

CHRISTIAN GELLERT

CHRISTIAN GELLERT

aprenda

Electrónica

APRENDA ELECTRONICA EN 15 DIAS

en **15** días

un método
ideal de
autoenseñanza
sin matemáticas

casi leyendo
de corrido
Ud. llegará a
dominar los
misterios de la **ELECTRONICA**

EDITORIAL **NEO
TECNICA**

CHRISTIAN GELLERT

con la dirección técnica del
ING. FRANCISCO L. SINGER

APRENDA
ELECTRONICA
EN 15 DIAS

SEXTA EDICION

EDITORIAL **NEO**
TECNICA

ARENALES 1258

BUENOS AIRES

Primera edición: noviembre 1966
Segunda edición: junio 1971
Tercera edición: marzo 1974
Cuarta edición: diciembre 1975
Quinta Edición : Agosto,1978

Queda hecho el depósito que marca la Ley N° 11.723

Copyright © by FRANCISCO L. SINGER

IMPRESO EN LA ARGENTINA

PRINTED IN ARGENTINA

Día 1

Hubiera resultado cómodo al autor suponer que todo lector de este libro sabía lo suficiente de Electricidad como para no mencionar las nociones básicas que se requieren para entender los temas restantes, pero de ese modo se restringía la posibilidad de muchos que tienen necesidad de resolver problemas de Electrónica sin dominar los conocimientos esenciales antes mencionados. Es por eso que hubo que destinar las primeras jornadas de labor a explicar en forma resumida y sintetizada todo lo que necesitaremos en los días subsiguientes.

Así nos enfrentamos con nuestros primeros pasos y hablaremos del electrón, maravillosa partícula infinitésima que ha hecho posible la luz eléctrica, la radio, la televisión y una interminable lista de adelantos de la ciencia moderna. Este corpusculito nunca se queda quieto ni admite la presencia de sus congéneres; se mueve con velocidad insuperable y lleva consigo una energía fabulosa. Del electrón pasaremos fácilmente a la corriente eléctrica y a sus particularidades y efectos, muchos de los cuales son los que estudiaremos en detalle en las jornadas venideras. Fijado el tema inicial, podemos dedicarnos de lleno a nuestra tarea.

FUNDAMENTOS DE LA ELECTRONICA

La Electrónica podría definirse como la ciencia que estudia las particularidades del electrón y de sus acciones, por lo cual queda establecido que el primer paso en su estudio será una mención del mismo con una definición aunque sintética de su esencia y propiedades.

Qué es el electrón

Toda la Electricidad y sus fenómenos derivados están apoyados en una diminuta partícula movедiza y potente, que puede darnos luz, calor, movimiento, música, imágenes, etc. Y bien, todos los cuerpos que hay en el universo, sean sólidos, líquidos o gaseosos, están formados por una aglomeración de pequeñísimas partículas, tan pequeñas que son invisibles aun para los microscopios más poderosos. Esas partículas se llaman *átomos*. Si tomamos un trozo de hierro, por más que lo miremos no podemos explicarnos cómo parece materia sólida sin subdivisiones, pero es una compacta aglutinación de átomos. La figura 1 nos quiere mostrar esto, pero allí los átomos están tan agrandados que pueden verse, y ya hemos dicho que es imposible verlos. Si los átomos están fuertemente adheridos

entre sí, el cuerpo es sólido. Si la adherencia no es tan efectiva que permite que los átomos se deslicen unos contra otros, tenemos los líquidos. Y finalmente, si no hay ninguna adherencia entre los átomos, se forman los gases.



Fig. 1. — Todo cuerpo está formado por infinidad de minúsculas partículas.

Durante mucho tiempo se pensó que el átomo era una partícula sólida, maciza, indivisible y que, por lo tanto, no admitía subdivisión alguna. Sin embargo, posteriores investigaciones permitieron comprobar que el diminuto átomo está formado como un sistema planetario, con un núcleo central y un conjunto de sutiles partículas que giran a vertiginosa velocidad alrededor

de aquél (véase Fig. 2). ¿Por qué se admitía que todo ese conjunto era un sólido? Por la misma razón que si se hace girar una piedra atada a un hilo se ve un círculo macizo. Como hay muchas partículas girando en derredor del

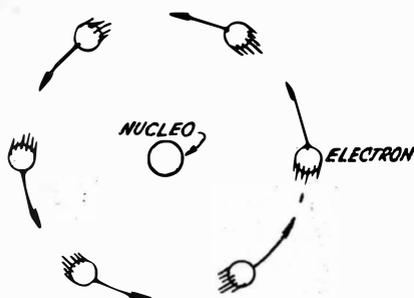


FIG. 2. — Cada átomo es un pequeño sistema planetario en miniatura.

núcleo la apariencia del átomo es la de una bola o esfera. Ya llegamos a encontrar nuestra incógnita. Esas partículas son los *electrones*.

Conviene ir formándose una idea del tamaño de un electrón, para lo cual imaginemos que los alineados en fabulosa cantidad pegados unos a otros como quiere representar la figura 3. Cinco billones de electrones ocuparán la longitud de un centímetro. No debe el lector preocuparse por este problema, pues no podrá comprobarlo y sólo está a su alcance verificar qué es lo que produce los electrones cuando se hallan en cantidades impresionantes.

Para el estudio de la Electrónica no nos interesan los átomos con todos sus componentes sino precisamente cuando ocurre que se descompleta, es decir, que sale un electrón del átomo, tal como se han ilustrado en la figura 4. El electrón que queda libre corre por el cuerpo a que pertenece el átomo, y el átomo de donde

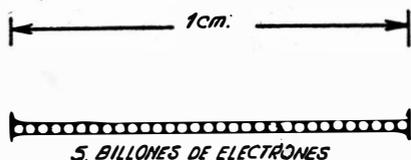


FIG. 3. — Este dibujo nos da idea de la pequeñez del electrón.

salió queda incompleto. Estamos ya frente a lo que se conoce con el nombre de *Electricidad*, pues un electrón libre es una carga eléctrica negativa y un átomo incompleto es una carga

eléctrica positiva. Por el momento no sabemos todavía lo que es electricidad pero hay que confesar que tampoco lo saben bien los científicos que hablan de ella. Lo que sí se conoce perfectamente son los efectos de la electricidad, los fenómenos que provoca, la manera de conducirla y lo que le ocurre a los cuerpos cuando por ellos circula. Por lo dicho anteriormente tenemos que admitir desde ya que la electricidad circulante no es otra cosa que electrones libres generalmente en cantidad enorme. Los átomos incompletos tratan de recuperar a los electrones perdidos y por eso se habla de la atracción entre cargas eléctricas de distinto signo.

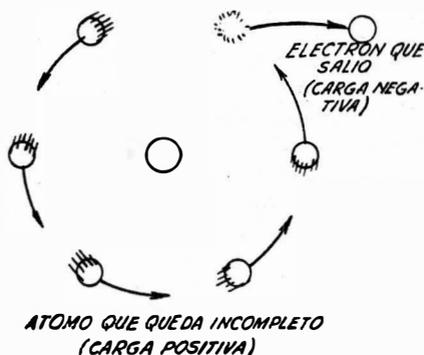


FIG. 4. — Al salir un electrón de un átomo se origina la electricidad.

Qué es la tensión eléctrica

Un nuevo *porqué* nos coloca frente a un nuevo interrogante, como es el de comprender qué es o qué significa la tensión eléctrica. Hemos oído muchas veces mencionar el *voltaje* de un circuito o de una línea eléctrica, y esto no es otra cosa que el nombre vulgarizado de la *tensión eléctrica*. Para entrar en materia consideremos primero un hecho que resultará más conocido por presentarse frecuentemente en la vida diaria.

La figura 5 nos muestra dos depósitos comunicados por una cañería. Todos sabemos que el agua del depósito más alto correrá por el caño hasta el depósito más bajo y tanto más velozmente o con más fuerza, cuanto mayor sea la diferencia de nivel entre ambos depósitos. Quiere decir entonces que la posición en que se encuentra el agua puede dar una fuerza propulsora, provocar un movimiento, realizar un trabajo y ello sólo por el hecho de existir esa diferencia de nivel.

En los fenómenos de la electricidad también hay causas que pueden provocar fuerzas y movimientos, y aunque no puedan hacerse comparaciones entre el agua y los electrones, puede

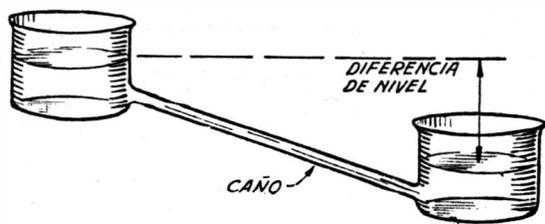


FIG. 5. — La diferencia de nivel de los depósitos se traduce en una presión.

hablarse de una diferencia de nivel eléctrico que no tiene nada que ver con la posición o la altura pero sí con la electrización de los cuerpos. Veamos por ejemplo un caso muy simple que se plantea en la figura 6 y que nos muestra dos cuerpos electrizados, por ejemplo con carga positiva, es decir que en ambos faltan electrones. Los signos en cruz significa *positivo*, mientras que para indicar la carga *negativa* se usa el signo *menos* que en Aritmética marca la resta. Observemos que el cuerpo de la izquierda tiene más cruces que el de la derecha, lo que quiere significar que tiene mayor electrización,

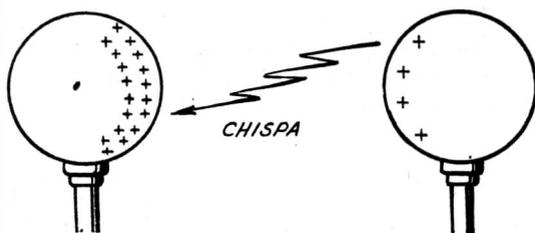


FIG. 6. — La presión eléctrica produce la descarga.

o sea que tiene mayor cantidad de cargas eléctricas. El cuerpo de la derecha tiene menos cruces o sea menos cargas eléctricas. Esto nos habla de un diferente estado eléctrico entre ambos cuerpos que es equivalente a la diferencia de nivel de los depósitos de la figura 5; luego, puede producirse un desplazamiento de cargas de un cuerpo hacia el otro o sea saltar la chispa si se los aproxima. Esa chispa tenderá a nivelar la diferencia, es decir, que saldrán electrones del cuerpo de la derecha porque allí faltan menos cantidad que en el otro. Esto es lógico, puesto que las cruces significan átomos incom-

pletos, o sea falta de electrones, y entonces al cuerpo de la izquierda le faltan más electrones que al de la derecha.

Quiere decir entonces, que podemos denominar *nivel eléctrico* al estado de electrización de un cuerpo, más precisamente a la situación que ese cuerpo presenta en potencia por su posibilidad de actuar sobre otros cuerpos. Por esto suele llamarse también *potencial eléctrico* a ese estado. Podríamos decir entonces que si dos cuerpos se hallan a distinto potencial puede haber una descarga eléctrica entre los mismos. Cuando hay una diferencia de potencial o de nivel eléctrico entre dos cuerpos se dice que existe entre ellos una *tensión eléctrica*.

Ahora ya podemos llegar al concepto práctico de la tensión eléctrica, para lo cual tomamos una pila de las que se emplean para circuitos de campanillas, teléfonos, etc. y veremos en ellas dos tornillos con tuercas que se denominan bornes o polos. Si colocamos un cable que toque ambos tornillos observaremos que salta una chispa. Esto quiere decir que en la pila hay cargas eléctricas y que por lo menos debe haber dos cuerpos electrizados.

Si observamos la envoltura de cartón que tiene la pila notaremos que en ella hay escrita una cifra que dice "1,5 Volt" o simplemente "1.5 V.". Bien, esa cifra es la que da la tensión eléctrica que tiene la pila, lo cual nos dice que así como se puede hablar de la capacidad de una botella, por ejemplo un litro, también se puede expresar una tensión eléctrica en números y hasta medirla, para lo cual se emplean los aparatos denominados voltímetros. También hemos oído mencionar muchas veces la cifra 220 Volt, que es la tensión eléctrica que hay en la línea domiciliaria. Esto nos dice que tal línea tiene una tensión mucho mayor que la de la pila. Y podríamos mencionar los casos de tensiones muy elevadas como las que se emplean en las usinas, en los aparatos de televisión, etc., donde se habla de miles de Volt.

Lo que se destila de todo lo dicho es que la tensión eléctrica podría definirse como una fuerza, como una capacidad de descarga, como un algo que está latente por el hecho de haber distinto grado de electrización entre dos cuerpos. La tensión eléctrica se mide en Volt y siempre aparece en los circuitos de electricidad o de electrónica la cifra que debe dar la cantidad de Volt que debe haber en cada lugar, para que se pueda lograr el desplazamiento de cargas eléctricas necesario en esa parte del circuito. Es evidente que cuantos más Volt haya mayor será el desplazamiento de la carga.

Por qué circula la corriente

Un electrón aislado, que ha salido de un átomo, constituye una carga eléctrica sola, muy pequeña, y carece de importancia práctica; pero si podemos imaginar muchos, pero muchos millones de electrones en libertad y los hacemos correr por un alambre metálico, vulgarmente denominado también cable o conductor, tenemos el caso de la figura 7, donde no se han dibujado todos los electrones porque sería imposible. Ahora viene la afirmación sorprendente: esos electrones circulando por el cable constituyen precisamente la corriente eléctrica. Repetimos entonces: la corriente eléctrica no es otra cosa que una infinidad de electrones corriendo en velocísima carrera por el interior de un alambre metálico.

Llegamos, pues, al momento de contestar la pregunta antes formulada. Para ello observamos la figura 8 que nos muestra un cable muy agrandado, un electrón libre en su interior y dos cuerpos cargados de electricidad en ambos extremos del cable. El cuerpo de la izquierda tiene carga eléctrica negativa, es decir que allí hay electrones en exceso. El cuerpo de la derecha

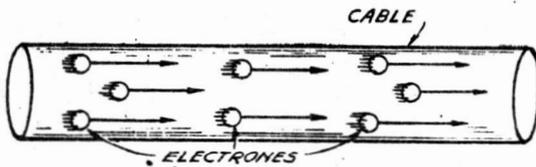


FIG. 7. — La corriente eléctrica es una carrera de electrones por un conductor.

cha tiene carga eléctrica positiva, es decir que aquí faltan electrones en los átomos. El hecho de haber enfrentado dos cuerpos cargados con electricidad de distinto signo o clase sabemos que da origen a fuerzas eléctricas poderosas, capaces de impulsar los electrones o sea ponerlos en movimiento.

