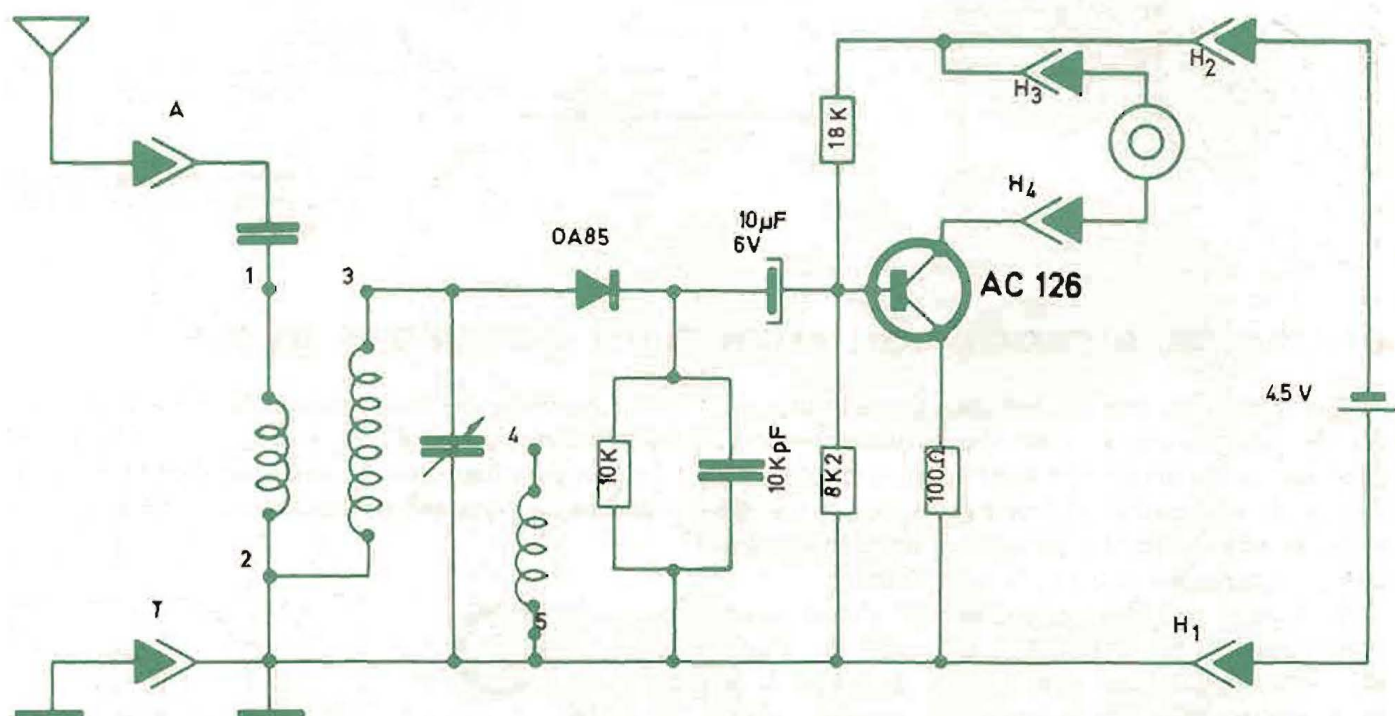
experiencia 2

RECEPTOR CON DETECTOR DIODO Y AMPLIFICADOR DE B.F. CON UN TRANSISTOR

El receptor objeto de la experiencia anterior presentaba el doble inconveniente de que tanto su selectividad como su sensibilidad eran muy reducidas. En esta segunda experiencia vamos a mejorar la sensibilidad añadiendo al montaje un paso amplificador en B.F., según queda ilustrado en el esquema adjunto.

Puede apreciar en él que la señal procedente del diodo no se aplica directamente al auricular, sino que es filtrada por un grupo RC ($10\text{ K}\Omega = 10\text{ KpF}$) y aplicada luego a la base del transistor AC 126.

El auricular constituye la carga de colector de ese transistor.



MATERIAL ADICIONAL REQUERIDO

Para realizar esta experiencia precisamos, además del material utilizado en la experiencia anterior, los siguientes elementos:

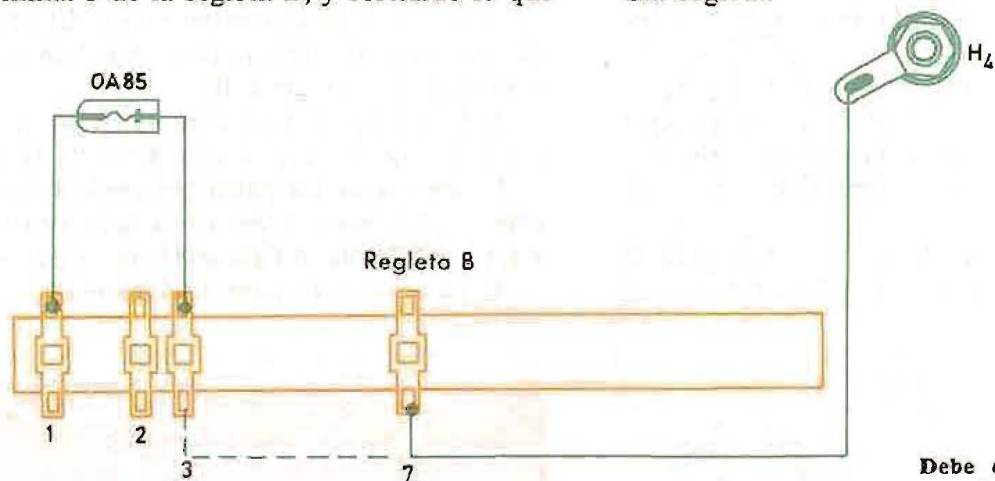
- 1 condensador de poliéster 10 KpF , 125 V .
- 1 condensador electrolítico $10\text{ }\mu\text{F}$, 6 V .
- 1 resistencia de carbón $8\text{ K}2\text{ }\Omega$, $0,33\text{ W}$.

- 1 resistencia de carbón $18\text{ K}\Omega$, $0,33\text{ W}$.
- 1 resistencia de carbón $100\text{ }\Omega$, $0,33\text{ W}$.
- 1 transistor AC 126 o equivalente.
- 1 pila $4,5\text{ V}$, tipo petaca.
- 1 banana roja.
- 1 banana negra.

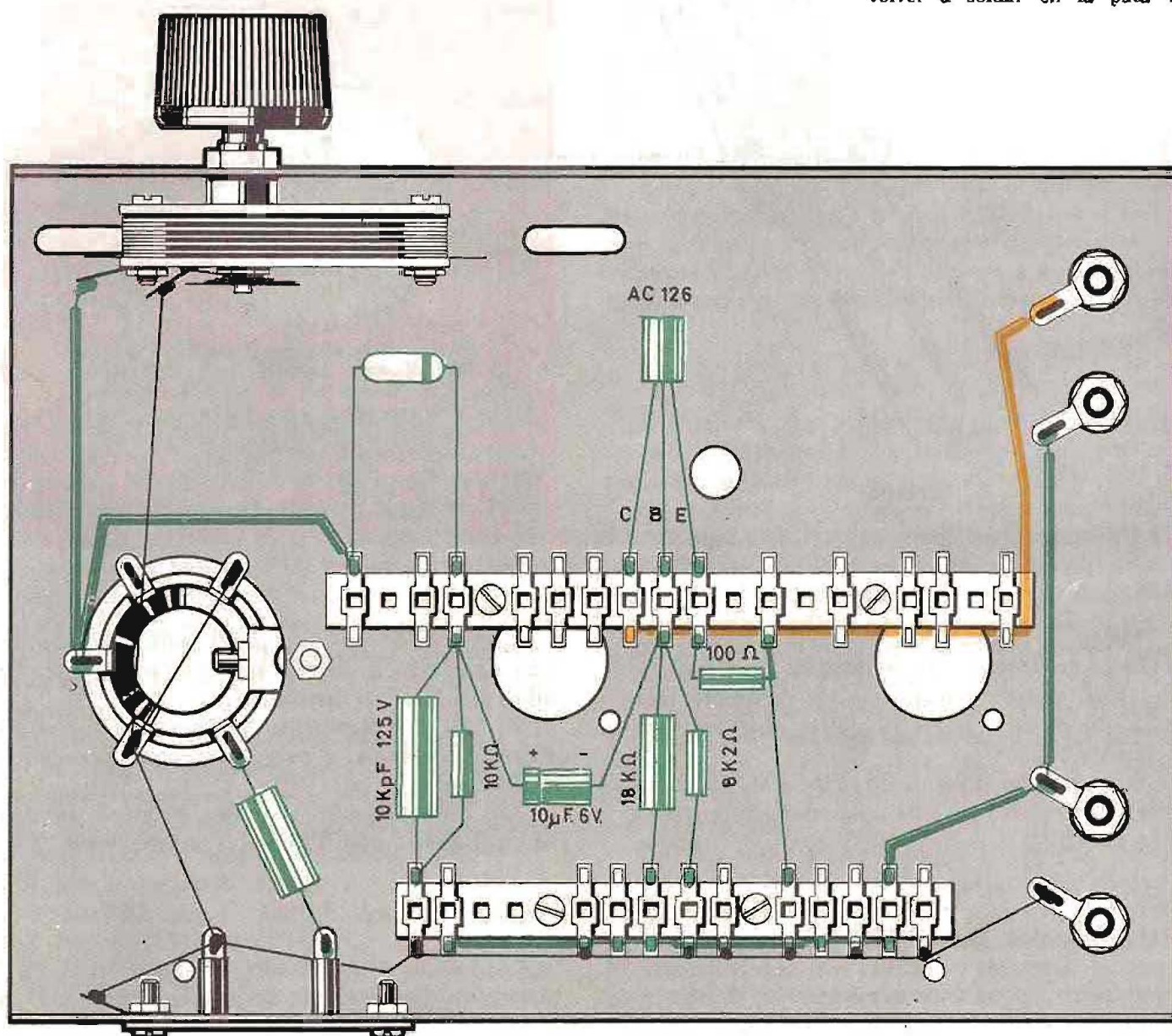
ALAMBRADO

1. Empezará por desoldar el hilo rojo conectado al terminal 3 de la regleta B, y cortando lo que

sobre lo soldará de nuevo al terminal 7 de la misma regleta.



Debe desoldar la conexión que va a la pata 3 de la regleta B y volver a soldar en la pata 7.



2. Conecte una resistencia de $10\text{ K}\Omega$, $0,33\text{ W}$ (marrón-negro-naranja), entre el terminal 3 (ns) de la regleta B y el terminal 1 (ns) de la regleta A.

3. Conecte un condensador de 10 KpF , 400 V , entre el terminal 3 (ns) de la regleta B y el terminal 1 (s) de la regleta A.

4. Conecte un condensador electrolítico de 10 mF , 6 V , entre el terminal 3 (s) de la regleta B y el terminal 3 (ns) de la misma regleta.

Advierta en el gráfico la polaridad correcta de ese condensador.

5. Conecte una resistencia de $18\text{ K}\Omega$, $0,33\text{ W}$ (marrón-gris-naranja), entre el terminal 8 (ns) de

la regleta B y el terminal 5 (s) de la regleta A.

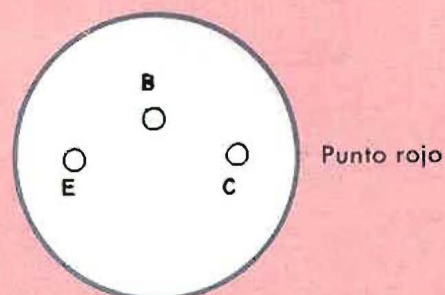
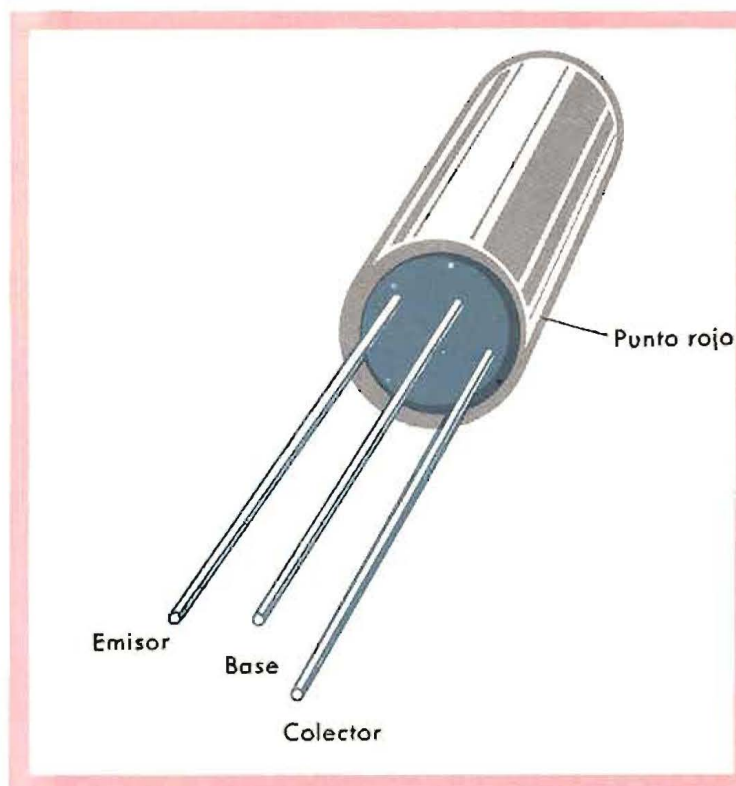
6. Conecte una resistencia de $8\text{ K}\Omega$, $0,33\text{ W}$ (gris-rojo-rojo), entre el terminal 8 (s) de la regleta B y el terminal 6 (s) de la regleta A.

7. Conecte una resistencia de $100\text{ }\Omega$, $0,33\text{ W}$ (marrón-negro-marrón), entre los terminales 9 (s) y 10 (ns) de la regleta B.

8. Con hilo de retención, conecte los terminales 10 (s) de la regleta B y 8 (s) de la regleta A.

9. Sin cortar las patas del transistor, suelde el colector, la base y el emisor a los terminales 7 (s), 8 (s) y 9 (s), respectivamente, de la regleta B.

Repetimos ¡No corte las patas!



Patillas de conexión del AC126. El colector está indicado por un punto rojo pintado en la cápsula. Observe que aun en el caso de que este punto rojo se hubiera borrado accidentalmente es fácil de identificar las patillas dada su distribución.

Tenga la precaución, mientras efectúa la soldadura, de sujetar los terminales del transistor con unas pinzas o unas alicates de punta plana para que el calor no se propague al interior y lo deteriore.

Con esto queda completo el montaje; pero este receptor requiere para su funcionamiento una tensión de $4,5\text{ V}$.

PUESTA EN MARCHA

Primero se cerciorará, repasando el montaje, de que no existe ninguna equivocación; y si es así

Esta tensión nos la suministrará una pila del tipo de petaca, a cuyos terminales soldará sendos hilos provistos de hembrillas.

El hilo y la hembrilla correspondientes al positivo serán rojos, y negros los correspondientes al negativo.

Los hilos deberán tener una longitud suficiente para que la pila no cuelgue del receptor.

conectará el auricular a las hembrillas H_4 y H_5 y la pila a las hembrillas H_2 y H_1 .

MUY IMPORTANTE

Si equivoca la polaridad de la pila destruirá el transistor. Tenga pues buen cuidado de conectar la banana roja a la hembrilla roja y la banana negra a la hembrilla negra.

Conectando ahora las bananas de antena y tierra, mueva el condensador variable. Si con el anterior receptor ha captado alguna emisora, ahora la percibirá con mayor nitidez; y si no lo ha conseguido por su situación excesivamente alejada de las estaciones de radio, es muy posible que el resultado sea ahora positivo.

PRUEBA CON EL GENERADOR

Para tener una idea clara de la mejora que este receptor representa con respecto al anterior haremos, como allí, uso del generador.

Aplicaremos a la entrada de antena una señal modulada de 900 Kc/s, y con el condensador variable sintonizaremos esa señal.

Si el atenuador de R.F. está, como en el caso anterior, totalmente vuelto a la derecha apreciaremos que la señal en el auricular es ahora mucho más potente, lo que indica que este receptor es *más sensible*.

EN CASO DE AVERIA

Si tanto las pruebas de captación de emisoras como la del generador dan resultados negativos, será preciso admitir que el receptor está averiado.

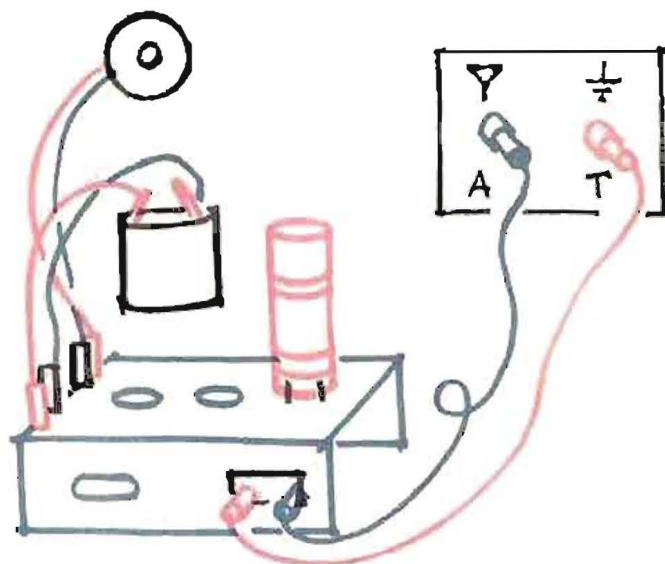
Este receptor se compone de dos pasos: *el detector y el amplificador de B.F.* El buen funcionamiento de cada uno de ellos puede comprobarse fácilmente con el generador.

Empezaremos por aplicar en el punto P una señal de B.F. Si el paso amplificador funciona correctamente, percibirá en el auricular la señal correspondiente.

Ello indicaría que la avería está localizada en el paso detector. Repasará usted con cuidado las conexiones correspondientes a la bobina, el diodo y el grupo RC ($10\text{ K}\Omega - 10\text{ KpF}$) y en última instancia procederá a sustituir el diodo.

Si, por lo contrario, no se percibe en el auricular la señal aplicada al punto P, deberá investigar en el paso de B.F.

En el esquema indicamos las tensiones e intensidades que pueden medirse con el polímetro en los diversos puntos del circuito.



Si a continuación movemos el índice transparente del generador a izquierda y a derecha de la marcación de 900 Kc/s, se podrá apreciar que prácticamente el sonido sigue percibiéndose entre 500 y 1500 Kc/s.

La *selectividad* sigue, por tanto, siendo mala.

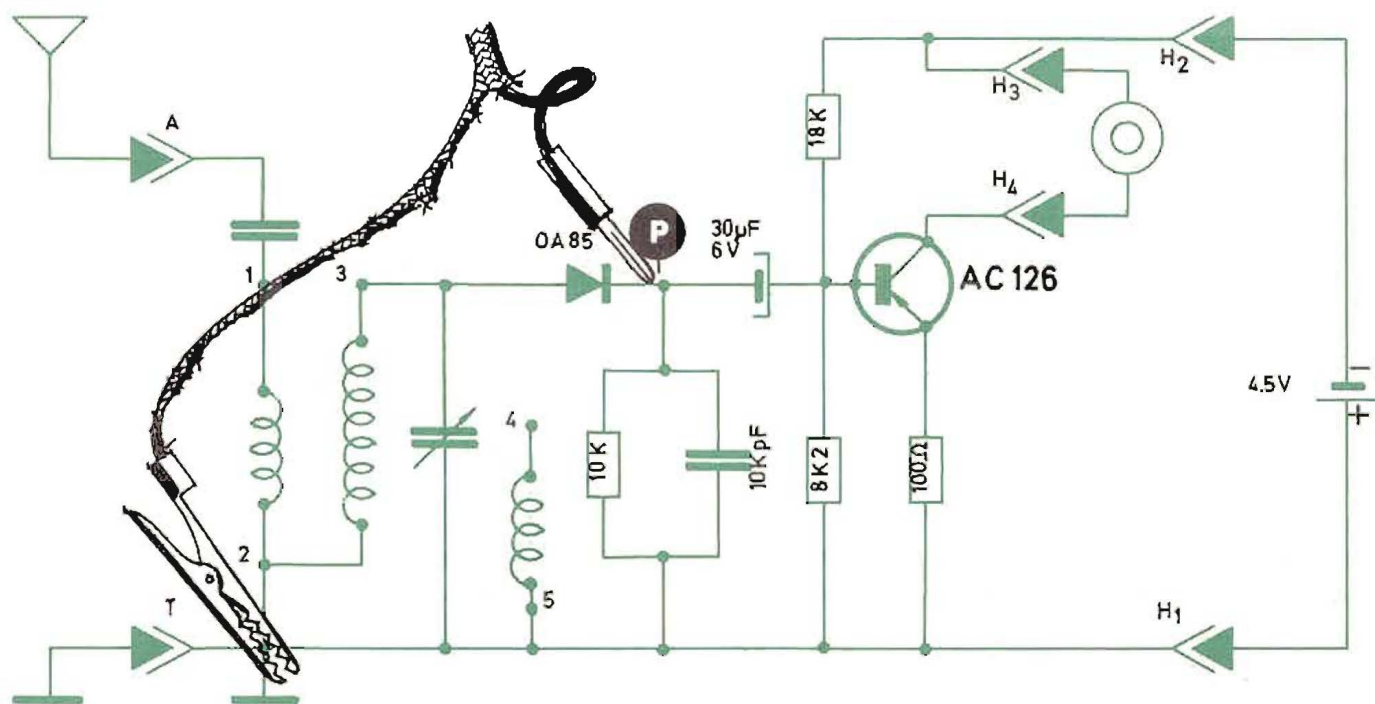
Este efecto podrán apreciarlo con claridad quienes estén situados en una localidad con más de una emisora potente: con este receptor les será difícil separar una emisora de otra y es probable que se mezclen los sonidos de dos emisiones.

Los valores que usted mida pueden apartarse en más o en menos de los indicados, pero no ser radicalmente distintos.

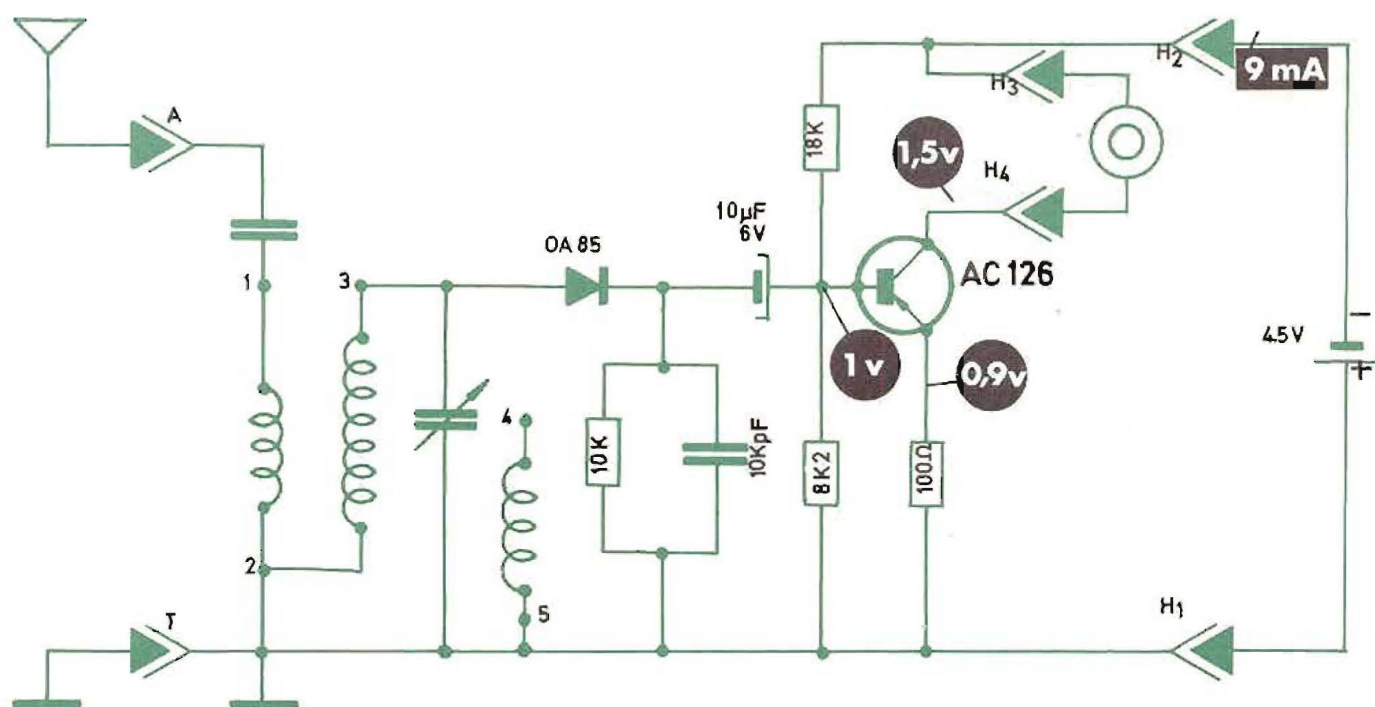
Así, por ejemplo, si en el colector usted mide una tensión próxima a cero en lugar de los 1'5 V indicados, es muy probable que el auricular no ofrezca continuidad; si en la base la tensión difiere mucho de 1 V deberá comprobar que las resistencias de $18\text{ K}\Omega$ y $8\text{ K}\Omega$ tienen el valor correcto y no están invertidas.

Especialmente importante es que, *en el caso de que todo el montaje sea correcto*, la d.d.p. entre emisor y colector sea de unos 0'6 V. Si esa d.d.p. fuese nula es casi seguro que el transistor está deteriorado.