Ahora nos preguntamos: ¿de dónde puede haber salido el electrón y hacia dónde irá, impulsado por las fuerzas eléctricas? En primer lugar el electrón de la figura 8 debe haber salido del cuerpo de la izquierda, porque allí hay electrones en exceso. En segundo lugar, el electrón debe dirigirse hacia donde faltan elementos similares, que es precisamente el cuerpo de la derecha. Luego, sin entrar en mayores detalles, sabemos que nuestro electrón irá de izquierda a derecha, o sea del cuerpo con carga negativa hacia el cuerpo con carga positiva, corriendo por el cable.

Todavía podemos decir algo más al respecto. Dos cargas eléctricas colocadas vecinas ejercen

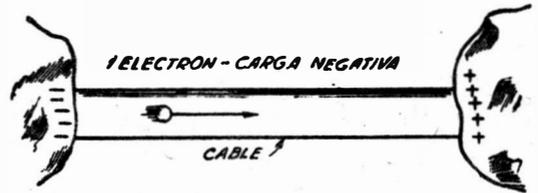


FIG. 8. — El electrón corre desde el polo negativo hacia el positivo.

entre sí una fuerza. Si las cargas son del mismo signo hay repulsión, pues ninguna de las dos puede completar los átomos incompletos del cuerpo, pero si las cargas son de signo contrario hay una fuerte atracción, que tiende a completar los átomos. Luego, pensando en nuestro electrón de la figura 8, vemos que será rechazado por la carga negativa de la izquierda y atraído por la positiva de la derecha. Esto demuestra la aseveración que podemos hacer ya, y es que la corriente eléctrica circula desde el polo negativo al positivo, y asunto terminado.

Una vez que hemos definido la esencia de la corriente eléctrica, podemos pasar a los casos prácticos de circulación de la misma en casos reales. Por ejemplo, citemos al pasar la figura 9, que muestra una pila eléctrica, que nos resulta conocida. Un cable une por un momento sus dos bornes, el positivo central y el negativo lateral. De acuerdo con la afirmación que hicimos antes, por el hecho de unir con un cable

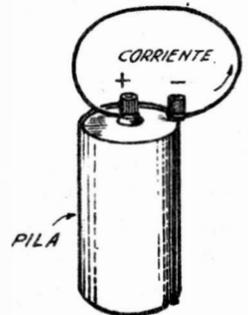


FIG. 9. — Un cable que une los polos de una pila sirve de descargador.

dos puntos o cuerpos con carga de distinto signo, circulará una gran cantidad de electrones o sea una corriente eléctrica. El sentido de esa circulación nos resulta ahora conocido, y es el que va del polo negativo al polo positivo.

Claro está que el dibujo de la figura 9 nos muestra un caso irreal, porque no hay ventaja práctica en conectar un cable directamente en-

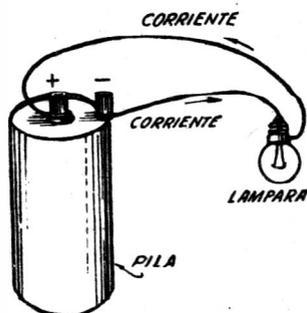


FIG. 10. — Si se intercala una lamparilla, la corriente que pasa por ella la enciende.

tre los bornes de una pila para hacer circular electrones o corriente por él. En la realidad, se intercala en el pasaje de la corriente un elemento capaz de aprovechar esa circulación, como en una lamparita, del tipo utilizado en las linternas. La figura 10 nos aclara la afirmación precedente. La misma pila, el mismo cable, pero hay una pequeña lamparita inserta

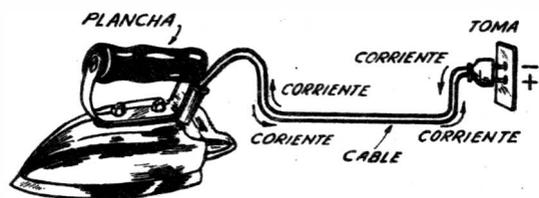


FIG. 11. — La corriente eléctrica también produce calor.

en el circuito. Mientras dura la carga eléctrica de la pila, la lámpara permanece encendida. Y es que el pasaje de los electrones por dicha lámpara enciende su filamento. Cuando todos los electrones excedentes llegan al polo positivo, se neutralizan las cargas y se dice que la pila se ha gastado. Por consiguiente, dejará de circular corriente y la lámpara permanecerá apagada.

No es necesario que imaginemos la lámpara conectada a la pila, como único caso. Si se trata de la instalación eléctrica domiciliaria, podemos poner el ejemplo de una plancha que se ve en la figura 11. En el toma hay una fuente eléctrica con dos polos, uno positivo y uno negativo, tratándose de corriente continua (de la alternada nos ocuparemos más adelante). La

plancha se conecta mediante una ficha de dos cables que cierran el circuito. La corriente sale de un polo de la línea, que es el negativo y pasando por el cable y la plancha y vuelve a la línea, al polo positivo. Al pasar por el interior de la plancha produce calor, como sabemos. Este es otro de los fenómenos que puede producir la corriente eléctrica circulante.

Por qué existe la resistencia

Hemos dicho que la corriente eléctrica no es otra cosa que una gran cantidad, pero una enorme cantidad de electrones libres corriendo a fantástica velocidad por un cuerpo. En la realidad ese cuerpo toma casi siempre la forma de un alambre metálico cuyos extremos están unidos a los polos eléctricos del circuito, que pueden ser los de una pila, los de la red eléctrica de canalización u otra fuente.

Pero pensando en la circulación de la corriente eléctrica por el alambre, tal como lo quiere ilustrar la figura 12, con una cantidad pequeña de electrones, en seguida se nos ocurre que no debe ser lo mismo si dicho alambre es grueso o fino, si es corto o largo, si es de hierro, de cobre o de otro material.

Ocupémonos primero del grosor del material, para lo cual no hay más que imaginarse la estación de un subterráneo en Buenos Aires a la hora del mayor tránsito. Las personas se agolpan a la entrada de la escalera y el movimiento se hace lento. Si la escalera fuera mucho más ancha, pasarían con más facilidad. La figura 13 nos muestra lo que ocurre y podemos llevar el ejemplo a todo tipo de desplazamiento de unidades, partículas, etc. Un embudo de una máquina moledora de café también nos da una idea cabal de lo que estamos diciendo. Quiere

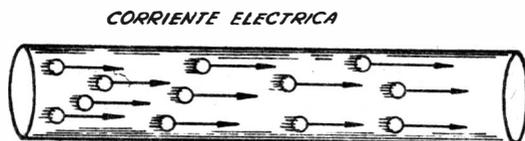


FIG. 12. — Aparentemente, la corriente circula libremente por los conductores.

decir que si llevamos el problema a la corriente eléctrica, nos damos cuenta en seguida que la circulación de electrones por un alambre será tanto más fácil cuanto más grueso sea éste. Todos sabemos que se usan cables gruesos cuando se debe conectar un artefacto de gran consumo.

como una cocina eléctrica, por ejemplo.

Otro de los factores que facilitan la circulación de electrones, o sea de la corriente eléctrica, es la longitud del alambre. No hay que hacer mucho esfuerzo para advertir que es muy distinto para una persona recorrer una cuadra

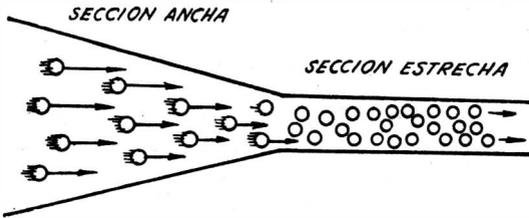


FIG. 13. — Aquí empezamos a ver que la sección de pasaje tiene influencia.

que veinte. Si bien en los electrones no podemos hablar de fatiga corporal, es lógico pensar que si tenemos un alambre corto que forma el circuito, circularán más electrones que si ese alambre es largo. La limitación obra en sentido inverso al del grosor o sección transversal, pues en ésta, a mayor sección más facilidad, mientras que en el largo, a mayor longitud menor facilidad. Este problema no nos debe preocupar por ahora, pues más adelante reuniremos en un solo concepto todos estos factores.

Ahora viene la tercera cuestión, que hace que la corriente eléctrica encuentre mayor o menor facilidad en su circulación. Se trata del tipo o

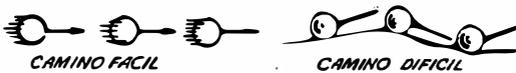


FIG. 14. — El camino de la circulación de la corriente ofrece dificultades.

naturaleza del material por el cual debe circular. A primera vista se nos ocurre pensar que el agua que corre por una cañería no depende en absoluto del tipo de material de esa cañería, pues a igual sección interior no tiene importancia que se trate de cobre, plomo, hierro u otro material cualquiera. Pero hay que tener en cuenta que en el caso de la cañería, el agua circula por el interior de la misma y no importa el material que tienen alrededor como envoltura. En el caso de los cables eléctricos interesa el metal con que está hecho el alambre y no el forro que se le coloca por razones de aislación.

Pongamos un ejemplo un poco más compren-

sible. En la figura 14 vemos unas bolitas que deben circular o correr por sobre el piso. En el caso ilustrado a la izquierda se desplazan con entera facilidad por cuanto el camino es liso, mientras que en el de la derecha la rugosidad del suelo dificulta la circulación, es decir, le opone resistencia. En el caso de la corriente eléctrica, sabemos que los electrones corren por el interior del material y, por consiguiente, no debe interesarnos la rugosidad exterior; pero, sin embargo, hay una cierta característica de facilidad o resistencia a la circulación de electrones en los distintos materiales.

Para comprender el porqué de lo que acabamos de mencionar tendríamos que analizar la naturaleza íntima de la materia, es decir, los átomos y los espacios vacíos que median entre los mismos. Parece ser que cada sustancia presenta una contextura íntima muy diferente y particular. En general, los metales presentan la particularidad de que tienen una constitución interna muy adecuada a la circulación de electrones, mientras que los otros materiales no son así. En particular, si mencionamos la porcelana, el vidrio y sustancias similares, ocurre que su constitución impide notablemente la circulación de corriente eléctrica. Por tal motivo los primeros se llaman conductores y los segundos aisladores. Entre estos últimos se encuentran la goma, la mica, la bakelita y todos los aisladores conocidos vulgarmente. Hay todavía una particularidad notable y es que el cobre es el mejor conductor, o sea que es el cuerpo que ofrece más facilidad al paso de los electrones, lo que equivale a decir que es el cuerpo que les ofrece menos resistencia. Por esta razón los cables eléctricos se hacen de cobre. También podemos ya afirmar que para que los electrones no se salgan del alambre de cobre se lo envuelve en goma o plástico, y cuando hay que sostenerlo en el aire se emplean piezas aisladoras de porcelana, vidrio o bakelita.

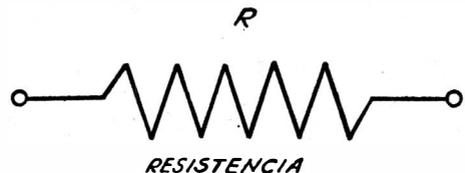


FIG. 15. — Símbolo con que representamos la resistencia eléctrica.

Ya estamos en condiciones de definir la resistencia eléctrica. Hemos dicho que la sección

transversal del alambre, la longitud y el material de que estaba hecho tenían importancia en la mayor o menor facilidad que hay para que circule la corriente eléctrica. En la técnica se ha preferido hablar de la resistencia de los cuerpos a la circulación de electrones en lugar de mencionar la facilidad para esa circulación. Tenemos, entonces, que un alambre grueso ofrecerá menos resistencia que uno fino; un alambre largo tendrá más resistencia que uno corto y un alambre de cobre tendrá menos resistencia que uno de hierro. Con esto queda definida la resistencia eléctrica, y podríamos agregar que la

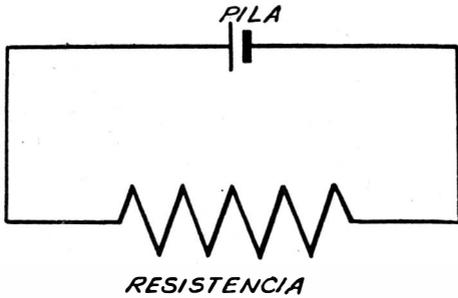


FIG. 16.— Aquí tenemos un circuito eléctrico elemental.

misma obra como una cifra, ya que se puede medir, y que su unidad es el Ohm. Esta unidad es convencional, y se usan también sus múltiplos, como el Kilohm (1.000 ohm) y el Megohm (1.000.000 ohm).

En los circuitos eléctricos se representa la resistencia por el símbolo que vemos en la figura 15 y que es una línea quebrada con una letra R puesta al lado o sobre ella. También se escribe un número que es la cantidad de Ohm que tiene la resistencia; por ejemplo, 300 ohm, 50.000 ohm, etc.

El circuito se completa en la forma como se ve en la figura 16, que sería el más simple de todos, pues sólo contiene una pila, que se representa con el símbolo indicado en la figura, y una resistencia. El lector se preguntará qué objeto tiene esa resistencia, y la respuesta es inmediata: precisamente limitar la circulación de la corriente eléctrica al valor que corresponda. Quiere decir que si queremos que en el circuito circule una corriente pequeña, pondremos una resistencia de muchos ohm y, viceversa, utilizaremos una de pocos ohm para que haya una corriente grande.

Por qué produce calor la corriente

Sabemos ya que los electrones que se han desprendido de los átomos circulan velozmente por los conductores, es decir por los cables, impulsados por las fuerzas eléctricas que también hemos definido con anterioridad.

Suponemos que estos electrones parten de un lugar y llegan a otro y hemos adoptado símbolos para poder establecer la dirección en que se produce la circulación. Asignando a cada electrón la cantidad de carga eléctrica negativa aceptamos que salen del polo negativo de la fuente, rechazados por las cargas negativas que allí existen y se dirigen hacia el polo positivo de dicha fuente, atraídos por la carga de ese signo que hay en ese lugar. Por el momento podemos pensar que la fuente eléctrica de que estamos hablando es una pila, ya que no nos interesa el tipo de fuente sino su efecto sobre los electrones.