En fin, como ya se dijo en las instrucciones de puesta en marcha del superheterodino AM-FM con válvulas, la reparación es más una cuestión de sentido común que de instrucciones prolijas. No dudamos que con ayuda del instrumental que usted posee le será relativamente fácil localizar cualquier defecto de este sencillo montaje.



Comprobando, con el generador, el funcionamiento de la parte de B.F.



Tensiones medidas con el polímetro AFHA. (Sensibilidad 1000 Ω/V .)

experiencia 3

RECEPTOR CON SELECTIVIDAD MEJORADA

La segunda experiencia nos ha conducido a un montaje cuya sensibilidad es mayor que la del primer receptor, pero cuya selectividad sigue siendo aproximadamente igual.

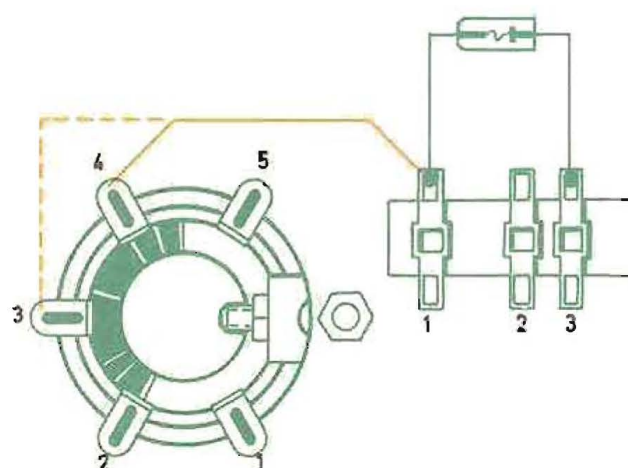
ALAMBRADO

Este receptor no requiere ningún material adicional y sólo precisa estas dos operaciones de alambrado:

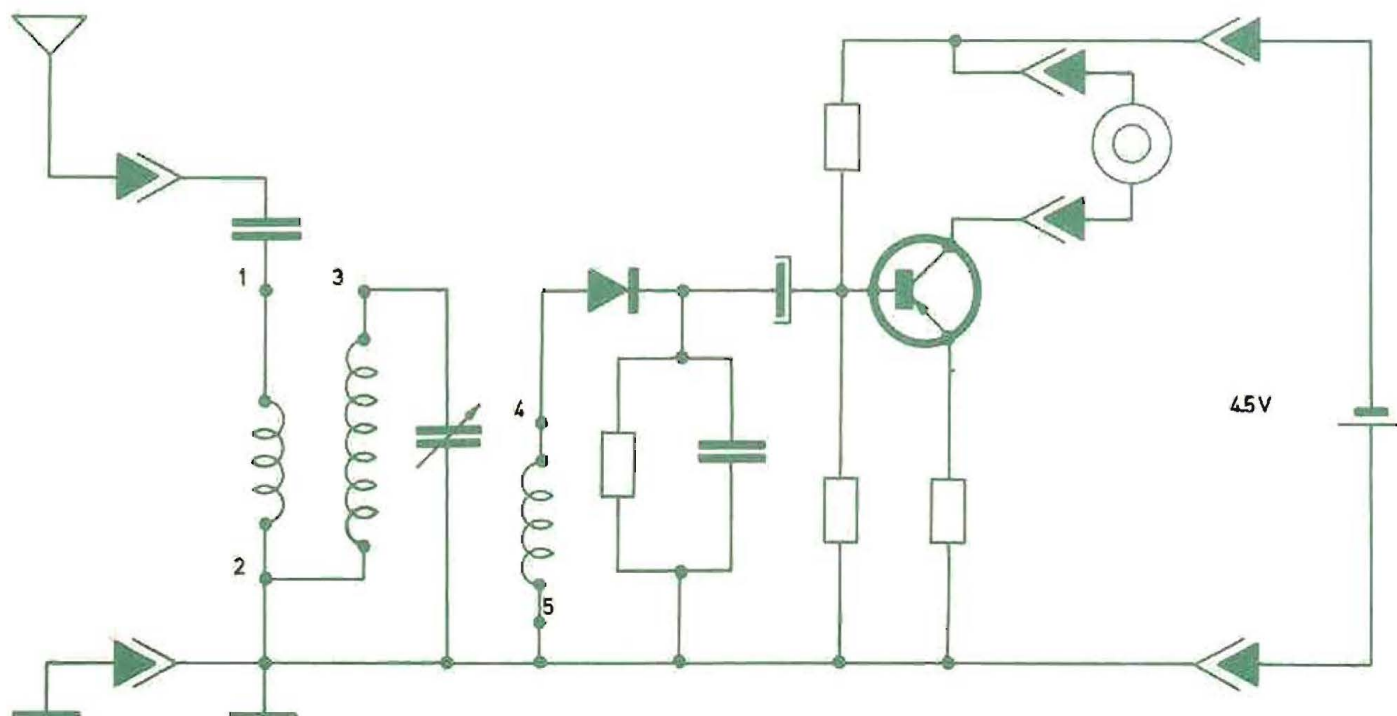
1. Desoldar de la pata 3 de la bobina el hilo que la conecta al terminal 1 de la regleta B.
2. Volver a soldar ese hilo a la pata 4 de la bobina.

Puede ver en el esquema adjunto el resultado de estas modificaciones. Como puede ver, todo se ha reducido a tomar la señal que se aplica al colector no del devanado de noventa espiras que forma parte del circuito resonante, sino del devanado de diez espiras.

El objeto de esta experiencia es obtener un receptor con mayor selectividad que los dos anteriores. Esto puede conseguirse modificando ligeramente el receptor anterior.



La única operación de alambrado que requiere este receptor es desoldar la conexión que va a la pata 3 de la bobina y volverla a soldar en la 4.



PRUEBA CON EL GENERADOR

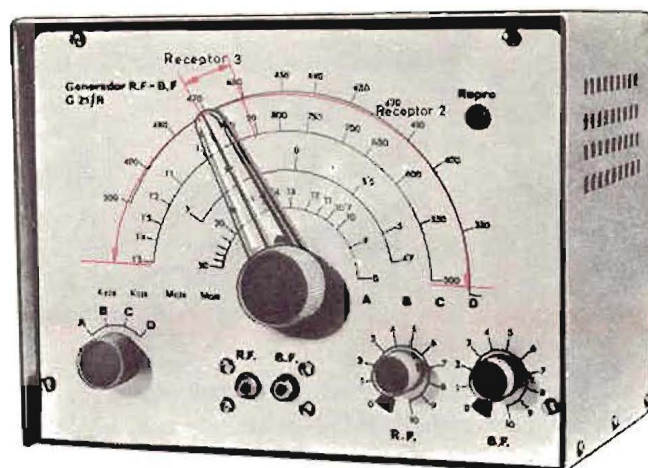
Si con este receptor y con ayuda del generador de R.F. repetimos las pruebas efectuadas en la experiencia anterior, comprobaremos que:

1. Al sintonizar con el condensador variable la señal de 900 Kc/s la señal percibida en el auricular es menos potente que en el caso anterior. (Suponemos que, como en ese caso, el atenuador de R.F. está completamente vuelto a la derecha.)

La primera conclusión es, pues, que este receptor es menos sensible que el anterior.

2. La señal que en los dos receptores anteriores seguía percibiéndose al girar el índice transparente del generador entre 500 y 1500 Kc/s prácticamente desaparece ahora entre 850 y 950 Kc/s.

La selectividad ha quedado, pues, extraordinariamente mejorada.



POR QUE AUMENTA LA SELECTIVIDAD

La explicación de la pérdida de sensibilidad es clara, puesto que la señal tiene mucha menos amplitud en el devanado de diez espiras que en el de noventa.

Si a un circuito resonante se le conecta en paralelo una resistencia, el ancho de banda queda aumentado tanto más cuanto más pequeño es el valor de esa resistencia en comparación con la impedancia del bobinado.

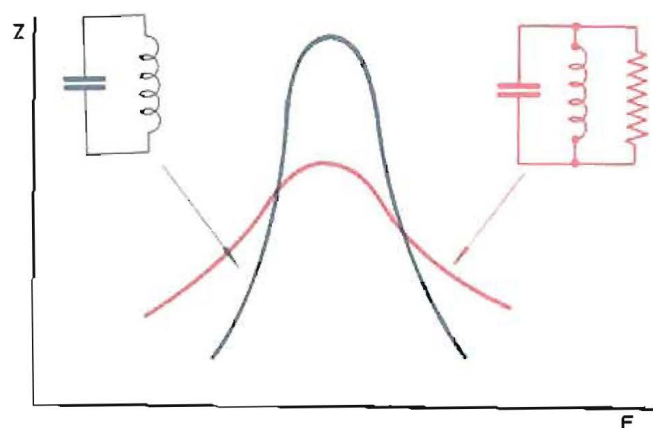
Pues bien, el diodo, el grupo RC y el propio paso amplificador de B.F., conectados al circuito resonante, tienen sobre éste el mismo efecto que una resistencia de valor comparativamente bajo

puesta en paralelo con él: reducir la selectividad.

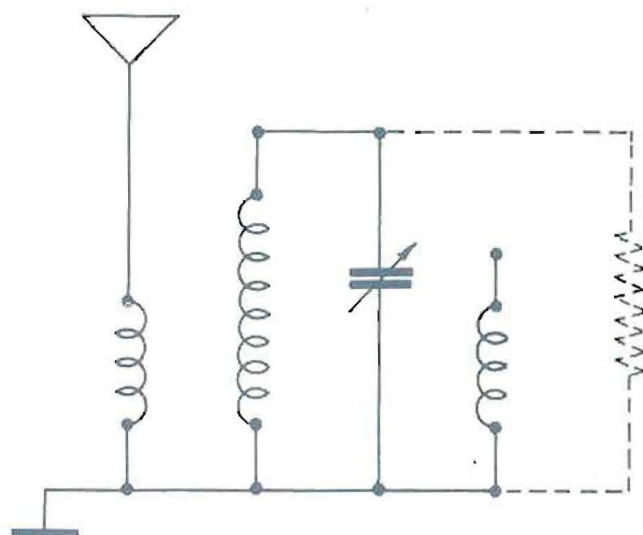
El resultado es que el circuito queda muy amortiguado y su selectividad propia muy reducida.

En cambio, al conectar el devanado de diez espiras, dada la pequeña impedancia de éste, el efecto de amortiguamiento introducido por la resistencia a que equivale al resto del receptor es muy pequeño y la selectividad es prácticamente la propia del circuito oscilante.

Nada diremos acerca de la puesta en marcha de este receptor, pues sería repetir las instrucciones dadas en la experiencia anterior.



Al conectar en paralelo una resistencia con un circuito resonante disminuye el factor de calidad de este último y en consecuencia aumenta el ancho de banda.



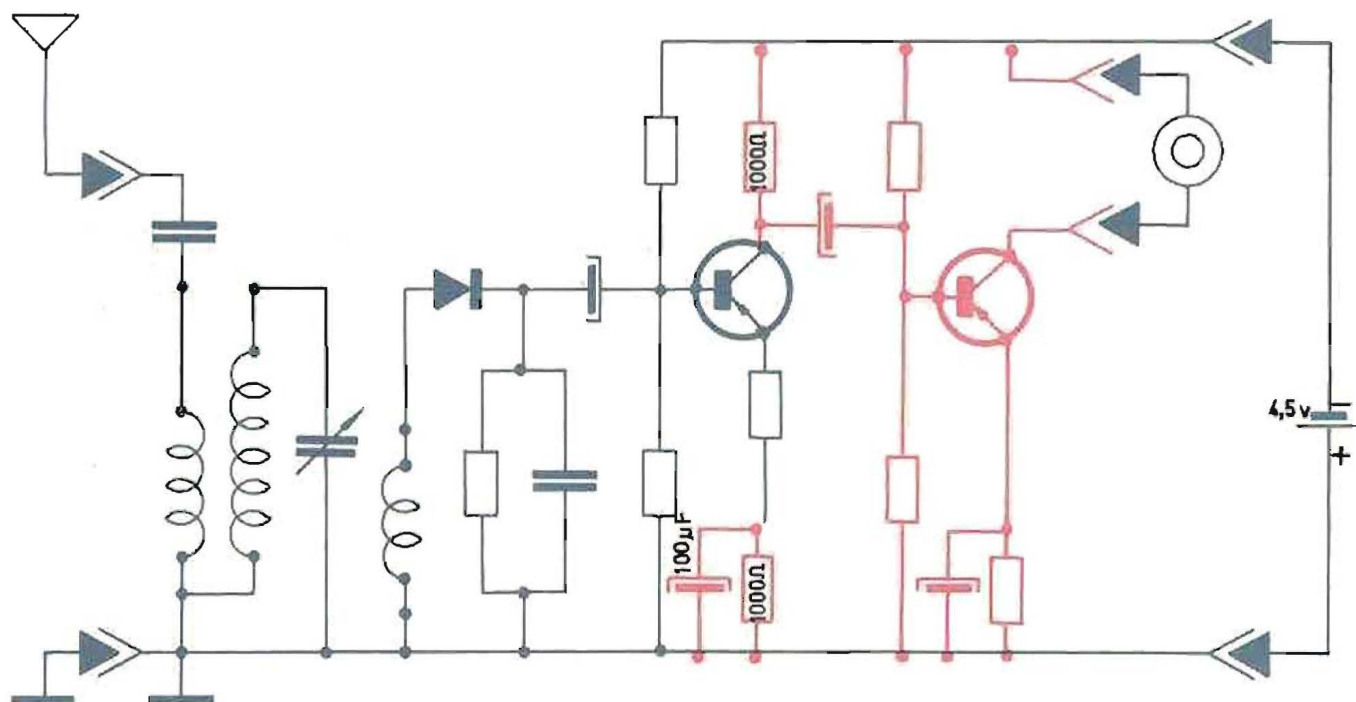
El conjunto del receptor actúa sobre el circuito resonante como una resistencia que reduce su selectividad propia.

experiencia 4

RECEPTOR CON LA SENSIBILIDAD Y LA SELECTIVIDAD MEJORADAS

Se trata ahora de añadir al receptor anterior un nuevo paso amplificador para conseguir una mayor sensibilidad conservando su buena selectividad.