Volvemos a tomar un trozo de cable como el que se ilustra en la figura 17; para ver unos cuantos electrones que corren por él y aclaramos una vez más que aparecen cinco solamente cuando en la realidad se trata de millones, muchos millones de ellos. Estos electrones van pasando por la masa del cuerpo y precisamente por los espacios vacíos que hay entre los átomos produciendo una especie de rozamiento. Al respecto podemos imaginarnos una gran cantidad de piedras que ruedan por la ladera de la montaña. En su caída saltan, chocan y vuelven a rozar la ladera. Es cierto que en este ejemplo no corren por el interior de la montaña sino por afuera, pero la carrera desordenada de las piedras nos permite imaginar cómo es la circulación de los electrones por el interior del cable.

El rozamiento, es decir, lo que hace cada electrón cuando va raspando sobre los átomos

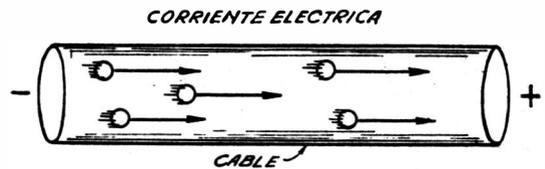


FIG. 17 — Los electrones que corren chocan entre sí, y se produce el calor.

del cuerpo produce calor. Pensemos lo que ocurre cuando frotamos con la mano cualquier cuerpo. La superficie de ese cuerpo se calienta en seguida y, lógicamente, algo parecido debe ocu-

rrir con los electrones y el cable. Es cierto que los electrones son muy pequeños pero su cantidad es tan fabulosa que el cable se calienta lo mismo.

Con esto queda aclarado que la corriente eléctrica que circula por un conductor produce en él una elevación de temperatura, es decir que el cable se calienta, y también queda explicado en forma un poco elemental el porqué de ese fenómeno térmico. Ahora que sabemos esto podemos entrar a considerár cuánto es el calor que se produce.

Sin tener mayores conocimientos sobre la electricidad, en seguida nos damos cuenta que cuanto mayor sea la cantidad de electrones mayor debe ser la cantidad de calor que se produce en

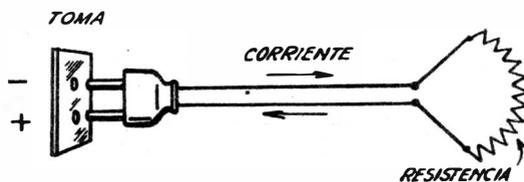


Fig. 18. — Un alambre delgado recorrido por corriente produce calor.

el cable. Pero ocurre que al ir aumentando la cantidad de electrones se produce también rozamiento entre ellos y el calor es mayor todavía. Luego una corriente eléctrica de doble intensidad no produce en un mismo cable el doble de calor sino cuatro veces. Una corriente triple producirá un calentamiento nueve veces mayor, y así en más. Esto se puede expresar matemáticamente diciendo que la cantidad de calor que produce la electricidad depende del cuadrado de la intensidad de corriente.

Otro factor muy importante para determinar el grado de calentamiento de un cable es la resistencia que ofrece a la circulación de la electricidad dicho cable. Y esto es evidente porque si el cable es más grueso los electrones tienen más lugar para circular y no se chocarán tanto entre sí. Además si el cable es de un material buen conductor los electrones circulan con mayor facilidad y por consiguiente no rozan tanto.

Ahora viene la aplicación práctica del fenómeno descrito. Si queremos construir cables para conducir la corriente eléctrica, no nos con-

viene que caliente mucho pues se quemaría la goma o material similar que sirve de envoltura aislante. Esto nos dice que conocido el valor de la intensidad de corriente que va a circular deberemos utilizar un cable de un grosor determinado. Por ejemplo, para intensidades no mayores de 10 Amper se emplean cables de un milímetro cuadrado de sección transversal y así se establece la sección que corresponde a la intensidad de corriente que se supone va a circular por el cable. Obsérvese que hemos nombrado a la unidad de la intensidad de la corriente eléctrica el *Amper*, que se usa siempre, así como sus submúltiplos, el *miliamper* y el *microamper*, que son la milésima y la millonésima parte, respectivamente.

Otro caso es cuando nos interesa precisamente producir calor con la electricidad. Ahora tenemos que cambiar de táctica y emplear metales de alta resistencia eléctrica y hacer pasar por los mismos corriente de intensidad elevada. Estos conductores generalmente se arrollan para que no ocupen una dimensión exagerada, y todos los conocemos, puesto que se encuentran en los calentadores eléctricos, las planchas, estufas, etcétera.

La figura 18 nos muestra lo que acabamos de decir. El alambre que va a irradiar el calor producido lo dibujamos con el símbolo correspondiente a una resistencia eléctrica y en la práctica toma precisamente este nombre. Esta resistencia se conecta mediante dos cables a los polos del tomacorriente y la corriente eléctrica circula por cables y resistencia en la forma establecida en la figura. Los cables no deben calentarse y por ello son de cobre, material de baja resistencia. La *resistencia* se hace con alambre de alta resistencia, como ser el alambre *nicrome* que es una aleación especial. Al paso de la corriente eléctrica se produce tanto calor que el alambre se pone al rojo y eso lo hemos visto observando una estufa eléctrica o un calentador sin tapa. Si reducimos el diámetro del alambre, además de calor llega el momento que produce luz. Del estado al rojo pasa al estado incandescente, sin dejar por ello de producir calor. Así se fabrican las lámparas eléctricas colocando en el interior de una ampolla de vidrio una resistencia hecha con un delgadísimo filamento de tungsteno.

Día 2

En forma muy breve hemos fijado las bases necesarias para conocer las propiedades fundamentales de la corriente eléctrica. La fuerza o presión que la hace circular se mide en Volt, la intensidad circulante se mide en Amper, y la resistencia que el material ofrece a la circulación se mide en Ohm. Ya tenemos así tres unidades con las cuales, y con sus respectivos múltiplos o submúltiplos, deberemos entendernos en lo futuro. La corriente eléctrica circula para producirnos efectos útiles, de los cuales hemos conocido dos, el calor y la luz. Pero existen muchos otros y oportunamente nos ocuparemos de ellos.

El estudio de la corriente eléctrica es muy interesante, pero en la Electrónica se emplea poco en la forma como la hemos conocido, siendo más común que se use la corriente alternada, particularidad oscilante o de vaivén de la circulación de electrones; por esta razón daremos preferencia a su estudio, y ese tema nos ocupará en la segunda jornada. Destacamos que es muy importante saber siempre que se está en presencia de un circuito eléctrico si se trata de una circulación continua o alternada. En cuanto estudiemos las particularidades de la segunda de las nombradas, nos será fácil hacer las distinciones respectivas en cada caso.

Con las aclaraciones formuladas, podemos comenzar la tarea de este segundo día de labor, que será, sin duda alguna, más interesante que el anterior.

Recomendamos al lector la asimilación de todo lo que se explique, pues es de gran importancia para el estudio de la Electrónica.

LA CORRIENTE ALTERNA

Qué es la corriente alternada

Podemos ahora imaginar un dispositivo un tanto curioso pero que nos servirá para entrar en el tema establecido para esta oportunidad. Observemos un poco la figura 19; veremos allí un sube y baja que puede ser uno de los tantos que hay en los parques infantiles. En cada extremo hemos colocado un depósito y los hemos comunicado entre sí por un tubo que puede ser de goma porque el movimiento no permitiría usar un caño de metal. En la posición en que se ha dibujado en la figura con trazos llenos a todo el conjunto podríamos considerar que estamos otra vez frente a la figura 5. El depósito de la izquierda está más alto y por consiguiente el agua circula de izquierda a derecha por el tubo.

Ahora hacemos mover la tabla del aparato de tal modo que el depósito de la izquierda baja y el de la derecha sube. El agua entonces, que circula del mayor al menor nivel correrá

de derecha a izquierda. Si imprimimos a la tabla del suba y baja un movimiento ascendente y descendente continuado, tendremos que el agua del tubo circula tan pronto de izquierda a derecha como de derecha a izquierda, o sea

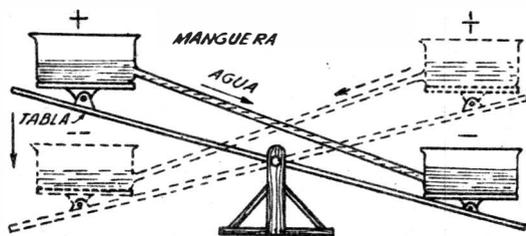


FIG. 19. — Con depósitos en vaivén la circulación es alternada.

que alterna constantemente su sentido de circulación. Claro está que cuando la tabla queda en posición horizontal, durante su movimiento

de sube y baja, el agua se detiene, pues al estar los dos depósitos al mismo nivel deja de circular. Desde ya podemos definir a esta clase de circulación de la corriente con el nombre de *corriente alternada*.

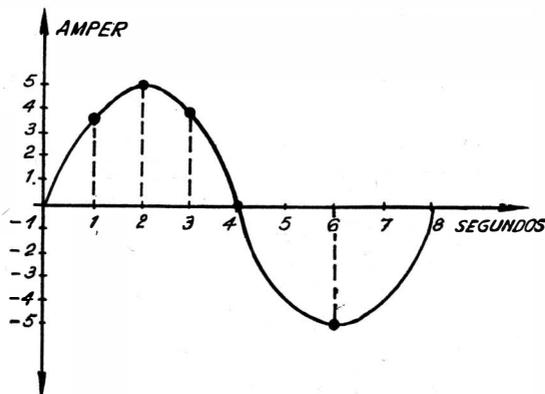


FIG. 20. — Un gráfico especial representa las variaciones de la corriente alternada.

¿Qué es entonces una corriente alternada?

Es una corriente que invierte constantemente su sentido de circulación y que en el momento de invertirlo no circula, es decir se detiene. Es como si una persona caminara en una dirección y de repente quiere retroceder; en el momento en que comience a hacerlo debe pararse para invertir la marcha. Observemos también que si la circulación de agua es más intensa cuanto más grande sea la diferencia de nivel de los depósitos, fácil es imaginar que cuando se alcanzan las posiciones extremas del sube y baja la circulación será más intensa.

Luego agregaremos que la corriente alternada, durante su circulación va alterando la intensidad, alcanzando un máximo y disminuyendo hasta cero, precisamente cuando cambia el sentido de circulación. Esto se puede representar por medio de un gráfico con mucha facilidad y lo vemos en la figura 20. Los puntos en los cuales la diferencia de nivel es máxima es cuando la corriente se hace más intensa, y aquellos en los cuales la tabla está horizontal, es cuando la corriente no circula, o sea que su intensidad es cero o nula.

Veamos ahora un poco los circuitos eléctricos en lugar de las comparaciones hidráulicas. Un circuito de corriente continua como el que estábamos acostumbrados a ver es el que nos muestra la figura 16. Los polos están marcados con los signos más y menos y la corriente circula del polo negativo al positivo a través de la resistencia del circuito. Un circuito de corriente

alternada es como el que se ve en la figura 21. No pueden ponerse signos en los polos o deben ponerse los dos, el más y el menos, en cada uno de ellos. Lo mismo ocurre con la flecha que indica la circulación de la corriente, y en la figura 16 se han dibujado con sentido invariable y que en la figura 21 marcan el doble sentido de circulación o directamente no se colocan. En resumen, en un circuito de corriente alternada es normal no marcar ni la polaridad ni el sentido de circulación de la corriente, pues ambas cosas se invierten constantemente.

Podemos volver ahora al gráfico de la figura 20 si admitimos que se mide hacia arriba del eje el valor de la corriente cuando circula en uno de los sentidos, y hacia abajo cuando circula en el otro. En el sentido horizontal medimos el transcurrir del tiempo, y la curva nos representa entonces un ciclo completo desde que ocurre una polaridad hasta que vuelve a alcanzarse la misma después de un cambio entero.

Qué es la frecuencia

Volvamos ahora a nuestra corriente alternada cuya representación gráfica aparece en la figura 20. Haremos, por el momento, una suposición exótica, como es la de admitir que un cambio completo en esta corriente dura 8 segundos. Esto equivale a decir que los electrones caminan en un sentido, se detienen, retroceden y vuelven luego a avanzar, invirtiendo en todas estas operaciones un tiempo de ocho segundos. Hacia arriba, en sentido vertical medimos la intensidad de corriente cuando los electrones avanzan y hacia abajo del eje tomamos los valores cuando retroceden. Si partimos desde el instante en que los electrones están detenidos y comienzan a avan-

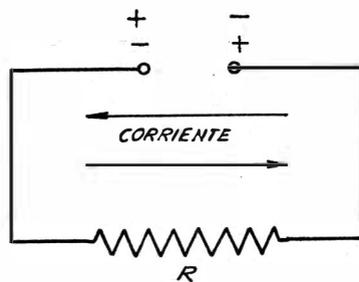


FIG. 21. — En circuitos de corriente alternada el sentido de circulación cambia constantemente.

zar, al transcurrir un segundo la intensidad de corriente ha alcanzado un valor de casi 4 Amper; a los dos segundos se alcanza el máximo

valor de 5 Amper, el cual toma el nombre de *valor de cresta*. A los tres segundos la intensidad ha disminuido nuevamente hasta unos 4 Amper y a los cuatro segundos los electrones se han detenido totalmente, o sea que la corriente tiene un valor cero. En este momento los electrones cambian de dirección o sea retroceden, lo que equivale a decir que la corriente es negativa. Esta aseveración se justifica por el hecho de que si se ha tomado como positivo uno de los sentidos de la circulación al otro le corresponde el signo negativo. Al llegar al quinto segundo la intensidad alcanza un valor cercano a 4 Amper negativos y al sexto segundo se llega otra vez a la máxima intensidad, es decir 5 Amper, a partir de cuyo instante comienza a reducirse la densidad de los electrones hasta los ocho segundos en que están nuevamente detenidos. Ahora comenzaría otra vez el avance de electrones, pero nos interesa definir un poco más lo que ocurrió en los ocho segundos pasados.

Toda variación en la dirección y densidad de los electrones, es decir en la intensidad y signo

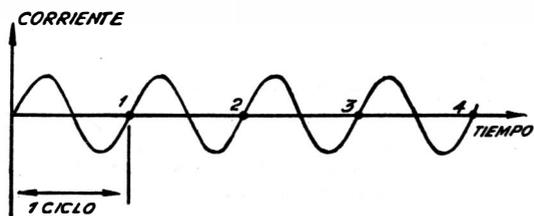


FIG. 22.— La variación representada en la figura anterior es para un ciclo completo, pero el fenómeno continúa en muchos ciclos iguales.

de la corriente durante el lapso descrito, se denomina *un ciclo* de dicha corriente. Esto quiere decir que se llama un ciclo a todos los fenómenos que ocurren desde un instante de la variación hasta que se vuelve a la misma situación, aunque luego el fenómeno continúe. En la práctica, la corriente alternada no tiene ciclos de tanta duración sino que siempre duran menos de un segundo. Por ejemplo en la figura 22 hemos representado gráficamente varios ciclos de la corriente alternada, cuatro para este caso. Podríamos seguir dibujando muchos más hasta alcanzar en el eje horizontal el tiempo de un segundo. Luego contamos la cantidad de ciclos que han transcurrido en un segundo y esa cantidad toma el importante nombre de *frecuencia*.

Hemos llegado así a nuestro interrogante inicial. Se llama frecuencia de una corriente alter-

nada a la cantidad de ciclos de esa corriente que se cumplen en el tiempo de un segundo. A título ilustrativo diremos que la frecuencia de la co-

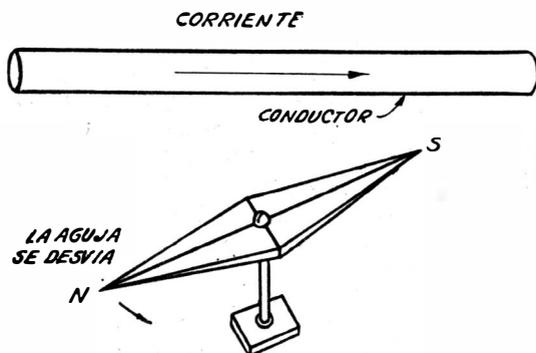


FIG. 23.— Acercando la brújula a un cable con corriente circulante, la aguja de aquélla se desvía.

rriente alternada de la red eléctrica de distribución en Buenos Aires es de 50 ciclos por segundo

Los fenómenos electromagnéticos

Accidentalmente se descubrió un fenómeno llamado a revolucionar las teorías físicas y que está representado en la figura 23. Si se acerca una brújula a un cable por donde circula corriente eléctrica se observará que la aguja se desvía de su posición normal. Esto tiene que ser consecuencia forzosa de la acción de un campo o fenómeno magnético; luego se dedujo que la corriente eléctrica genera fenómenos magnéticos.

Luego, se pudo establecer que el campo magnético en su alrededor podía dibujarse como

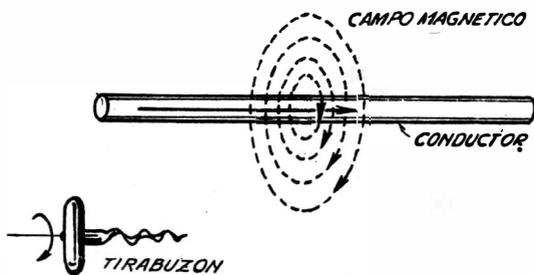


FIG. 24.— La regla del tirabuzón permite marcar el sentido del campo magnético.

círculos concéntricos que tenían la dirección que marcan las flechas de la figura 24. Se llegó también a dar una regla práctica para encon-

trar el sentido de esas flechas y es la famosa *regla del tirabuzón*. Para aplicarla se supone que se hace girar un tirabuzón de tal manera que penetre o avance en el cable en el sentido de circulación de la corriente. El sentido de giro de la manija del tirabuzón es el que fija la dirección de las flechas de la figura 24. Por ahora no podemos asignarle mayor trascendencia a estos hechos, pero sí nos permiten darnos cuenta de que si invertimos el sentido de circulación de la corriente se invertirá también el fenómeno magnético, lo que equivale a decir que la brújula desviaría su polo Sur en vez del Norte o viceversa.

Qué es una bobina

El hecho de que el campo magnético se produzca en el entorno del conductor recorrido por la corriente eléctrica, hizo pensar en seguida en la forma de aumentar la intensidad del fenómeno, porque el magnetismo obtenido era muy débil. Una forma de lograr ese aumento era utilizando corrientes eléctricas muy intensas, pero eso es antieconómico. Si se enrolla el conductor en la misma forma como viene el hilo en los carretes, los campos magnéticos de cada vuelta o espira se suma entre sí obteniéndose una configuración magnética como la que se ve en la figura 25. Tal conductor toma el nombre de *bobina* y por el efecto logrado se suele denominar también *electroimán*.

Un imán sirve para atraer pequeñas partículas de hierro, pues sabemos que las costu-

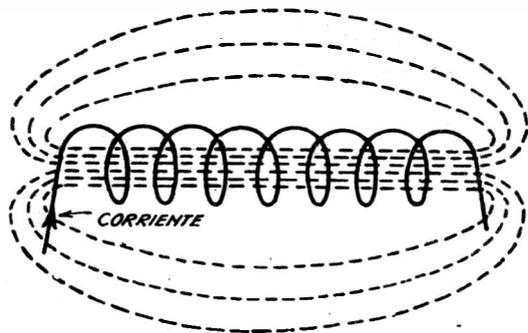


FIG. 25. -- Una bobina forma un campo magnético similar al de un imán.

reras lo emplean para levantar agujas o alfileres. Un electroimán tiene la ventaja de su mayor potencia magnética, pues ésta depende del número de vueltas del bobinado y en consecuen-

cia es cuestión de colocar muchas espiras y podrán levantarse objetos de hierro de peso considerable. Pero nuestro objeto no es ocuparnos de los electroimanes sino de las bobinas.

Por qué se usan bobinas

Imaginemos que tenemos un campo magnético producido por un imán, un electroimán o cualquier otro dispositivo. Se trata de un cierto lugar en el espacio donde existe un fenómeno magnético. Tomamos un trozo de conductor

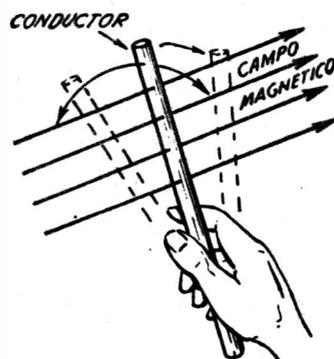


FIG. 26. -- Moviendo un conductor en un campo magnético se genera electricidad.

con la mano y lo movemos rápidamente en ese lugar, tal como se ilustra en la figura 26, dándole un movimiento veloz de vaivén. Al hacer eso ocurrirá un fenómeno muy curioso: en el conductor aparece una corriente eléctrica, es decir que todo ocurre como si al desplazarse el cable con respecto al campo magnético los electrones se desprendieran de los átomos y se pusieran en movimiento. Si el conductor queda abierto dentro del campo magnético, el fenómeno no ocurre y no aparece ninguna corriente en él.

La experiencia ha demostrado que lo que acabamos de explicar sucede lo mismo si dejamos quieto el conductor y movemos el campo magnético. Podemos decir más todavía, ya que en realidad no es necesario que el campo magnético se desplace, es decir cambie de lugar en el espacio. La corriente aparece en el conductor en cuanto el fenómeno magnético aumenta o disminuye de densidad, sufre una especie de expansión o reducción, lo que equivale a un movimiento. Traducamos esta descripción a la figura 27 y veamos lo que ocurre allí. Un cable al que llamamos *primario* está recorrido por una corriente eléctrica y, por lo tanto, produce un fenómeno magnético. Un segundo ca-

ble (*secundario*) está colocado cerca del primario y, por lo tanto, sumergido en el campo magnético. Aclaremos que este campo no es visible ni palpable pero se puede comprobar su existencia mediante una brújula que descubre de inmediato por el desplazamiento de su aguja donde hay campo y donde no lo hay. Si la corriente que recorre el primer cable es constante, o sea de intensidad fija, no pasa nada en el segundo cable, pero si tal corriente es variable, como por ejemplo una corriente alternada, el campo magnético será también variable y en sus expansiones y contracciones barrerá el segundo cable. Esto se entiende fácilmente si se piensa que al aumentar la intensidad de la corriente aumenta la cantidad de círculos concéntricos, cada uno de los cuales va desplazando al siguiente. En cierto modo las cosas pasan

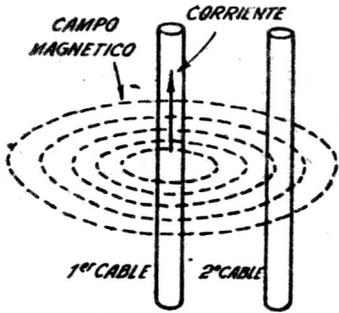


Fig. 27. -- Dos conductores vecinos dan lugar también a fenómenos de inducción.

como cuando se arroja una piedra en una pileta. formándose olitas circulares concéntricas que se van alejando del punto central.

Por ser variable el fenómeno magnético, en el segundo cable se inducirá una corriente, y el fenómeno que así ocurre se lo denomina *inducción electromagnética*, o simplemente inducción. La corriente obtenida en el segundo cable se denomina *inducida*. Hay que aclarar dos cosas: la primera es que para que circule corriente eléctrica, el segundo cable debe presentar un circuito cerrado, y en la figura siempre lo hemos indicado como un conductor abierto; este detalle se corregirá en los esquemas que utilicemos más adelante. El segundo detalle se refiere a que la corriente inducida en un trozo corto del conductor será muy pequeña, y que para aumentarla hay que proceder como cuando queríamos aumentar el fenómeno magnético, es decir hacer una bobina para sumar los efectos obtenidos en cada espira.

Llegamos así a demostrar una importante utilidad de las bobinas que justifica su empleo en electrónica. En la figura 28 vemos que se han dibujado dos bobinas arrimadas. Si se hace pasar corriente por una de ellas aparece una corriente inducida en la segunda. La bobina que

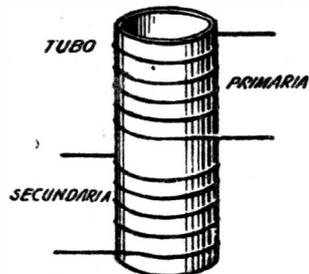


Fig. 28. -- Constructivamente, se colocan las bobinas sobre un mismo tubo.

causa el fenómeno se llama primaria, y aquella en la cual se obtiene la corriente inducida toma el nombre de secundaria. Caben ahora hacer algunas consideraciones muy importantes.

En primer lugar, el lector tiene derecho a pensar que si hay que gastar corriente en la bobina primaria para obtener corriente en la bobina secundaria no habría objeto en recurrir a este dispositivo. Pero tenemos la primera ventaja en el hecho de que el circuito secundario queda aislado del primario. En segundo lugar la cantidad de espiras con que se hagan las bo-

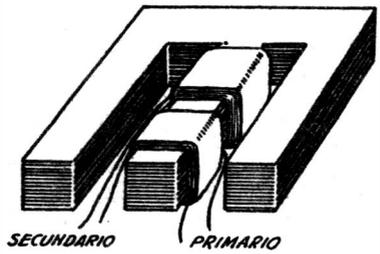


Fig. 29. -- También se colocan las bobinas en un mismo núcleo de hierro.

binas tienen una importancia muy grande, ya que la inducción que se produce depende de la suma de las inducciones parciales en cada espira. Esto quiere decir que si alimentamos la bobina primaria con una tensión alternada de por ejemplo 10 Volt y hacemos la bobina secundaria con un número de espiras 20 veces mayor que la primaria, obtendremos en el cir-

cuito secundario una tensión de 200 Volt, es decir 20 veces mayor.

Otro de los factores importantes en los fenómenos de inducción cuando se emplean corrientes alternadas es la frecuencia de estas corrientes. Cuanto más alta es la frecuencia más grande es el fenómeno de inducción. Luego, en electrónica, para frecuencias altas pueden emplearse bobinas de pocas espiras y para frecuencias bajas deben hacerse con muchas espiras. Si observamos las bobinas de un receptor de radio de on-

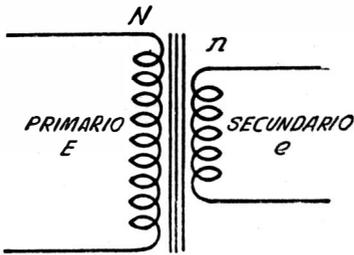


FIG. 30. — Relación entre las tensiones y los números de espiras.

da corta y larga veremos este detalle con toda claridad, pues la llamada onda corta corresponde a las señales de frecuencias más elevadas.

El fenómeno de inducción puede ser aumentado colocando dentro de las bobinas un núcleo de hierro como se muestra en la figura 29. Como el hierro presenta ciertos defectos en su magnetización cuando se trata de campos magnéticos variables, el núcleo se hace con pilas de chapas delgadas. Este conjunto ya toma el nombre de *transformador* y su esquema eléctrico se da en la figura 30. El primario tiene una cantidad N de espiras y se le aplica una tensión eléctrica E ; el secundario se hace con una cantidad n de espiras y en él se obtiene una tensión eléctrica e . Las rayitas colocadas entre las bobinas simbolizan el núcleo de hierro. Cuando el número de espiras del secundario es menor la tensión secundaria es también menor y el transformador se llama *reductor de tensión*. Viceversa, se llama *elevador* cuando el secundario tiene más espiras y por lo tanto suministra una tensión mayor que la del primario.

Qué es un capacitor

Uno de los elementos que juega un papel vital en electrónica es el condensador o capacitor, del cual nos ocuparemos en esta oportunidad. Recordemos primero que un cuerpo cargado de electricidad que se acerca a otro

despierta en él fenómenos eléctricos, es decir electrización por influencia. La figura 31 nos muestra dos cuerpos próximos que no llegan a tocarse. Si uno de ellos tiene cargas eléctricas positivas, como el de la izquierda, cada átomo incompleto ejercerá una poderosa atracción sobre los electrones de los átomos del cuerpo de la derecha, los que se situarán en la parte externa del cuerpo mencionado. Esas cargas eléctricas positivas y negativas permanecen así enfrentadas y en la superficie exterior de los cuerpos.