En el esquema puede ver, en rojo, los elementos añadidos al receptor anterior. En esencia lo que se ha hecho es añadir un nuevo paso amplificador de B.F.



MATERIAL ADICIONAL REQUERIDO

- 1 resistencias de carbón $1\text{ K}\Omega$, 0'33 W.
- 1 resistencia de carbón $8\text{K}2\ \Omega$, 0'33 W.
- 1 resistencia de carbón $18\text{ K}\Omega$, 0'33 W.
- 1 resistencia de carbón $100\ \Omega$, 0'33 W.

- 2 condensadores electrolíticos de $100\ \mu\text{F}$, 6 V.
- 1 condensador electrolítico de $10\ \mu\text{F}$, 6 V.
- 1 transistor AC 126 o AC 125.

ALAMBRADO

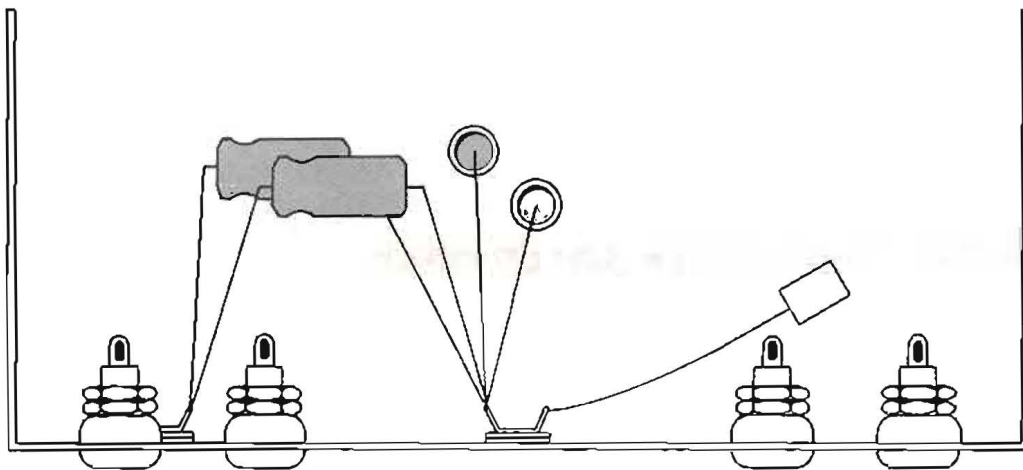
1. Desoldar el conductor rojo que va al terminal 7 de la regleta B. Corte lo que sobre y suelde de nuevo al terminal 11 de la misma regleta.

2. Conecte una resistencia de $1\text{ K}\Omega$ (marrón-negro-rojo) entre el terminal 7 (ns) de la regleta B y el terminal 4 (s) de la regleta A.

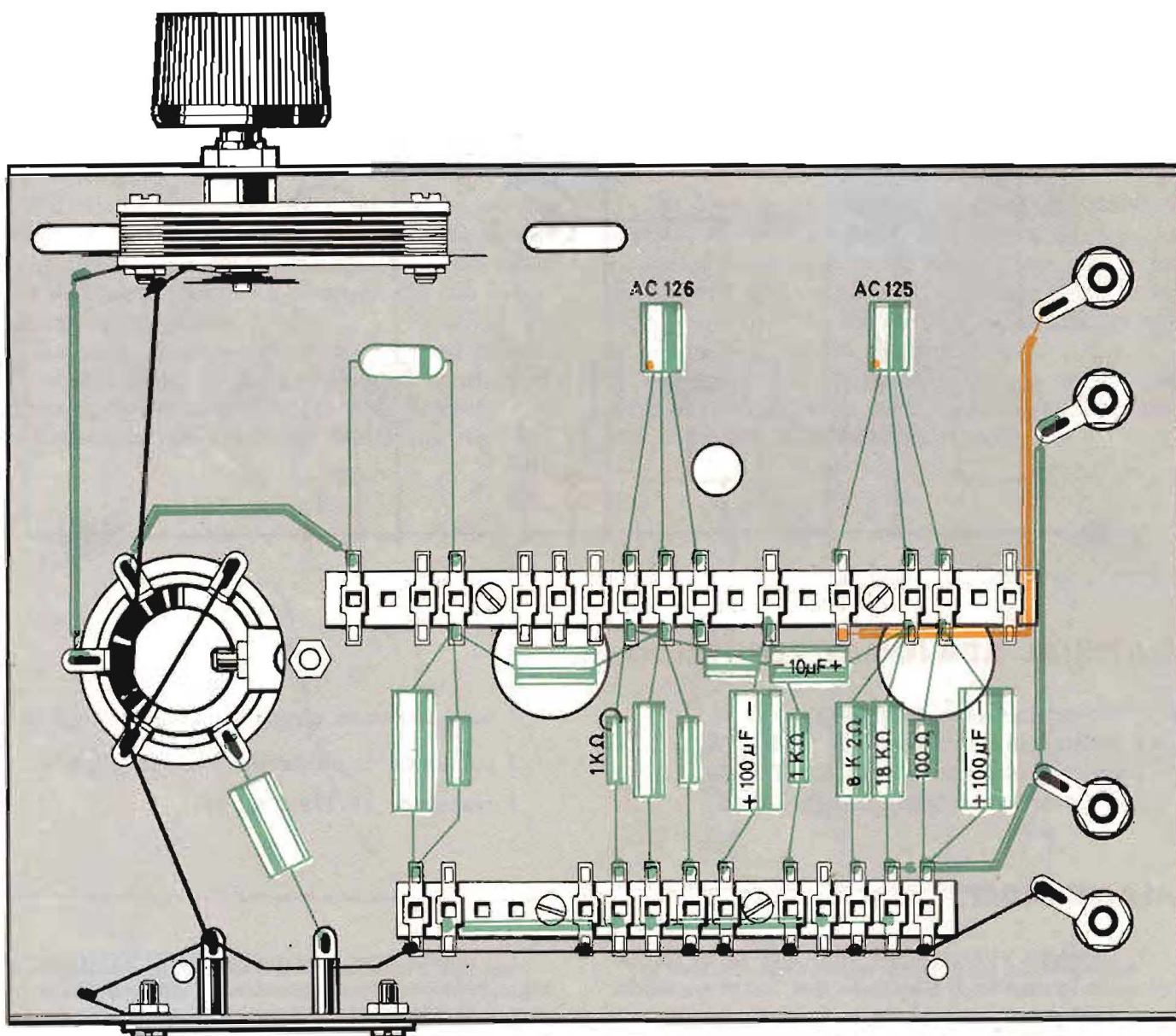
3. Elimine el puente efectuado entre el terminal 10 de la regleta B y el terminal 8 de la regleta A.

4. Conecte un condensador de $100\ \mu\text{F}$, 6 V, en-

tre el terminal 10 (ns) de la regleta B y el terminal 7 (s) de la regleta A. No corte las patillas de este condensador y observe la polaridad en el gráfico.



Observe la disposición de los condensadores electrolíticos en el montaje.



5. Conecte una resistencia de $1\text{ K}\Omega$ (marrón-negro-rojo) entre el terminal 10 (s) de la regleta B y el terminal 8 (s) de la regleta A.

6. Conecte una resistencia de $8\text{ K}\Omega$ (gris-rojo-rojo) entre el terminal 12 (ns) de la regleta B y el terminal 10 (s) de la regleta A.

7. Conecte una resistencia de $18\text{ K}\Omega$ (marrón-gris-naranja) entre el terminal 12 (ns) de la regleta B y el terminal 11 (s) de la regleta A.

8. Conecte una resistencia de $100\text{ }\Omega$ (marrón-negro-marrón) entre el terminal 13 (ns) de la regleta B y el terminal 12 (ns) de la regleta A.

9. Conecte un condensador de $100\text{ }\mu\text{F}$, 6 V , entre el terminal 13 (s) de la regleta B y el terminal 12 (s) de la regleta A. Tenga en cuenta no cortar las patillas del condensador y conectarlo con la polaridad correcta.

10. Conecte un condensador electrolítico de

$10\text{ }\mu\text{F}$, 6 V , entre el terminal 7 (s) de la regleta B y el terminal 12 (s) de la misma regleta.

11. Suelde las patillas del colector, base y emisor del transistor a los terminales 11 (s), 12 (s) y 13 (s) respectivamente de la regleta B.

Tome en esta operación todas las precauciones ya indicadas anteriormente y observe, sobre todo, que aunque ya anteriormente se han soldado diversos elementos a los terminales 11, 12 y 13 de la regleta B, para conectar el transistor se han utilizado los ojales exteriores de esos terminales en los que no se había efectuado todavía soldadura alguna.

Después de esa última operación el receptor queda listo para su puesta en marcha; antes, sin embargo, debe usted repasar una por una todas las operaciones y comprobar además que corresponden a lo que el esquema teórico indica.

PUESTA EN MARCHA Y PRUEBA CON EL GENERADOR

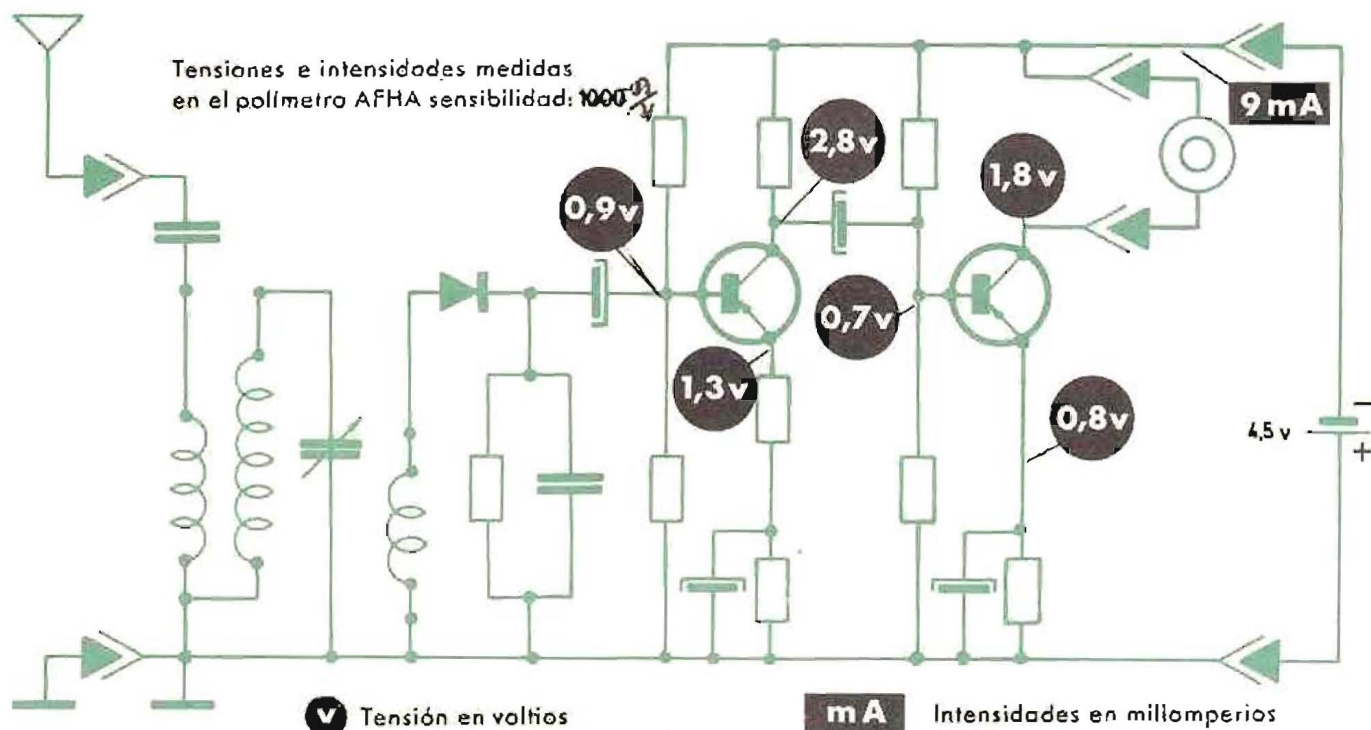
La puesta en marcha se limita, como en el caso anterior, a conectar el auricular y la pila a las hembrillas correspondientes y las bananas de antena y tierra a la plaquita A-T.