A esas cargas eléctricas de tipo superficial se las llamó primitivamente *electricidad condensada* por una razón de similitud con la condensación del vapor de agua en la superficie de los cristales. Ese es el motivo por el cual se denominó *condensador* al aparato que consistía en dos placas metálicas colocadas paralelas y próximas, tal como se ilustra en la figura 31. La terminología moderna le asigna el nombre de *capacitor*.

Primero hablamos de dos cuerpos próximos sin interesar la forma de los mismos, pero la lógica nos dice que la acumulación de electricidad será mayor cuanto más grande sea la su-

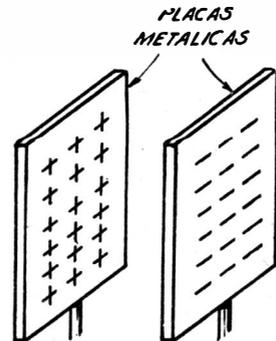


FIG. 31. — Dos placas metálicas enfrentadas forman un capacitor.

perficie enfrentada de los cuerpos, porque de este modo hay una mayor cantidad de átomos que sufren la influencia de los vecinos de enfrente. No interesa para nada el espesor de los cuerpos, razón por la cual el dispositivo se hace con láminas delgadas. También ocurre que la acumulación de cargas eléctricas será mayor cuanto más grandes sean las superficies enfrentadas, dimensión que queda limitada por razones físicas.

Otro de los factores que influyen en la cantidad de electricidad que puede acumular un

capacitor es la distancia entre las placas pero esto tiene un límite. Si acercamos demasiado los dos cuerpos cargados de electricidad la atracción entre las cargas positivas y negativas será tan grande que se producirá un pasaje brusco de las negativas a través del espacio que separa a ambas placas. Esto no es otra cosa que la descarga o chispa eléctrica y la carga que había desaparece, pues los electrones que saltaron completan a los átomos del otro lado y los neutralizan. Hay que establecer, entonces, una distancia mínima entre chapas que no podrá ser disminuída. Como esa distancia dependerá de la fuerza de atracción entre las dos cargas, tenemos que referirnos a la tensión eléctrica entre chapas. Para cada capacitor se determina la tensión máxima que puede soportar sin que se produzca la descarga. Es muy común encontrar en los capacitores cifras escritas que dicen "V.D.T. 500 Volt", que quiere decir: Volt de trabajo 500 Volt. Es de hacer notar que a veces se indica la tensión de prueba, lo que da una cifra un poco mayor. En el uso hay que mantenerse siempre por debajo de la tensión de prueba.

Pensando en aumentar la capacidad, es decir la facultad de admitir cargas eléctricas de los capacitores, se comenzó a colocar, entre las placas, materiales aislantes como la mica, papel parafinado y ciertos líquidos especiales. La figura 32 nos muestra la posición que toma esa

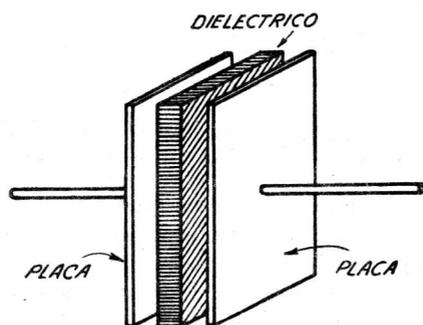


FIG. 32. — Entre las dos chapas pueden colocarse materiales que aumenten la capacidad del capacitor.

sustancia colocada entre las placas, y que se denomina *dieléctrico*. La ventaja del dieléctrico es que también se puede someter al capacitor a una tensión eléctrica más elevada que si entre las placas hubiera aire. Así encontramos que los capacitores se llaman: de *aire*, de *mica*, de *papel*, *electrolíticos*, etc. Las denominaciones corresponden al dieléctrico, y los últimos mencio-

nados son los que llevan sustancias químicas líquidas o pastosas. A veces se trata de papel embebido en tales sustancias, y para hacer una distinción entre los que llevan líquido o papel embebido estos capacitores toman las denominaciones *electrolítico líquido* y *electrolítico seco*.

Constructivamente se busca de aumentar la superficie de las placas de los capacitores sin que adquieran dimensiones incómodas. Lógicamente, a mayor superficie de placas mayor será la capacidad. Los de papel se construyen arrollando dos tiras metálicas entre las que va la tira de papel parafinado o aceitado.

Los capacitores de mica se fabrican con varias hojas metálicas unidas entre sí como si fueran pequeños libritos. Entre las láminas van delgadas hojuelas de mica que las aíslan entre sí y sirven de dieléctrico.

Cada capacitor admite una determinada carga eléctrica y la cifra que caracteriza a esa posibilidad mide la *capacidad* del capacitor. La capacidad tiene su unidad de medida, en la misma forma como se dice que una botella tiene una capacidad de un litro. La unidad elegida para la capacidad de los capacitores era el *Farad* pero resultó demasiado grande, y actualmente se usa la millonésima parte del Farad que se denomina *micro-Farad*. Los capacitores de pequeña capacidad suelen medirse con una unidad que es la millonésima parte del anterior, o sea, en *micro-micro-Farad*. Todos los capacitores tienen indicada la cifra de capacidad, por ejemplo 0,01 mFd, que quiere decir, un centésimo de micro-Farad. En electrónica es usual el empleo de abreviaturas, y en el caso de los capacitores se ha adoptado la norma norteamericana de suprimir el cero y cambiar la coma por un punto, por ejemplo: .01 mFd. para el caso que mencionamos antes. Si el capacitor es pequeño se expresa en la unidad menor, por ejemplo: 50 mmFd., que quiere decir 50 micro-micro-Farad.

Los capacitores descritos hasta aquí tienen capacidad fija, pero a veces se necesitan capacitores variables, es decir aquellos en los cuales se puede modificar a voluntad la capacidad. La figura 33 ilustra sobre algunos de los modelos más comunes. Desde el momento que la capacidad depende de la distancia entre las placas o de la superficie de las mismas, puede variarse la capacidad modificando esa distancia. Tal es el caso del modelo ilustrado en A que corresponde a un trimer de mica. En éstos, mediante un tornillo, se acerca o se aleja una de las placas con respecto a la otra.

En el modelo ilustrado en B se cambia la superficie enfrentada por desplazamiento de un cilindro con respecto al otro. Tanto el A como

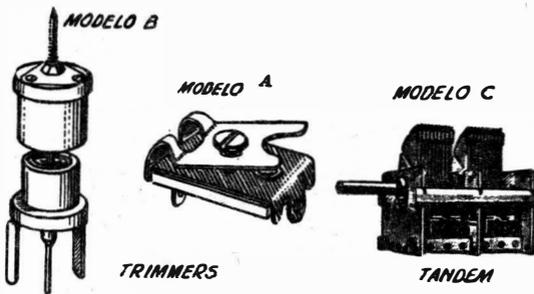


FIG. 33. — Los capacitores variables son conocidos a simple vista.

el B corresponden a los capacitores denominados trimmers, y en los cuales la variación de capacidad es ocasional cuando se realizan ajustes en el circuito.

Cuando se debe variar frecuentemente la capacidad de un capacitor se construye el modelo rotativo mostrado en C de la figura 33. Al girar un paquete de chapas se disminuye la superficie enfrentada con respecto al otro paquete que queda fijo. Este tipo de capacitores variables rotativos pueden tener dos, tres o cuatro secciones alterándose la capacidad de todas éstas simultáneamente, por estar montadas en tándem sobre un mismo eje. Por este motivo suele denominarse a estos modelos: *tándem doble*, *tándem triple* y *tándem cuádruple*, según el número de secciones.

Por qué se usan capacitores

Ya sabemos qué es un capacitor y cómo se comporta acumulando cargas eléctricas. En las aplicaciones prácticas los capacitores aparecen

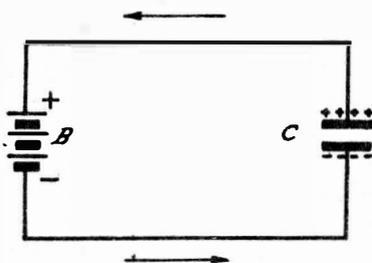


FIG. 34. — El circuito de carga y descarga de un capacitor.

en los circuitos más o menos en la forma como se muestra en la figura 34. Tiene que haber

una fuente eléctrica para cargarlos, y en este caso se trata de la batería B. Tenemos que acostumbrarnos a utilizar los símbolos usuales en electrónica porque a medida que aparezcan circuitos se requiere interpretarlos rápidamente para comprender su funcionamiento. Una batería es un conjunto de pilas, y en la figura aparecen sólo tres de ellas, pero en la práctica pueden ser muchas más. También pueden utilizarse otras fuentes eléctricas que no sean baterías, pero de esos temas nos ocuparemos oportunamente.

Por ahora tenemos un circuito en el cual hay una batería B con dos polos eléctricos, el positivo y el negativo y un capacitor C que se carga con los signos indicados en la figura. La placa superior queda cargada de electricidad positiva y la placa inferior de electricidad negativa. En el momento de la carga circula corriente eléctrica por los conductores en el sentido indicado por las flechas, y una vez cargado el capacitor termina la circulación de corriente. En ningún momento el espacio entre las placas del capacitor es atravesado por las cargas eléctricas.

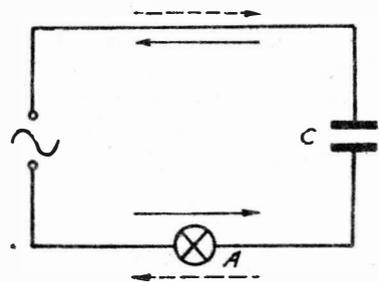


FIG. 35. — Cuando la fuente es de corriente alterna, las cargas y descargas son permanentes.

Todo lo que hemos descrito ocurre cuando se carga un capacitor con una fuente de corriente continua. Veamos qué ocurre cuando se aplica a dicho capacitor una carga de corriente alternada, para lo cual nos remitimos a la figura 35. Sabemos que en la corriente alternada varía constantemente el sentido de circulación y en cada ciclo de la misma se producen dos cambios durando cada uno de ellos medio ciclo. Esto quiere decir que durante medio ciclo el capacitor se cargará con los signos de la figura 34 y durante el otro medio ciclo con los signos opuestos, es decir cargas negativas en la placa superior y positivas en la inferior. La corriente eléctrica que circula mientras se carga el capacitor circulará por los cables, y durante medio ciclo según las flechas de línea llena y durante el otro

medio ciclo según las flechas de líneas punteada. También en este caso las cargas no atraviesan el capacitor, pero si pudiéramos observar el cable en el punto marcado con la letra *A* en la figura, mediante un aparato indicador de la circulación de corriente, comprobaríamos que por ese punto hay circulación constante de ida y de

una carga fija, es decir, con signos eléctricos similares a los de la figura 34. A la salida del circuito tendremos libre la corriente alternada que puede ser conducida a otro lugar mediante conductores.

Qué es un filtro

Un dispositivo que deja pasar una cosa de una mezcla reteniendo otras se denomina *filtro*. Así, por ejemplo, el agua turbia se hace pasar por un filtro en el que quedan retenidas las partículas en suspensión, siguiendo su camino el agua limpia. En electrónica sólo circula corriente eléctrica y por consiguiente los filtros conservan ese nombre pero dejarán pasar algunos tipos de corrientes e impedirán la circulación de otros tipos.

Podríamos expresar ya que dos corrientes continuas al mezclarse no pueden separarse más sino subdividirse, por el hecho de que son homogéneas y la adición forma un todo. Dos porciones de agua están en el mismo caso, pero una mezcla de agua y aceite permite obtener separadamente ambos componentes, pues se separan con facilidad. En el caso de las corrientes eléctricas pueden mezclarse y volver a separarse una continua y una alternada o dos alternadas de distinta frecuencia. Si estas dos últimas son de la misma frecuencia, caemos en el mismo caso de las dos corrientes continuas y no hay filtro que pueda separarlas. Con esto queremos decir que al mezclarse los electrones de corrientes del mismo tipo ya no se puede deshacer esa mezcla, aunque se subdivida tal corriente en varias fracciones.

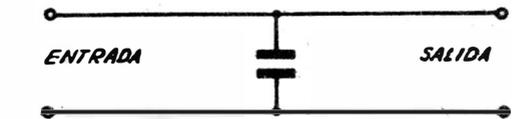


FIG. 38. — Un capacitor absorbe corrientes de alta frecuencia y constituye un filtro.

FIG. 36. — Gráfica de superposición de una corriente continua y otra alterna.

vuelta como si por el circuito circulara la corriente alternada. Todo pasa como si el capacitor no presentara una interrupción en el circuito, lo que ha permitido hacer la errónea afirmación de que la corriente alternada *pasa por los capacitores*. Esto no es rigurosamente cierto, pero a los efectos prácticos puede admitirse, ya que el resultado es el mismo. En adelante, entonces, podremos decir que la corriente continua no pasa a través de un capacitor y que la alternada sí pasa o, por lo menos, que las cosas ocurren como si pasara.

De inmediato se nos ocurre una de las explicaciones más importantes de los capacitores, que es la de separar una mezcla de corriente continua y alternada. La figura 36 nos muestra tres gráficos: el primero es la representación de una corriente continua, el segundo la de una alternada, ambas ya conocidas por los lectores, y el tercero es el resultado de sumar los dos gráficos, es decir que es una mezcla de las dos

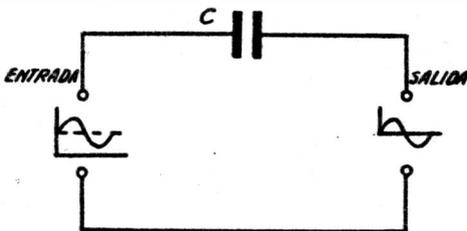


FIG. 37. — Un capacitor sirve para separar una corriente alterna de otra continua que estaba mezclada.

corrientes; la continua y la alternada. Apliquemos esa corriente mezcla al circuito de la figura 37 que encontrará en su camino al capacitor *C*. Como la parte de corriente continua no puede atravesar el capacitor *C*, quedará en él como

rarse una continua y una alternada o dos alternadas de distinta frecuencia. Si estas dos últimas son de la misma frecuencia, caemos en el mismo caso de las dos corrientes continuas y no hay filtro que pueda separarlas. Con esto queremos decir que al mezclarse los electrones de corrientes del mismo tipo ya no se puede deshacer esa mezcla, aunque se subdivida tal corriente en varias fracciones.

El caso más elemental del filtro lo vemos en las figuras 38 y 39, pues emplea únicamente un capacitor. Se usa para separar corriente alternadas de distintas frecuencias que llegan mezcladas a la entrada. Sean dos corrientes, una de alta y otra de baja frecuencia, por ejemplo 50 y 10.000 ciclos por segundo respectivamente. En el caso de la figura 38 la corriente de alta frecuencia pasará fácilmente por el capacitor mientras que la de baja frecuencia encontrará

en el mismo una impedancia elevada y continuará su camino hacia la salida. En la figura 39 ocurre precisamente lo contrario, es decir que la corriente de alta frecuencia seguirá su camino por encontrar en el capacitor una impedancia baja mientras que la corriente de baja frecuencia no puede pasar con esa facilidad. Aclaremos antes de seguir adelante que en la figura 38 el filtro es imperfecto porque nada

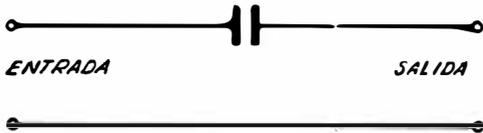


FIG. 39. — Un capacitor en el camino de corrientes de baja frecuencia obstaculiza su circulación, y también se tiene un filtro.

impide que las corrientes de alta frecuencia también sigan su curso, de manera que habrá que poner en el camino algo que les presente alta impedancia; precisamente ahora nos ocuparemos de ello.

Recordando la propiedad de las bobinas, que reaccionaban ante campos magnéticos variables, comprenderemos de inmediato que si pasa corriente alternada por una bobina, el campo magnético que se produce será también alternado y, por consiguiente, variable. Luego estamos en presencia de una bobina sumergida en un campo magnético variable o sea que se inducirán en ella fenómenos eléctricos. Por un principio muy conocido de física los fenómenos eléctricos que aquí aparecen tratan de anular la causa que los origina, es decir tienden a impedir que varíe el campo magnético o sea producen un efecto de impedimento sobre la corriente alternada que circula por la bobina. Luego, una bobina impide el pasaje de la co-

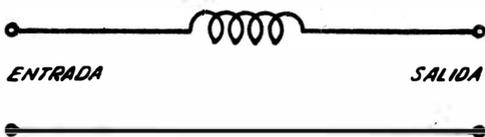


FIG. 40. — Una bobina en el camino de las corrientes de alta frecuencia obstaculiza su circulación; tenemos un filtro.

rriente alternada en mayor o menor grado, es decir que ofrece impedancia. Como cuanto más alta es la frecuencia, más rápido varía el campo magnético, más grande serán los fenómenos de

inducción, y esto se traduce en que la bobina tendrá mayor impedancia cuanto más alta sea la frecuencia.

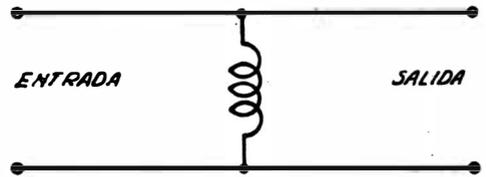


FIG. 41. — La bobina absorbe las corrientes de baja frecuencia.

De inmediato advertimos que el comportamiento de las bobinas es inverso al de los capacitores en cuanto se refiere al grandor de la impedancia con respecto a la frecuencia. Si queremos hacer filtros con bobinas tendremos las posibilidades indicadas en la figura 40 y 41. Si entran dos corrientes de distinta frecuencia en la figura 40, la de baja frecuencia seguirá su camino, por encontrar una impedancia baja, mientras que la de alta frecuencia sufrirá el efecto del filtro. En la figura 41, en cambio, la corriente de baja frecuencia puede pasar por la bobina, mientras que la de alta frecuencia debe seguir su camino, porque la bobina le ofrece alta impedancia. Claro está que el filtro de la figura 41 tiene un defecto parecido al de la figura 38 y es que nada impide a las corrientes de baja frecuencia seguir también su camino hacia la salida.

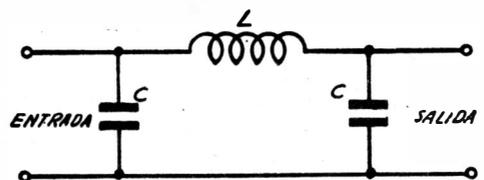


FIG. 42. — Filtro más completo, llamado "pi".

Estudiaremos ahora el filtro de la figura 42 que no tiene ninguno de los inconvenientes mencionados anteriormente. Si entran dos corrientes, una de alta y otra de baja frecuencia, la de alta pasa por el capacitor y no por la bobina, con lo cual no llegará a la salida. La de baja frecuencia no puede derivarse por el capacitor y pasa por la bobina llegando a la salida. Este filtro también sirve para separar una mezcla de corriente continua y alternada, pues la continua circula con toda facilidad por la bobina mientras que la alternada se deriva por el capacitor.

Día 3

Hemos realizado un somero estudio de la electricidad, especialmente destinado a definir la corriente eléctrica en sus dos tipos: continua y alterna. El tema tratado podría haber sido desarrollado con mucha mayor extensión, ya que hay libros enteros destinados a ello; pero nuestro objetivo no es éste; tenemos que dedicarnos a la electrónica industrial, y para tal fin hay que abordar otros principios tanto o más importantes. En la presente jornada, por ejemplo, nos ocuparemos de las válvulas, dispositivos electrónicos por esencia, en las cuales veremos corrientes eléctricas que circulan sin necesidad de cables y otras particularidades tanto o más interesantes. La técnica moderna incluye válvulas en los diseños de aparatos diversos, de modo que ya no se puede limitar su estudio a la radio o la televisión, debiéndose incluir en otras ramas de la electrónica.

LAS VALVULAS ELECTRONICAS

El nombre de válvula con que se conoce a los dispositivos que estudiaremos en esta oportunidad proviene de la comparación con fenómenos hidráulicos considerados similares, pues una válvula es un aparato que deja pasar o no un líquido, según esté abierta o cerrada. Claro está que en el caso de las válvulas electrónicas esa función puede realizarse con la corriente o fluido eléctrico, pero no es la más importante de las misiones que cumplen estos maravillosos dispositivos.

La emisión electrónica

Recordemos que la corriente eléctrica al circular por los conductores produce calor, y que si ese conductor es suficientemente delgado y la corriente bastante intensa se produce luz por incandescencia del metal. En los aparatos eléctricos que dan calor, como calentadores, planchas, etc. no se busca el estado de incandescencia, pues basta que los alambres queden al rojo para que la cantidad de calor producida sea suficiente. En las lámparas eléctricas, como la de la figura 10, en cambio, se necesita llevar el filamento a la incandescencia porque hay que producir luz.

Pero es el caso que observando las ampollas de vidrio de lámparas eléctricas, se nota con el tiempo un ennegrecimiento del cristal tal como si se desprendieran finísimas partículas del fila-

mento y se proyectaran sobre el vidrio. Los observadores investigaron el motivo de este fenómeno y así fue descubierta la emisión electrónica, fenómeno en el cual se apoya toda la ciencia de la electrónica de hoy día. Ocurre que un alambre metálico al estado de incandescencia despiden electrones de su masa con violencia, tal como lo quiere representar la figura 43.

En realidad no es posible dar una explicación rigurosamente científica, por una parte porque no está suficientemente demostrado por los investigadores, y por otra porque hay que evitar las explicaciones complejas de las ciencias físico-matemáticas. Lo que recordaremos por haberlo dicho antes es que los electrones que circulan por un cable, y esto es la corriente eléctrica, rozan a su paso con los átomos del material del cable, además de rozarse entre sí. Cuando aumenta la temperatura de un átomo, aumenta también la velocidad con que los electrones giran alrededor del núcleo central de manera que el giro se hace más vertiginoso. Para aclarar lo que entonces puede ocurrir, imaginemos por un momento que atamos una piedra a un hilo y que la hacemos girar a gran velocidad (véase Fig. 44). Si se aumenta exageradamente esa velocidad de giro el hilo se rompe y la piedra sale desprendida violentamente, alejándose del centro que la mantenía y que es la mano del operador. Bueno, llevemos este problema a nuestro átomo y supongamos que

por el pasaje de muchos electrones, o sea de corriente eléctrica, el átomo se calienta. Con ello aumenta la velocidad de giro de sus propios electrones internos, independientes de los que

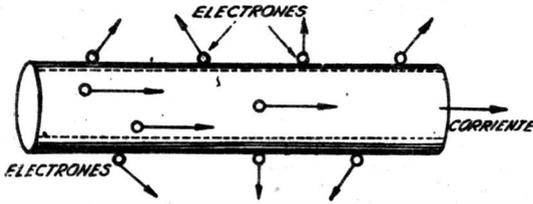


FIG. 43.— La emisión de electrones por un metal incandescente.

están pasando, y ocurre que se rompe o se vence el vínculo que los mantiene ligados al centro o núcleo. No hay aquí piolines, pero las fuerzas atómicas obran como si los hubiera. Desaparecidos esos vínculos, los electrones se desprenden del átomo, no todos sino algunos de ellos, y ocurre lo que habíamos representado en la figura 43. Claro que es fácil imaginar que el desprendimiento de electrones será superficial y no en el interior de la materia del cable, porque los electrones desprendidos de los átomos de más adentro pasan de unos a otros o por los espacios interatómicos, y salen finalmente al exterior. Esto es la emisión electrónica de que hablamos antes.

Para que se produzca emisión electrónica de un metal es necesario que se lleve a éste al estado de incandescencia, pero no interesa que circule por él corriente eléctrica, pues los electrones desprendidos nada tienen que ver con los que recorren el cable de uno de sus extremos hacia el otro. Para demostrar esto, no hay más que colocar un tubito metálico por el exterior del alambre incandescente por el que circula la corriente eléctrica (ver Fig. 45). El

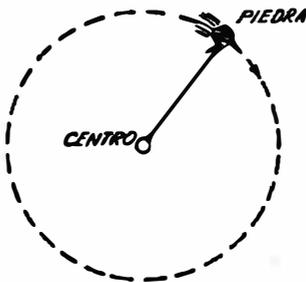


FIG. 44.— Si aumenta la velocidad de giro, la piedra rompe el hilo y sale desprendida con velocidad vertiginosa.

tubito se calienta por el calor irradiado por el alambre y emite electrones. En la práctica el alambre se llama *filamento* pero cuando se coloca un tubito por fuera, el alambre no hace otra función que calentarlo y toma el nombre de *calefactor*. El tubito se denomina *cátodo* y se usa en las válvulas electrónicas.

Tenemos entonces que producimos emisión electrónica por incandescencia de un alambre o de un tubito, este último calentado al rojo blanco por el alambre. Nos desprecupamos entonces del problema de la corriente que recorre ese alambre, pues no nos interesa. Surge ahora el problema de saber para qué sirve la emisión electrónica, cómo se hace para encauzarla y para aumentarla. Esto es lo que contestaremos de inmediato.

Pongamos un filamento en la forma como lo demuestra la figura 46, y le conectamos una pila eléctrica para hacerle circular una corriente

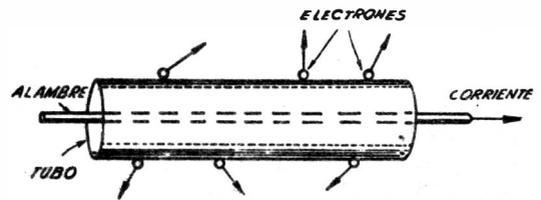


FIG. 45.— Un tubito calentado por un filamento incandescente también puede emitir electrones.

que lo calentará hasta la incandescencia. Los electrones desprendidos saldrán en todas direcciones, es decir, desordenadamente. Pero también colocamos una plaquita o una chapita a la que desde ya denominaremos *placa* o *ánodo*. Y a esa placa que es de metal le damos polaridad eléctrica positiva, en la forma como veremos más adelanté. Los electrones desprendidos del filamento son cargas eléctricas negativas y por consiguiente serán atraídas por la placa positiva y todos se dirigirán violentamente hacia esa placa. Como la emisión electrónica consta de muchos, muchos electrones, habrá una verdadera nube o haz macizo de ellos que correrá desde el filamento hacia la placa. Tenemos ya encausado ese flujo electrónico que sigue una dirección bien definida.

Pero hay algo más. La placa tiene carga eléctrica positiva y ejerce su atracción sobre los electrones que están en el filamento y que no alcanzan a salir por efecto del calentamiento. Al haber una fuerza de atracción, salen del filamento y engrosan el flujo electrónico. Con

la placa positiva aumentamos entonces la emisión electrónica.

Ahora veamos los detalles prácticos de esta cuestión. Primero tenemos que dar a la placa un potencial o carga eléctrica positiva, o por lo menos una carga eléctrica o potencial que sea más positiva que la del filamento. Para ello puede emplearse una batería como la ilustrada en la figura 46, que tiene una tensión eléctrica de 45 Volt, por ejemplo. Esta batería tiene dos polos, el positivo y el negativo, y para dar a la placa un potencial positivo o más positivo que el del filamento, conectaremos a ella el polo positivo de la batería y el negativo de la misma será conectado al filamento.

La pila que alimenta al filamento nada tiene que ver con la batería de placa, que sabemos tiene otra finalidad. Al conectar a la placa el polo positivo de la batería y al filamento el negativo de ella, se establece un flujo de electrones que parte del filamento y llega a la placa. ¿Y ahora qué pasa? ¿Esos electrones se quedan allí? No, siguen su camino por el cable, la batería y llegan nuevamente al filamento, donde forman parte en su recorrido del flujo electrónico emitido. Pero esto no es otra cosa que una corriente eléctrica, que por su característica se llama *corriente de placa* y que

tiene dos bornes o extremos para ser conectado al circuito que lo alimente. Tal alimentación no es otra cosa que una fuente eléctrica que hace pasar por el filamento una corriente capaz de llevarlo al estado incandescente.