Con un receptor de este tipo es posible, con una buena antena exterior, captar y separar las cuatro o cinco emisoras que lleguen con mayor potencia al punto de recepción.

Si repetimos con este receptor la prueba del generador que hemos efectuado sobre los anteriores, podremos comprobar que la señal de 900 Kc/s

se capta ahora con mayor potencia que en todos los casos anteriores, y que la señal desaparece al desplazar el índice transparente del generador hacia la derecha de la marcación de 850 Kc/s o de la izquierda de 950 Kc/s . Resumiendo, tanto la sensibilidad como la selectividad son ahora comparativamente buenas.

Repetimos aquí el esquema del receptor, indicado las tensiones que pueden medirse en los diversos electrodos y el consumo total del aparato.



ALGUNAS CONSIDERACIONES ACERCA DEL ESQUEMA

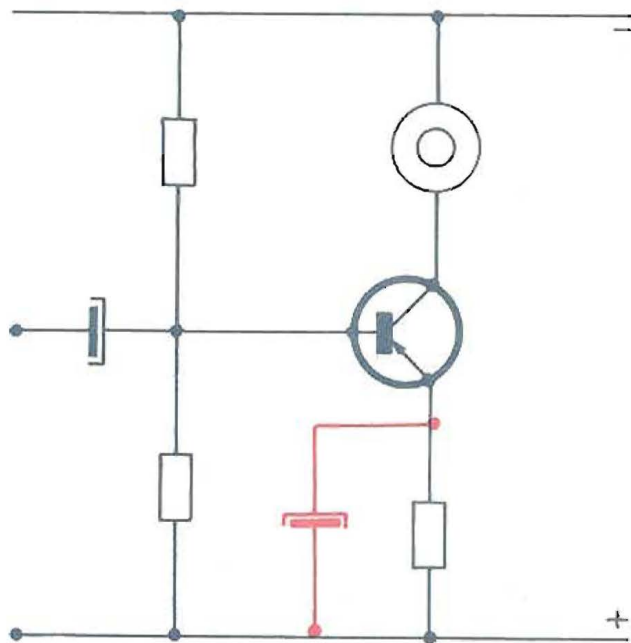
Observando el primer esquema que incluimos en la descripción de esta experiencia puede comprobar cómo el paso de salida (parte dibujada en rojo) coincide con el paso de salida del receptor anterior, salvo en el hecho de que aquí la resistencia de $100\ \Omega$ del emisor está desacoplada por un condensador electrolítico de $100\ \mu\text{F}$.

Pues bien; si en el emisor se coloca únicamente la resistencia, introduce un cierto grado de realimentación negativa que por un lado tiene el inconveniente de disminuir la ganancia del paso amplificador pero por otro aumenta la resistencia de entrada. Ya hemos indicado que para obtener buena selectividad conviene que esa resistencia sea lo más elevada posible, pues de lo contrario amortigua excesivamente el circuito selector.

Como en el caso presente hay un paso preamplificador entre el detector y el paso de salida, el amortiguamiento introducido es despreciable. Se ha preferido ganar en sensibilidad añadiendo el condensador de desacoplo que elimina la realimentación negativa.

En el paso preamplificador, en cambio, hemos conservado, por la razón indicada, la resistencia de $100\ \Omega$ sin desacoplar; pero al haber cambiado la carga del colector (resistencia de $1000\ \Omega$ en lugar del auricular) ha sido preciso modificar la

resistencia del emisor a fin de conservar el punto de trabajo en una zona lineal. A este fin hemos añadido una resistencia de $1000\ \Omega$ desacoplada por un condensador.



La inclusión del condensador electrolítico en el circuito aumenta la ganancia del paso y disminuye su impedancia de entrada.

* * * *

PEQUEÑA EMISORA EXPERIMENTAL

Vamos a ver ahora cómo el receptor de la cuarta práctica puede convertirse, con un limitado número de modificaciones, en una pequeña emisora

MATERIAL ADICIONAL

- 1 potenciómetro de 10 K Ω .
- 1 resistencia de 470 K Ω , 0'33 W.
- 2 resistencias de 1 K Ω , 0'33 W.
- 1 condensador cerámico 100 pF.

MONTAJE Y ALAMBRADO

Las operaciones de montaje se reducen a situar el potenciómetro en uno de los orificios frontales de chasis, tal como se indica en los gráficos.

En cuanto a las operaciones de alambrado, las efectuará siguiendo este orden:

1. Elimine el puente que hay entre los terminales 2 y 5 de la bobina y el que hay entre las hembrillas H₂ y H₃.

2. Retire del montaje el diodo 0A85 y los dos condensadores de 10 μ F, 6 V.

3. Conecte al terminal 2 de la regleta B el hilo que en el montaje anterior iba al terminal 1 de la misma regleta.

4. Retire la resistencia de 10 K Ω situada entre el terminal 3 de la regleta B y el terminal 1 de la regleta A.

5. Conecte una resistencia de 470 K Ω (amarillo-violeta-amarillo) entre el terminal 3 (s) de la regleta B y el terminal 2 (s) de la regleta A.

6. Conecte un condensador de 4K7 pF entre el terminal 6 (ns) de la regleta B y el terminal 3 (s) de la regleta A.

7. Conecte un condensador de 100 pF entre el terminal 3 (s) del condensador variable y el terminal 4 (ns) de la regleta B.

8. Conecte la bobina de 25 mH entre el terminal 4 (s) de la regleta B y el terminal 5 (ns) de la misma regleta.

9. Con hilo de retención, efectúe un puente entre los terminales 5 (s), 6 (s) y 7 (s) de la regleta B.

10. Con hilo de conexión verde, conecte la patilla 5 (s) de la bobina con el terminal 10 (s) de la regleta B.

11. Desuelda el hilo rojo conectado al terminal 11 de la regleta B y conéctelo de nuevo a la hem-

brilla H₁ (s), sustituyéndolo por otro más largo si es preciso.

12. Conecte una resistencia de 1 K Ω (marrón-negro-rojo) entre el terminal 11 (ns) de la regleta B y el terminal 9 (s) de la regleta A.

13. Sustituya la resistencia de 100 Ω (marrón-negro-marrón) conectada entre el terminal 13 de la regleta B y el 12 de la regleta A por otra de 1 K Ω (marrón-negro-rojo).

14. Conecte un condensador electrolítico de 10 μ F, 6 V, entre el terminal 8 (s) de la regleta B y el terminal 11 (s) de la misma regleta.

Observe la polaridad en el gráfico.

15. Conecte un condensador electrolítico de 10 μ F, 6 V, entre el terminal 12 (s) de la regleta B y el terminal 14 (s) de la misma regleta.

Observe la polaridad en el gráfico.

16. Con hilo de conexión verde, conecte el terminal 14 (s) de la regleta B y el terminal 2 (s) del potenciómetro.

17. Con hilo de conexión rojo, conecte el terminal 1 (s) del potenciómetro con la hembrilla H₄.

18. Con hilo de conexión verde, conecte el terminal 3 (s) del potenciómetro con la hembrilla H₃ (s).

19. Conecte el emisor, la base y el colector del AF115 a los terminales 2 (s), 3 (s) y 4 (s) de la regleta B.

Deje al aire la conexión correspondiente a la cápsula de ese transistor.

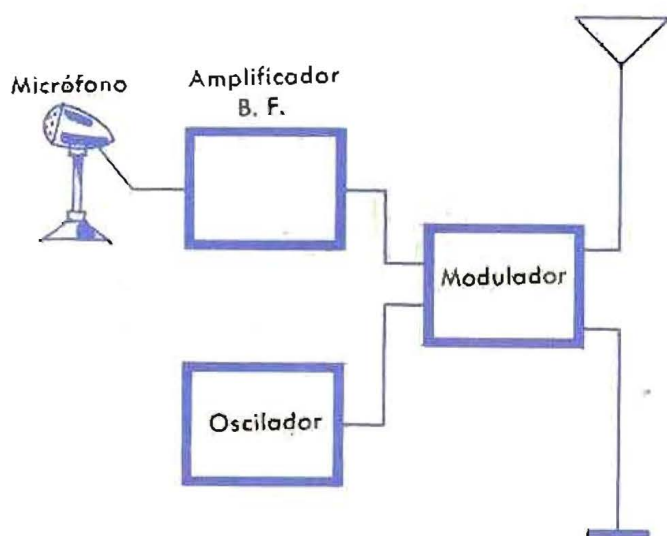
Con esto queda terminada y lista para ser puesta en marcha la pequeña emisora objeto de esta experiencia. En la figura inmediata puede ver el esquema correspondiente. Sobre él vamos hacer algunos comentarios para que comprenda como funciona.

COMO FUNCIONA LA EMISORA

En la figura queda indicada la constitución básica de una emisora. Consta, como se ve, de un oscilador que se encarga de generar la portadora, de un amplificador de B.F. cuya función es aumentar el nivel de las señales del micrófono o tocadiscos y de un *modulador* cuya función es variar la amplitud de la señal de B.F.

Pues bien, sin dificultad puede usted identificar en el esquema la parte amplificadora de B.F. constituida por los dos pasos equipados con los transistores AC125 y AC126.

El oscilador está equipado con el transistor AF 115.



Constitución básica de un emisor.

variarse haciendo girar el eje del condensador variable.

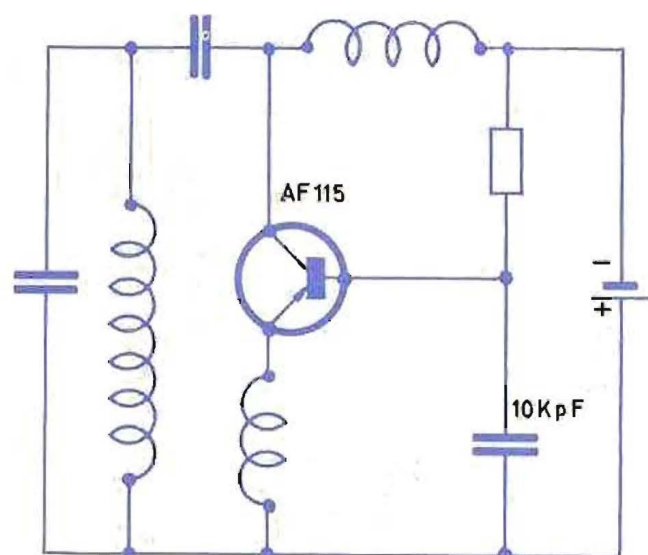
Por lo que se refiere a la modulación, usted advertirá que la alimentación del colector del AF 115 no se toma directamente de la batería, sino del colector del último paso amplificador de B.F. De esta forma la tensión de alimentación del oscilador es variable de acuerdo con los sonidos que se pretende transmitir; y como la amplitud de la señal generada por el oscilador depende de esa tensión de alimentación, resulta que la portadora queda modulada.

La modulación se efectúa tomando la tensión de alimentación del AF115 a partir del colector del AC126.

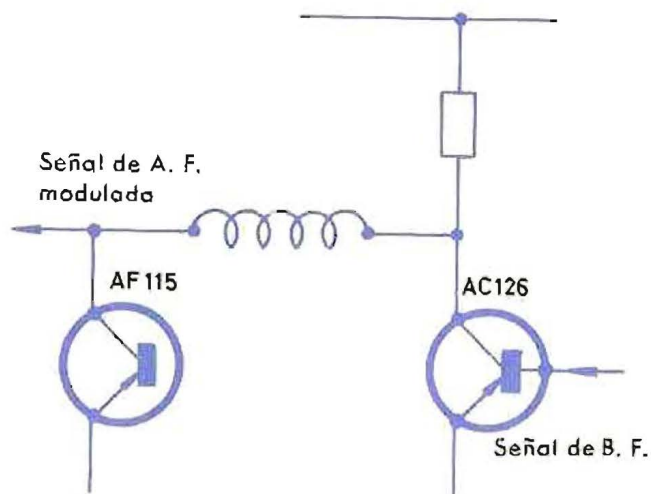
Su esquema básico es el que representa la figura próxima. El colector se alimenta a través de la bobina de 25 mH, que ofrece muy poca resistencia a la corriente continua pero que representa prácticamente un circuito abierto para las señales de alta frecuencia.

El circuito oscilante acoplado al colector mediante el condensador de 100 pF constituye la carga de ese electrodo; la realimentación positiva necesaria para mantener la oscilación se consigue mediante el devanado de diez espiras intercalado en el circuito del emisor.

Naturalmente, la frecuencia de oscilación puede



El circuito oscilador está constituido por un transistor con montaje de base común. La realimentación se inyecta en el emisor.

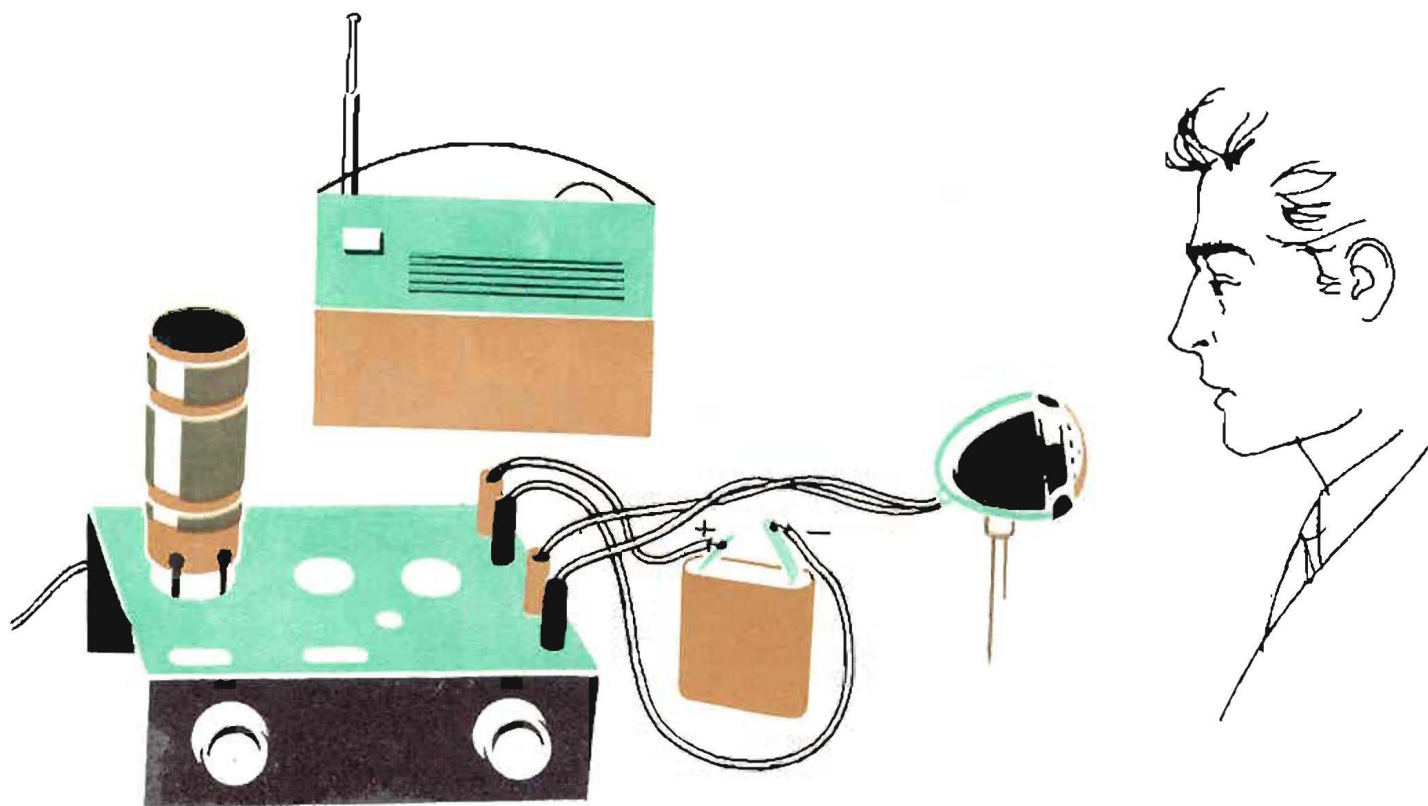


PUESTA EN MARCHA

Para verificar el funcionamiento de esta pequeña emisora precisamos del concurso de un receptor, que puede ser el que hemos descrito en el tomo anterior u otro cualquiera capaz de sintonizar con sensibilidad suficiente la gama de ondas medias. (Un portátil de transistores puede ser suficiente.)

Empezaremos por poner en marcha este receptor, con el control de volumen bastante abierto y la aguja de sintonía situada hacia la parte central del cuadrante (900 a 1200 Kc/s) en una posición en que no se capte ninguna emisora.

Conectaremos luego la pila a las hembrillas H_1 y H_2 y la banana de tierra al borne correspon-



diente de la plaquita A-T. En el borne de la antena bastará con conectar un hilo de unos 50 cm. de largo. (No conecte la antena exterior.)

Al mover el botón del condensador variable de la emisora encontraremos una posición en que el receptor emite un soplido que indica que ha sintonizado la portadora. Ello es señal de que el oscilador funciona perfectamente.

Para hacer pruebas de transmisión de voz precisamos un micrófono, que deberá conectarse a las hembrillas H_3 y H_4 . De no tener a mano ese micrófono puede utilizarse en su lugar un altavoz dinámico de 4 1/2 pulgadas conectando los terminales de la bobina móvil a las mencionadas hembrillas.

Al hablar frente a la membrana de ese altavoz, ésta se desplaza arrastrando la bobina móvil, en la que se inducen las tensiones correspondientes.

Cuando se hable, pues, frente a ese improvisado

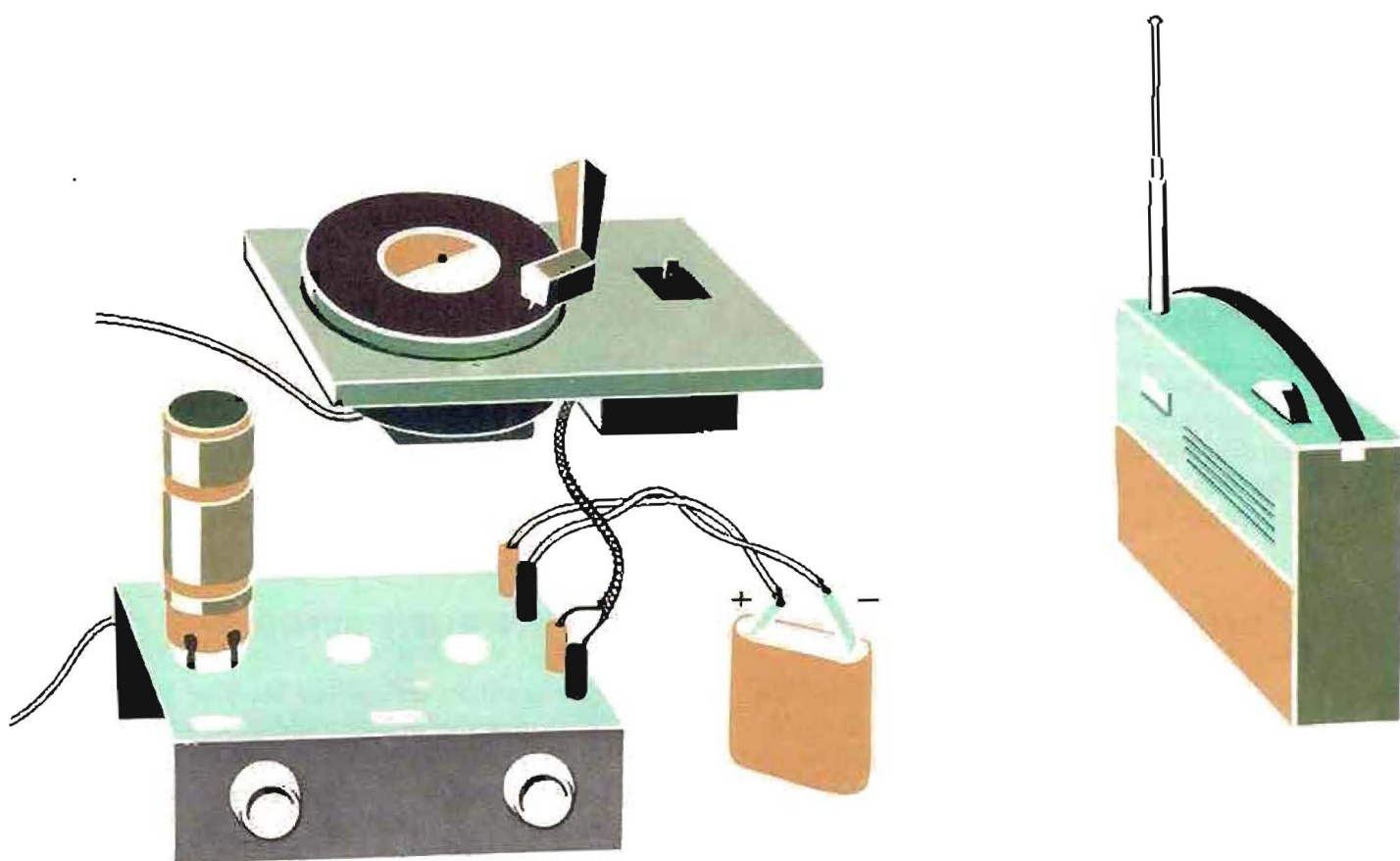
micrófono la voz se reproduce en el altavoz del receptor.

Es preciso tener cuidado de que los sonidos que produce el receptor no lleguen al altavoz que estamos utilizando en funciones de micrófono, pues se produciría realimentación acústica y el receptor produciría un aullido continuo.

Para hacer esta prueba lo mejor es situarse con la emisora en una habitación contigua a aquella en que está situada el receptor.

También podemos transmitir música conectando a las hembrillas H_3 y H_4 el cable de salida del brazo fonocaptor de un tocadiscos. El nivel de la señal se regulará con el potenciómetro para no saturar el amplificador.

Tenga bien en cuenta que la calidad de la transmisión será mediocre tanto en un caso como en otro, pues los medios puestos en juego son rudimentarios.



Hemos de hacerle una observación importante:

Esta pequeña emisora transmite en la gama en ondas medias; y aunque su potencia es muy pequeña, puede usted interferir algún

receptor vecino. Límitese, pues, a hacer la experiencia; y una vez haya comprobado su funcionamiento, desmonte el conjunto, ya que la transmisión por radio sólo pueden efectuarla personas legalmente autorizadas.



COMPROBACION DE TRANSISTORES Y DIODOS

Hemos indicado en una experiencia anterior que si un transistor está averiado, ello puede deducirse porque las tensiones de los electrodos son distintas de las que corresponden a un funcionamiento correcto. Sin embargo, dado que el valor

de esas tensiones puede quedar alterado a causa del mal funcionamiento de otros elementos del circuito que no sea el transistor, conviene que podamos comprobar el buen estado de éstos con independencia del resto del montaje.

COMO DETERMINAR SI UN TRANSISTOR ESTA EN BUEN ESTADO

Sabemos básicamente que el transistor es un elemento semiconductor formado por dos uniones PN y provisto de tres electrodos: emisor, base y colector.

Si el transistor está en buen estado toda variación de corriente en el circuito base-emisor (I_{BE}) aparece amplificada varias veces en el circuito colector-emisor (I_{CE}).

Para conseguir este resultado es preciso, según sabemos, aplicar a los tres electrodos tensiones que polaricen la unión emisor-base en sentido directo y la unión colector-base en sentido inverso.

Pues bien; disponiendo de dos pilas, un miliamperímetro y una resistencia variable podemos efectuar con un transistor tres pruebas que nos den una idea cabal de su funcionamiento:

1. Utilizando las dos pilas polarizaremos la

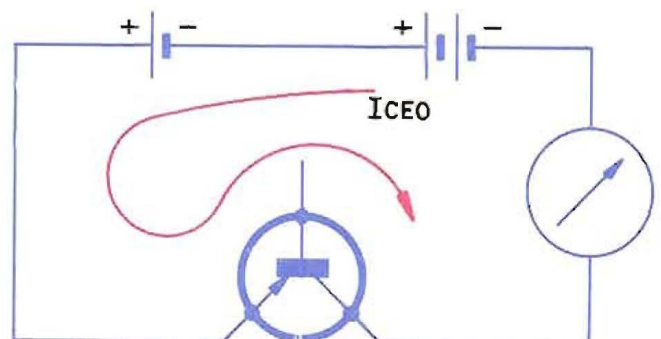
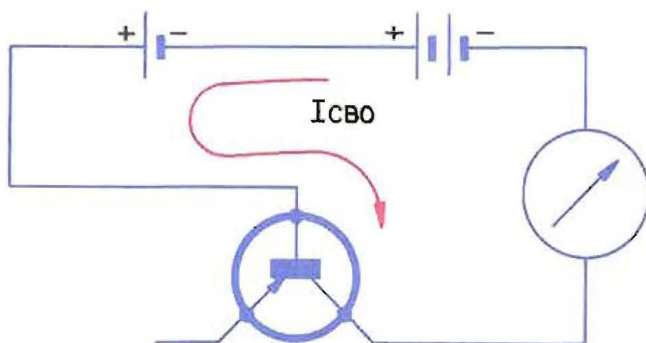
unión colector-base en sentido inverso. Intercalando el galvanómetro, el valor indicado debe ser pequeño, de algunos microamperios para los transistores de pequeña potencia, y corresponde a la intensidad de fuga de esa unión.