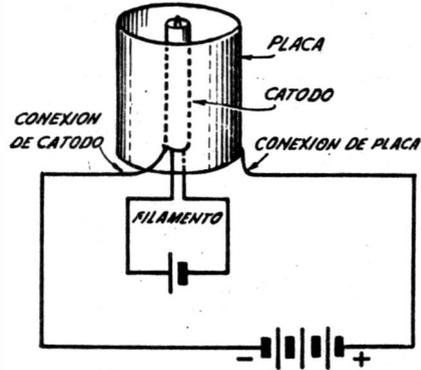


FIG. 47 — Aquí vamos completando el circuito de la válvula.

El filamento debe ser alimentado con corriente continua y en los receptores modernos eso hubiera sido un inconveniente, porque en las grandes ciudades hay distribución de corriente alternada. Por tal motivo se ha ideado el agregar un tubito alrededor del filamento y muy cerca de él, de modo que al estar el filamento incandescente el fluido se calienta y se pone a su vez incandescente. Ahora tenemos, según se ve en la figura 47, dos circuitos eléctricos absolutamente independientes, pues el filamento está alimentado por una fuente que puede ser de corriente continua o alternada ya que no tiene ningún punto de contacto con el circuito de placa. El polo positivo de la batería de placa se conecta a la placa y el polo negativo se conecta al tubito, que se llama *cátodo*. La corriente de placa circula por el circuito grande de la figura 47 sin inconvenientes. El cátodo se hace con sustancias muy ricas en electrones como son los óxidos de bario, torio, estroncio, etc., que son metales raros cuyos átomos tienen una gran cantidad de electrones. De este modo se favorece la emisión de electrones.

La válvula construida según la figura 47 se denomina: *de calentamiento indirecto*. En electrónica se acostumbra a representar todos los elementos por símbolos, por lo que damos en la figura 48 los correspondientes a los tipos de válvulas descritos hasta ahora: el de la izquierda es la válvula de calentamiento directo y la de la derecha, de calentamiento indirecto, por lo que su símbolo tiene cátodo. En esta segunda

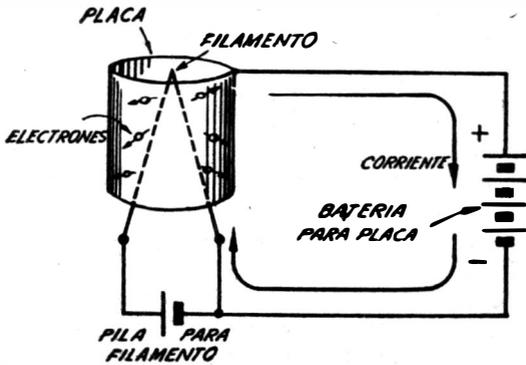


FIG. 46. — Ya tenemos el circuito elemental de una válvula electrónica.

nada tiene que ver con la corriente de filamento. Hemos conseguido hacer pasar corriente por un circuito abierto, pues el filamento está separado de la placa. El salto de la corriente es posible porque el filamento incandescente despidió los electrones, los que saltan el espacio hasta la placa atraídos por la carga eléctrica positiva de ésta.

Componentes de una válvula

Para comenzar podemos postular que las válvulas de radio tendrán siempre un filamento que

válvula el filamento tiene una función puramente auxiliar como es la de calentar el cátodo por lo que es común denominarlo *calefactor*. Las válvulas como las descritas que tienen dos

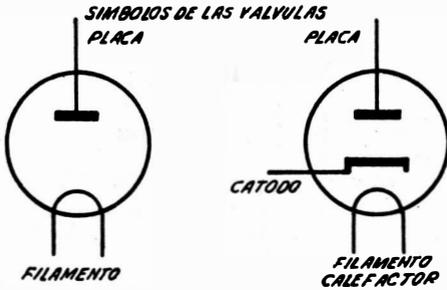


FIG. 48. — Símbolos de los diodos o válvulas de dos electrodos.

elementos o electrodos activos se denominan: *diodos* (de di = dos; odo = electrodo). Hacemos notar que cuando el filamento es solamente calefactor no se cuenta como electrodo activo.

Qué es un diodo

Ya conocemos el principio de funcionamiento de la válvula electrónica o termoiónica la que en adelante denominaremos simplemente *válvula*. Nos proponemos ahora estudiar el diodo, o sea la válvula de dos electrodos: la placa y el cátodo, cuya representación podemos ver en

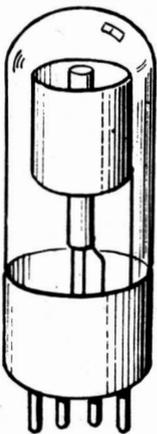


FIG. 49. — Aquí tenemos un diodo terminado, con su bulbo.

la figura 47 en sus detalles constructivos y en la figura 48 en su símbolo. El cátodo es un tubito de pequeño diámetro construido con sustancias químicas ricas en electrones, y la placa es un cilindro a veces algo achatado de

diámetro bastante mayor. Para conectarlos al circuito tienen soldados sendos alambres cuyos terminales se reconocen con las iniciales *c* y *p*. El conjunto está colocado dentro de una ampolla o bulbo de vidrio que puede tener el aspecto indicado en la figura 49 o similar. En la base se ven las patas que sirven para enchufarla en el zócalo que es el elemento adonde se hacen las conexiones en el circuito, porque cuando se deteriora la válvula, sin necesidad de hacer nuevas soldaduras se desenchufa y se coloca una nueva. El mínimo de patas es cuatro y la razón la encontramos en la figura 48.

Veamos cómo funciona el diodo. Como es más simple explicarlo en el de calentamiento indirecto, que es el que tiene cátodo, a él nos referiremos. La figura 50 nos muestra un diodo al que le hemos conectado una batería, con el polo positivo hacia la placa y el negativo hacia el cátodo. Obsérvese que el filamento está ali-

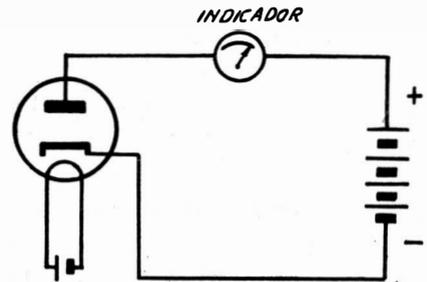


FIG. 50. — El circuito de un diodo con el instrumento indicador de la corriente de placa.

mentado independientemente con una pila, la cual hace pasar por él la corriente que lo pondrá al rojo blanco para que a su vez pueda calentarse el cátodo.

Si la placa está unida al polo positivo de la batería adquiere carga eléctrica positiva y los electrones desprendidos del cátodo por su propia incandescencia serán atraídos por la placa y se establece un circuito cerrado por el que circula corriente eléctrica. Como hemos intercalado un instrumento indicador, el mismo acusará el pasaje de esa corriente cuyo valor por el momento no nos interesa, pues eso pertenece al diseño de los circuitos. Hagamos ahora un cambio en el esquema colocándolo en la forma como se ve en la figura 51. Ahora, la batería tiene su polo negativo unido a la placa y el positivo unido al cátodo. Los electrones desprendidos del cátodo por la incandescencia son cargas negativas y por lo tanto serán rechazados por la placa que está cargada negativamente y no llegarán

a la misma. El instrumento indicador no acusará ninguna corriente porque no se establece circuito cerrado. De lo dicho deducimos cuál es el comportamiento de la válvula diodo, que permite circular corriente a través de la misma solamente cuando la placa es positiva con respecto al cátodo o lo que es lo mismo cuando el cátodo es negativo con respecto a la placa.

En los circuitos modernos el filamento del diodo no se alimenta siempre con una pila, pues es más común hacerlo con un transformador en la forma como se ve en la figura 52. Más adelante estudiaremos en detalle este nuevo ele-

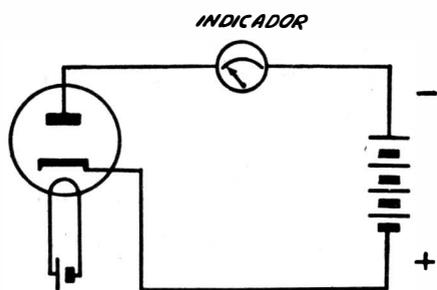


FIG. 51. — Invertiendo la polaridad de la batería no hay paso de corriente de placa.

mento de circuitos. El bobinado primario de ese transformador se conecta directamente a la red eléctrica de 220 Volt, corriente alternada y el bobinado secundario que tiene muchas menos espiras suministra la tensión que requiere el filamento del diodo que es generalmente un valor bajo, alrededor de 5 a 6 Volt. La placa y el cátodo quedan libres para ser conectados al circuito donde se requiere la conexión de un diodo para realizar el trabajo del cual nos ocuparemos oportunamente.

Hasta ahora hemos hablado del diodo de calentamiento indirecto o sea el que tiene cátodo. Muchas veces los diodos no tienen cátodo y los

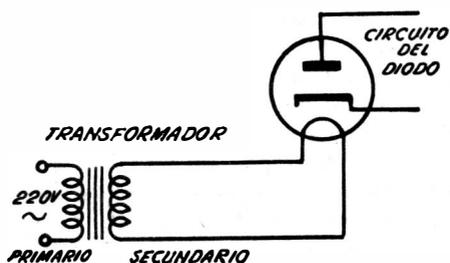


FIG. 52. — El filamento de la válvula se alimenta con una fuente auxiliar.

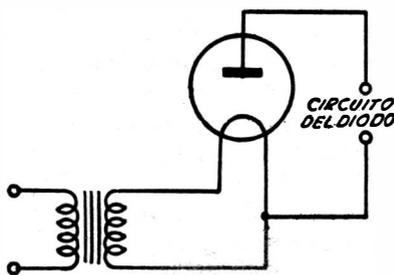


FIG. 53. — En el diodo sin cátodo el filamento asume ese papel.

electrones son desprendidos directamente por el filamento. En tal caso la válvula se conecta en la forma como se ve en la figura 53 alimentando el filamento con el mismo transformador, pero en este caso uno de los extremos del filamento debe ser conectado al circuito del diodo porque llena la doble función de filamento y cátodo. Hay ahora dos circuitos que pueden considerarse independientes. Por el de filamento circula una corriente que recorre el bobinado secundario del transformador y dicho filamento. Por otra parte, la otra corriente que es la del diodo propiamente dicho circula entre el filamento y la placa y por el circuito exterior. Aparentemente hay una mezcla de esas dos corrientes ya que vemos que el filamento está formando parte de los dos circuitos, pero en la práctica ese detalle no preocupa porque no causa ningún in-

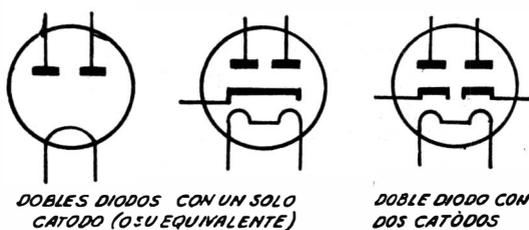


FIG. 54. — Símbolos de distintos tipos de diodos.

conveniente. Esto sólo tiene importancia en el caso de que el filamento esté alimentado con corriente alternada y que esa clase de corriente pueda introducir perturbaciones en el circuito del diodo. En tal caso no debe usarse diodo sin cátodo sino que hay que emplear el otro tipo.

En la práctica no siempre se emplean diodos simples sino que son más comunes los dobles. En la figura 54 hemos dibujado los símbolos de los diodos dobles que encontraremos en los circuitos electrónicos. Los dos primeros tienen dos

placas y un solo cátodo. En realidad el primero no tiene ningún cátodo, pero sí un filamento que oficia como tal. El tercero es un doble diodo con placas y cátodo independientes. Los de un solo cátodo sólo pueden emplearse en circuitos con dos entradas de corriente pero que tengan vinculación entre sí, mientras que el tercero, con dos cátodos, puede ser empleado de tal manera que cada uno de los diodos realice distintas funciones.

Qué es un triodo

Veamos ahora la inclusión dentro del diodo de un elemento que marcó en realidad el comienzo de la electrónica. Se trata de la *grilla* a la que primitivamente se llamó *rejilla*. En la figura 55 vemos los elementos constituyentes de la válvula triodo, es decir los tres electrodos que son ahora el cátodo, la grilla y la placa. Se ha intercalado en el espacio que media entre el cátodo y la placa, un enrejado hecho con alambre sumamente delgado. Esta grilla lleva una carga eléctrica negativa con respecto al cátodo, para lo cual se conecta una batería con su polo positivo unido al cátodo y su polo negativo unido a la grilla. Independientemente de esta batería está la otra que lleva el polo negativo unido al cátodo y el positivo a la placa.

Digamos que los espacios libres del enrejado de la grilla son lo suficientemente grandes para que los electrones pasen cómodamente por ellos. Si la grilla no tuviera ninguna carga eléctrica todos los electrones desprendidos del cátodo la atravesarían para llegar a la placa, salvo algunos pocos que al chocar con los alambres de la grilla quedarían en ella, pero este detalle carece de importancia para lo que estamos considerando.

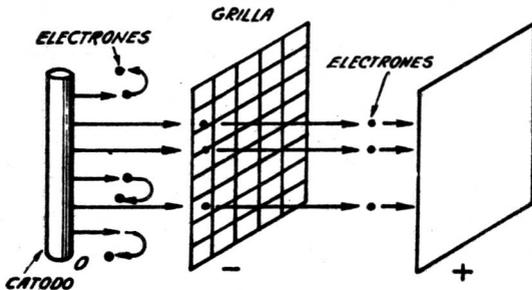


FIG. 55. — Principio de funcionamiento del triodo.

En realidad, la grilla tiene una carga eléctrica negativa de manera que las cosas ocurren como

se muestra en la figura 55. Algunos electrones al llegar a la grilla encuentran una carga eléctrica que tiene su mismo signo, es decir negativo, y son rechazados volviendo hacia atrás. Otros logran vencer la repulsión de la carga negativa, atraviesan la grilla y llegan a la placa. Es lógico pensar que la cantidad de electrones rechazados va a depender del efecto de rechazo de la grilla, es decir del potencial eléctrico que a ella se le aplique. Dicho en otras palabras: cuanto más negativa sea la grilla, mayor será la cantidad de electrones rechazados por la misma y menor

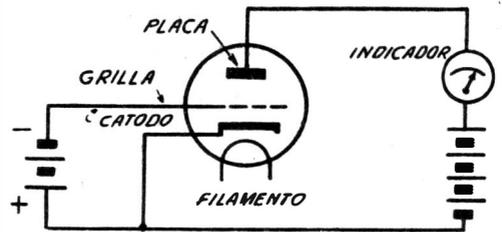


FIG. 56. — Esquema o circuito con una válvula triodo.

la de los que llegan a la placa. Recordemos que si bien en la figura 55 hemos dibujado seis electrones salientes del cátodo, de los que tres son rechazados y tres pasan de largo por la grilla, en la realidad la cantidad es infinitamente mayor.