Se la designa por I_{CBO} .

2. Modificaremos el montaje anterior conectando al positivo de la pila el emisor en lugar de la base.

Con esto resulta que la corriente de base I_{CBO} atraviesa ahora la unión base-emisor, y por tanto resulta amplificada en el circuito colector-emisor en un factor que puede designarse por β .

La corriente medida por el galvanómetro en estas circunstancias es, pues, la de fuga base-colector; es decir, I_{CBO} , más el valor amplificado de esa corriente; es decir $\beta \times I_{CBO}$.

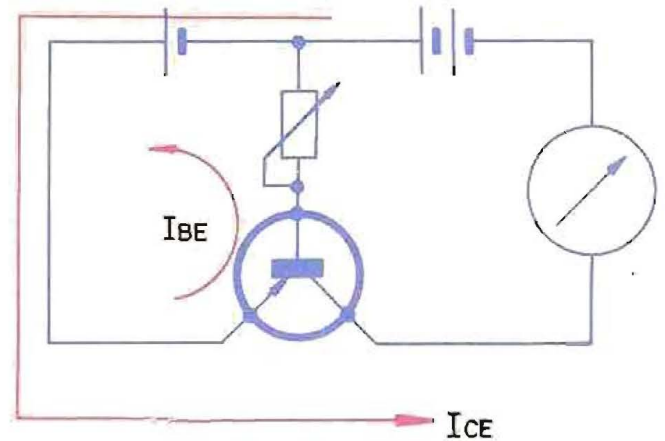


En total, la corriente medida por el galvanómetro es $I_{CBO} + \beta \times I_{CBO} = (\beta + 1) I_{CBO}$. Como β suele ser mucho mayor que 1, podemos admitir que el valor medido es simplemente $\beta \times I_{CBO} = I_{CEO}$.

En resumidas cuentas, esta medida sirve para estimar la ganancia de corriente del transistor.

3. Montando el circuito que indica la figura podremos añadir a la corriente I_{CBO} que circula a través de la unión base-emisor una corriente regulada por la resistencia R . Variando el valor de R deberá variar la intensidad a través del galvanómetro.

Con ello puede estimarse el factor β del transistor para distintos valores de la intensidad del colector.



COMPROBADORES DE TRANSISTORES

Para efectuar esas y otras comprobaciones sobre los transistores se utilizan los llamados COMPROBADORES DE TRANSISTORES. Básicamente están constituidos por los elementos indicados en el apartado anterior y algunos otros, tales como conmutadores, por ejemplo, que efectúan las diversas medidas con mayor comodidad.

El mayor o menor número de accesorios que puede poseer el aparato y la mayor o menor precisión con que puede convenir efectuar las medidas, hacen que en el mercado exista una extensa gama de comprobadores cuyo precio está en con-

sonancia con sus características y posibilidades.

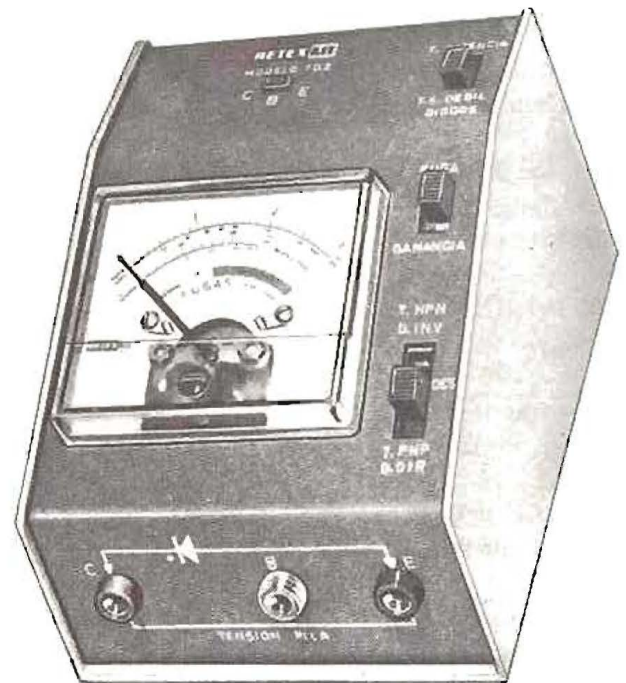
Las fotografías próximas, que corresponden a dos realizaciones comerciales, pueden servir de ejemplo.

Sin embargo, podemos realizar la comprobación de los transistores empleados en las experiencias anteriores sin necesidad de desembolsar el importe de uno de esos aparatos.

Ello es posible porque casi todos los elementos que se precisan para la comprobación están contenidos en el tester que se describía en las lecciones anteriores.



Comprobador de transistores Philips.



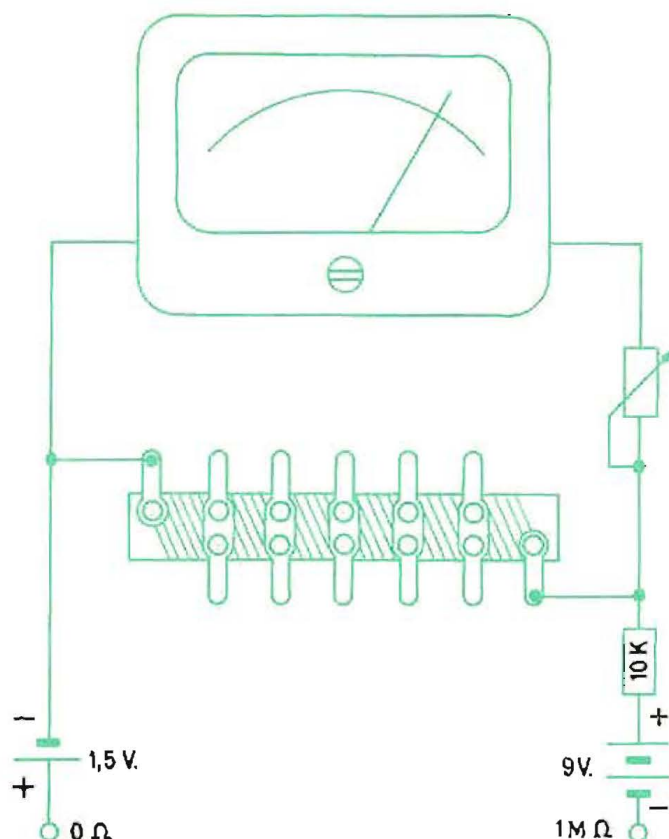
Comprobador de transistores Retex.

Si suponemos, en efecto, que el conmutador está en la posición Ω entre la hembrilla 0Ω y la hembrilla $1 M\Omega$, el circuito es el que indica la figura, que como se ve coincide prácticamente con el que indicábamos para efectuar las medidas 1.ª y 2.ª. La única diferencia digna de tenerse en cuenta es que ahora queda intercalada en el circuito una resistencia de $10 K\Omega$; pero esto, lejos de ser un inconveniente, es una ventaja, pues de esta forma la intensidad en el circuito queda limitado a un valor máximo del orden de 1 miliamperio, con lo que el instrumento de cuadro móvil no sufrirá sobrecargas.

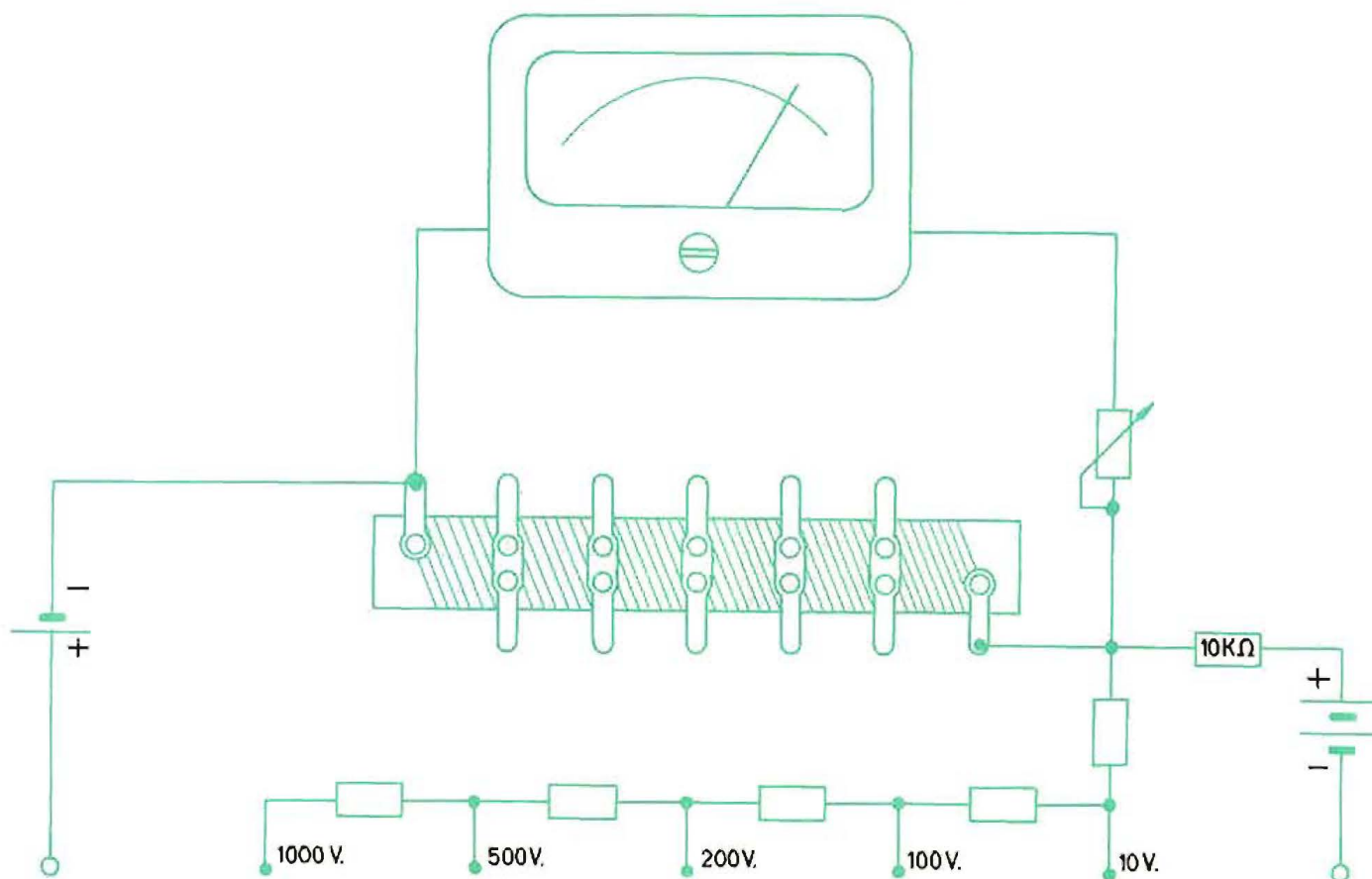
Para poder efectuar la comprobación 3.ª se precisa una resistencia variable para poder intercalarla entre la base y un punto cuyo potencial sea intermedio entre el del emisor y el del colector.

Puede utilizarse para ello la red de resistencias que se emplea para la medida de tensiones continuas.

Como se indica en la figura, el valor de la resistencia intercalada en el circuito de base puede variarse conectando la base del transistor por medio de una punta de prueba, bien a la hembrilla de $1000 V$, a la de $500 V$, a la de $200 V$, etc.



En el interior del tester AFHA encontramos los elementos necesarios para efectuar las comprobaciones 1.ª y 2.ª.

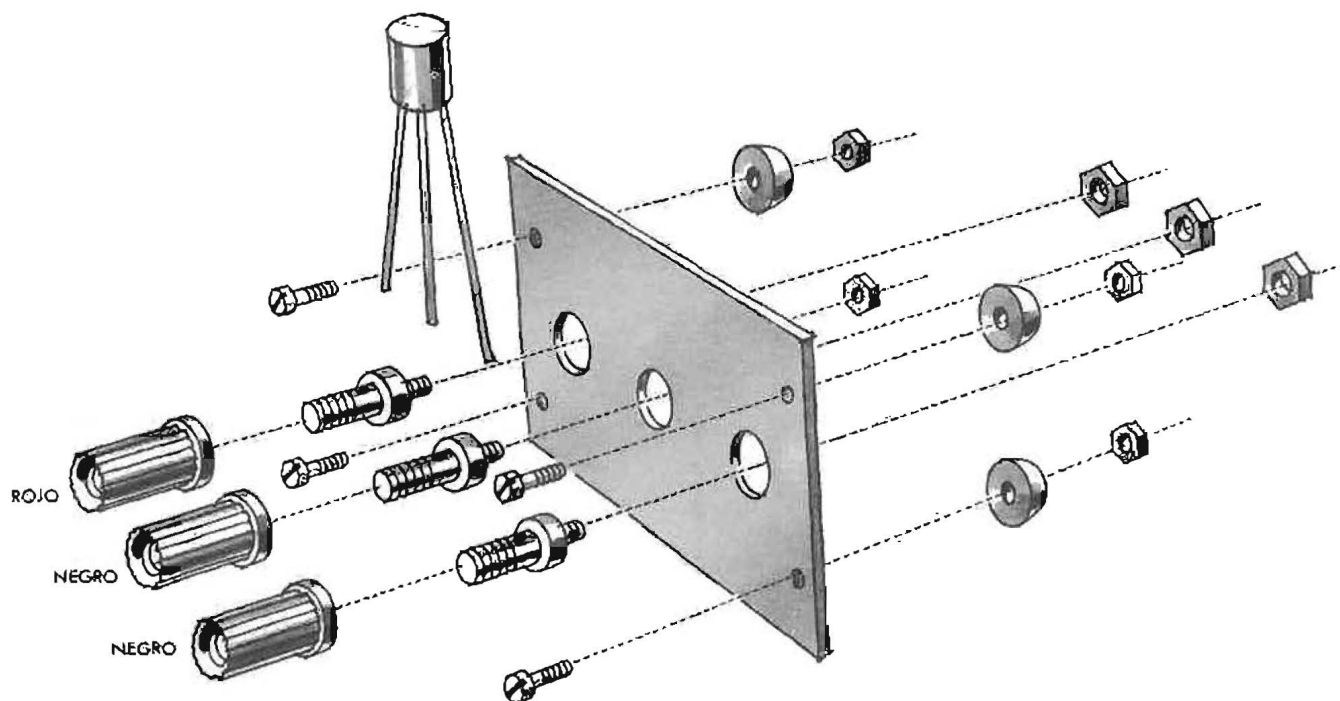


... y también la 3.ª.

FORMA PRACTICA DE PROCEDER

Para poder realizar las medidas con un mínimo de comodidad fijaremos sobre una plaquita aislante tres bornes-hembrilla destinados a reci-

bir los tres electrodos del transistor, ya que de esta forma podemos realizar más fácilmente las conexiones.



Prepararemos también dos cables flexibles de 20 cm, uno de color negro y otro de color rojo, añadiendo a los extremos sondas bananas del mismo color que el cable.

Una vez en posesión de esos elementos y de un transistor cuya comprobación queramos efectuar, podemos poner manos a la obra:

1. Conectaremos el transistor a los tres bornes siguiendo este orden:
colector al borne rojo;
base al borne central;
emisor al tercer borne.

2. Situaremos el conmutador del téster en la posición Ω , y cortocircuitando las hembrillas 0Ω y $1 M\Omega$ llevaremos, mediante el potenciómetro, la aguja del galvanómetro a la división 100 (división 0 de la escala de Ω).

3. Mediante el hilo rojo antes preparado conectaremos el borne rojo (colector) con la hembrilla $1 M\Omega$.

4. Conectaremos el hilo negro a la hembrilla 0Ω y con la banana del otro extremo haremos

contacto en el borne central (base). Anotaremos la desviación de la aguja, que será normalmente pequeña y que corresponderá a I_{CBO} .

Dado que la desviación total corresponde aproximadamente a $1 \text{ mA} = 1000 \mu\text{A}$, cada una de las diez divisiones principales de la escala corresponde a $100 \mu\text{A}$.

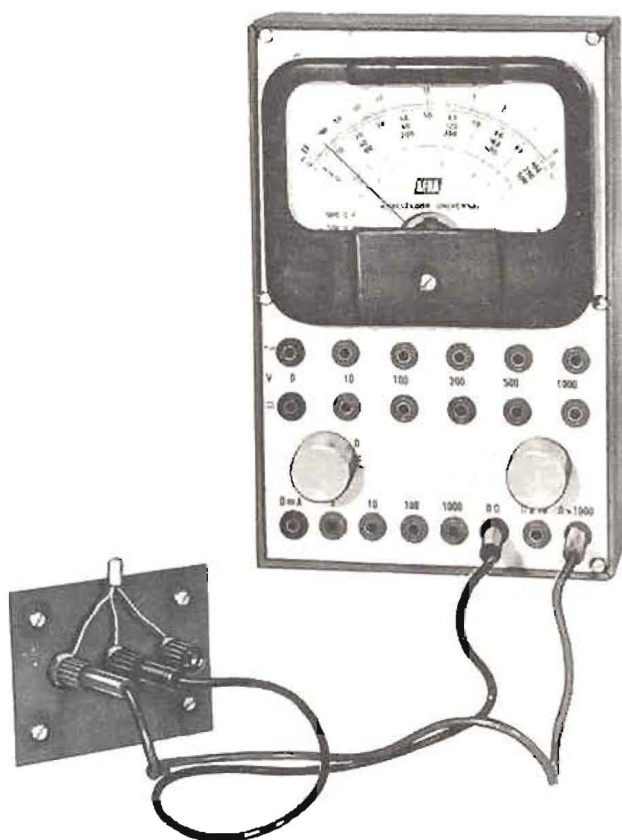
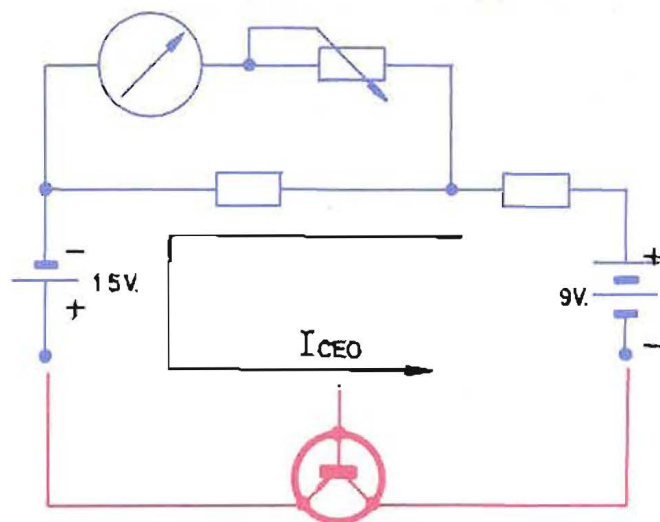
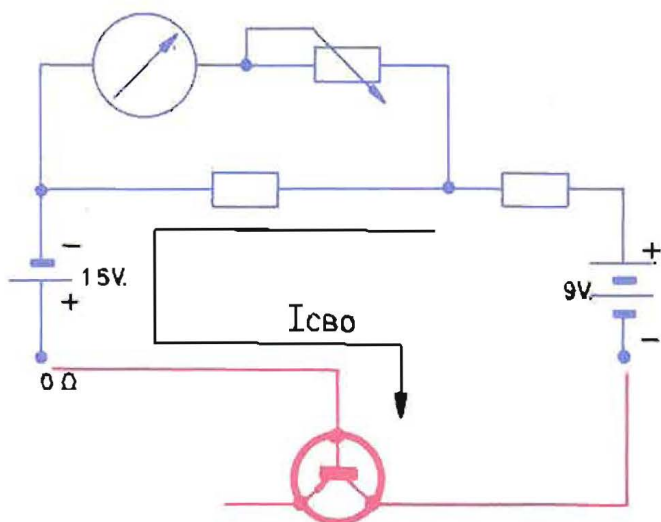
5. Dejando de hacer contacto en el borne central, introduciremos la banana del cable negro en el tercer borne (emisor).

La desviación de la aguja corresponde ahora a I_{CEO} y deberá ser notablemente mayor que en el caso anterior.

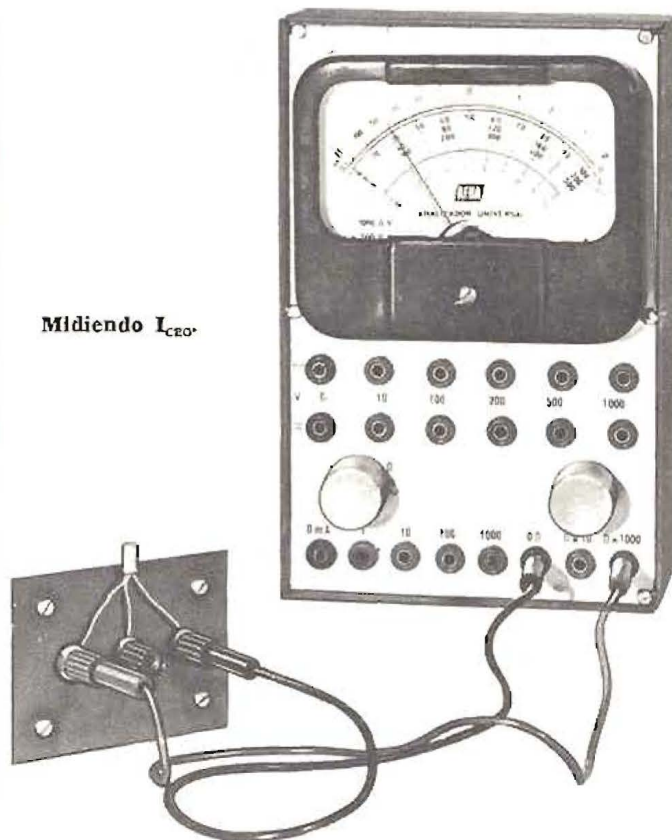
6. Con una de las puntas de prueba conectaremos el borne central (base) a la hembrilla de $1000 V =$.

La desviación de la aguja aumentará con respecto al caso anterior. La designaremos por I_{CB1000} .

Conecte luego a la hembrilla $500 V =$. La desviación deberá ser todavía mayor. La designaremos por I_{CE500} .



Midiendo I_{CEO}



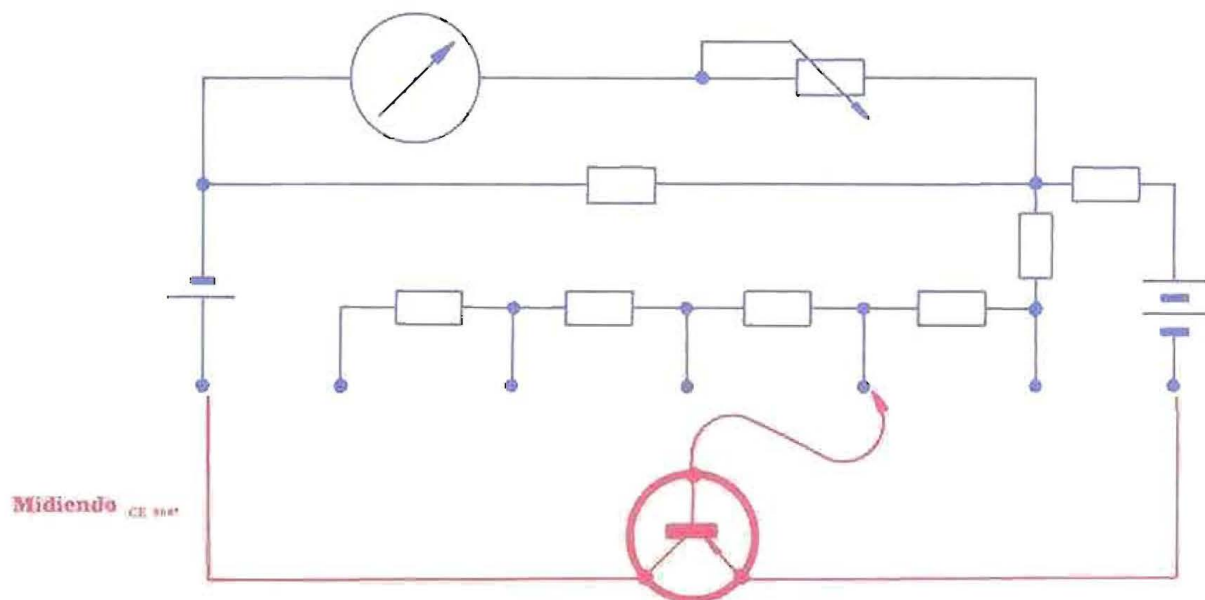
En las otras hembrillas las desviaciones cada vez son mayores, y se llega a una en que la aguja se desvía al fondo de la escala. No debe hacer contacto en la inmediata inferior, pues haría circular una corriente excesiva por la base del transistor.

Para que pueda servirle de guía añadiremos los resultados obtenidos al comprobar algunos transistores de uso corriente.

	I_{CBO}	I_{CEO}	I_{CE1000}	I_{CE500}	I_{CE200}
AF115	$< 10 \mu A$	$150 \mu A$	$240 \mu A$	$350 \mu A$	$680 \mu A$
AC125	$\approx 10 \mu A$	$850 \mu A$	$900 \mu A$	$950 \mu A$	
AC126	$\approx 20 \mu A$	$860 \mu A$	$900 \mu A$	$930 \mu A$	
AC128	$\approx 10 \mu A$	$230 \mu A$	$320 \mu A$	$370 \mu A$	$570 \mu A$

Dada la polaridad con que las pilas están conectadas al circuito, las comprobaciones antes indicadas son únicamente posibles sobre transistores PNP.

COMPROBACIÓN DE DIODOS. Nos limitaremos a comprobar mediante las puntas de prueba, y como si fuese una resistencia, que en un sentido conduce y en el otro no.



Midiendo I CE500



* * * * *

ALPHA