Si pasamos ahora al esquema práctico, al que debemos acostumbrarnos siempre, pues es el lenguaje gráfico usual en electrónica, encontramos en la figura 56 el equivalente completo de la figura 55 de antes. La válvula triodo o directamente el *triodo*, tiene ahora dentro del círculo que representa la ampolla cuatro símbolos. Uno de ellos, el filamento, no desempeña más que el papel auxiliar de calentar el cátodo, por lo que no se lo toma en cuenta para el funcionamiento de la válvula.

Los tres restantes son el cátodo, la grilla y la placa. La grilla lleva aplicado el polo negativo de una batería cuya tensión eléctrica total siempre es menor que la de la otra batería, la de la placa, la que tiene su polo positivo conectado a la placa. Al cátodo quedan unidos el polo positivo de la batería de grilla y el polo negativo de la batería de placa. Además, se ha intercalado un instrumento indicador que acusa el pasaje de la corriente de placa de la válvula, pues sabemos que esa corriente eléctrica existe por cerrarse el circuito a través del espacio dentro de la ampolla.

Para comprobar mejor el funcionamiento de

la grilla completaremos el circuito visto en la forma como lo muestra la figura 57. La batería de grilla no está conectada directamente a este elemento sino a una resistencia variable R . El cursor o contacto deslizante de dicha resistencia va conectado a la grilla. Deslizándolo el cursor se da a la grilla un potencial negativo mayor o menor, a voluntad. Cuando más se sube el cursor hacia el extremo superior de la resistencia R , más negativa será la grilla. Por lo que hemos dicho anteriormente deducimos

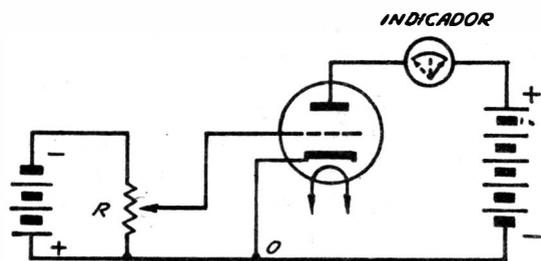


FIG. 57. — Si variamos la tensión en la grilla se altera la corriente de placa.

que cuanto más negativa se va haciendo la grilla menos electrones logran atravesarla, es decir que será menor la cantidad de ellos que llegan a la placa. En consecuencia, la corriente de placa se irá reduciendo y la aguja del instrumento indicador retrocederá acusando esa disminución de la corriente. Viceversa, si bajamos el cursor, la grilla se hace menos negativa, llegan más electrones a la placa y aumenta la corriente de placa, con lo que la aguja del indicador avanzará.

Hay dos situaciones especiales que conviene destacar. Una es cuando el cursor llega al extremo inferior de la resistencia R y eso indica que la grilla no se aplica a ningún potencial negativo, puesto que ella queda unida directamente al cátodo. En ese caso, todos los electrones que salen del cátodo llegan a placa y la corriente de placa será máxima. El instrumento indicador acusa el máximo de la escala y la válvula queda convertida en un diodo, pues todo pasa como si la grilla no existiera.

La otra situación es cuando el potencial negativo de la grilla se hace tan grande que la misma rechaza a todos los electrones que llegan a ella. En este caso no llega ningún electrón a la placa y la corriente de placa no existe. El instrumento indicador marca cero y la válvula deja de funcionar como tal. El valor de la tensión negativa de grilla que es capaz de anular

la corriente de placa toma el nombre especial de *tensión de corte* y esto tiene interesantes aplicaciones en electrónica de las que nos ocuparemos oportunamente.

Qué es un pentodo

En realidad, en el triodo ocurre un inconveniente que limita sus posibilidades cuando se quiere obtener un rendimiento elevado. Sucede que en las vecindades del cátodo quedan muchos electrones que no han salido con suficiente fuerza como para ser atraídos por la placa, y si a ello sumamos el efecto de rechazo que ejerce la carga negativa de grilla, es fácil entender que se formará en torno al cátodo una especie de nube de electrones inertes que se denomina *carga de espacio* o *carga espacial*. Estos electrones no sirven para nada y estorban a los otros que podrían llegar a la placa, de tal manera que los triodos han quedado relegados a las aplicaciones donde se requiere una fuerte corriente de placa o un elevado rendimiento.

La solución a ese estado de cosas se ha conseguido intercalando entre la grilla y la placa otra grilla que se denomina "pantalla", según lo muestra la figura 58. Esta pantalla es un

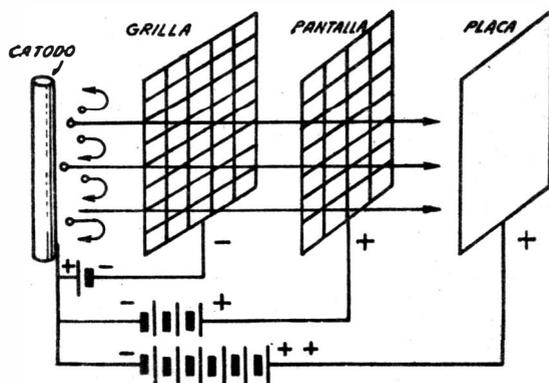


FIG. 58. — La inclusión de otra parrilla o grilla nos da el tetrodo.

enrejado similar al de la grilla y lleva una carga eléctrica positiva, pero no tan alta como la de placa. En la figura hemos conectado una batería para la pantalla, cuyo polo positivo queda unido a ella y que a simple vista se destaca por su símbolo que tiene menor potencial que la batería de placa que ya nos es conocida. El funcionamiento de la pantalla es el siguiente: Como tiene carga eléctrica positiva, atrae los electrones emitidos por el cátodo colaborando con la placa en esta función, pero como está

más cerca del cátodo, ejerce sobre ellos una acción muy enérgica. Los electrones que llegan a la pantalla siguen su camino porque el po-

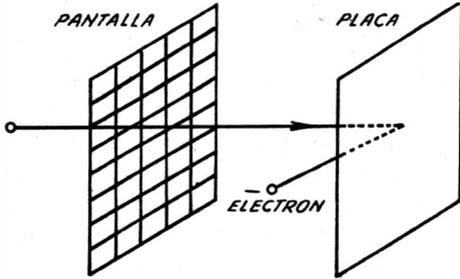


FIG. 59.— La emisión secundaria resta electrones a la emisión principal.

tencial positivo de placa es mayor que el de pantalla. No obstante, algunos quedan en la pantalla, formándose una corriente eléctrica que cierra el circuito pasando por la batería, el cátodo y el espacio entre el cátodo y la pantalla, y que hace disminuir la corriente de placa.

La acción aceleradora de la pantalla sobre los electrones emitidos por el cátodo no entorpece la función de la grilla, que con su carga eléctrica negativa rechaza algunos electrones, con lo que se controla la intensidad de la corriente de placa en igual forma que en los triodos. Una válvula constituida por estos cuatro elementos o electrodos, tal como aparece en la figura 58, se llama *tetrodo* y durante mucho tiempo fue considerada superior al triodo por tener mayor rendimiento que éste. Pero como siempre ocurre en la técnica, pronto se le encontró el inconveniente que

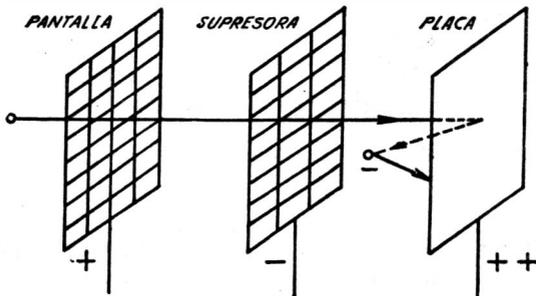


FIG. 60.— Una tercer grilla, la supresora, elimina la emisión secundaria, y tenemos el pentodo.

impedía alcanzar en el tetrodo los elevados rendimientos que se esperaban.

Ocurría que al actuar la pantalla, los electrones adquirían una gran aceleración y llegaban a la placa chocando contra ella y provo-

cando desprendimiento de electrones propios de la placa. Este desprendimiento de electrones que ocurría en la placa fue denominado *emisión secundaria*, y en la figura 59 representamos uno de ellos que sale de la placa al chocar contra ella uno de los electrones acelerados por la pantalla.

Los electrones son cargas negativas y al encontrarse desprendidos de la placa llegan a las proximidades de la pantalla, con lo que serán atraídos por ésta. Este inconveniente obligaba a reducir la tensión de la pantalla para no acelerar tanto los electrones y para que una vez producida la emisión secundaria, no fueran atraídos por la pantalla los electrones desprendidos de la placa.

A grandes males grandes remedios: inmediatamente de descubierto el inconveniente se le encontró solución intercalando entre la pantalla y la placa una tercera grilla, la que se deno-

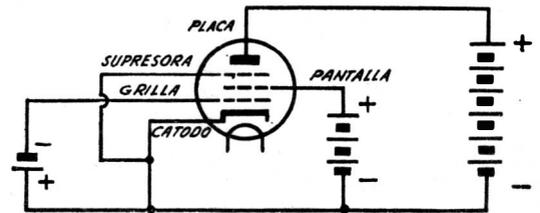


FIG. 61.— Esquema completo de conexiones de una válvula pentodo.

mina *supresora* y que lleva carga eléctrica negativa. En la figura 60 vemos lo que ocurre. Un electrón que, acelerado por la pantalla, choca con la placa provoca el desprendimiento de otro electrón por emisión secundaria. Este electrón es una carga negativa que es rechazado por la supresora y atraído por la placa, siendo recuperado por ésta. De este modo esta grilla auxiliar que se ha intercalado no impide, pero sí suprime los efectos de la emisión secundaria, razón por la cual se la ha denominado *supresora*.

Hemos llegado a una válvula que tiene cinco electrodos principales, a saber: cátodo, grilla, pantalla, supresora y placa, por lo que se la denomina *pentodo*. Su uso se ha difundido notablemente en radio y electrónica y puede decirse que salvo algunos tipos especiales de los que nos ocuparemos oportunamente, no ha sido superada hasta el presente.

La figura 61 nos muestra el esquema de conexiones de un pentodo en forma simbólica, tal como se lo encuentra en los circuitos de electrónica. El cátodo se considera potencial cero y como es negativo con respecto a la placa la su-

presora puede unirse directamente a él. Esta conexión se halla exteriormente pero algunas válvulas la traen hecha en el interior de la ampolla. La grilla lleva carga eléctrica negativa por lo que su batería tiene el polo positivo unido al cátodo. La pantalla necesita una carga eléctrica positiva pero menor que la de placa, razón por la cual la batería de pantalla es de menor potencial que la de placa. No obstante lo dicho algunos pentodos trabajan con igual potencial positivo en placa y en pantalla.

Constructivamente la grilla supresora es de malla muy abierta mientras que la pantalla es un poco más cerrada, pero no tanto como la grilla. Las válvulas modernas emplean muchas veces una espiral en lugar del enrejado, de manera que alrededor del cátodo y sin tocarlo encontramos un alambre que lo envuelve en forma de espiral cilíndrica y que es la grilla. Más afuera viene otra espiral de la pantalla y finalmente una tercera que es la supresora. Todo ese conjunto está contenido dentro de un cilindro metálico que no es otra cosa que la placa. Por supuesto que todo ese conjunto va dentro de una ampolla de vidrio o de metal de forma cilíndrica que se denomina *ampolla*.

Qué es una válvula múltiple

Las válvulas electrónicas ya nos son conocidas y sabemos también qué es el filamento, el cátodo, la grilla, la pantalla, la supresora y la placa

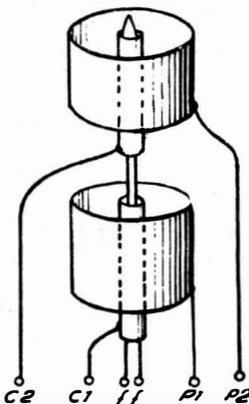


FIG. 62. — Prolongando los electrodos emisores se tienen las válvulas dobles.

así como las funciones que desempeñan cada uno de esos electrodos. En los equipos modernos de electrónica se emplean diversos tipos de válvulas y por razones de menor espacio, las fá-

bricas colocan muchas veces dentro de una misma ampolla de vidrio o de metal dos válvulas aunque en realidad se habla de una válvula múltiple, con dos o más grupos de electrodos independientes o combinados.

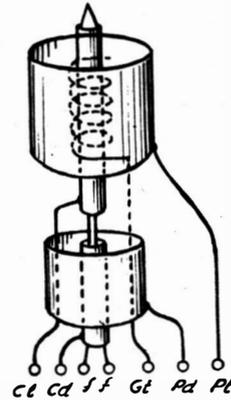


FIG. 63. — Aquí tenemos otra combinación de válvulas.

Por ejemplo, tomemos el caso más simple que es el doble diodo. Constructivamente imaginemos hacer el filamento más largo, tal como se lo presenta en la figura 62, y colocar en él dos tubitos, o sea dos cátodos, el C_1 y el C_2 . Hacemos notar que en algunos manuales de válvulas al cátodo se le hace corresponder la inicial K , cosa a la que el lector debe familiarizarse. Alrededor de estos dos cátodos van las correspondientes placas a la que le corresponden las iniciales P_1 y P_2 . También es dable destacar que la placa se denomina muchas veces ánodo usándose en esos casos la inicial A , especialmente para no confundirla con la inicial de pantalla. El filamento ff tiene como siempre dos terminales y es común para los dos diodos, pues como tiene una misión auxiliar carece de importancia el hecho de formar parte de ambos grupos. Todo ese conjunto va comprendido dentro de una única ampolla que es generalmente de vidrio aunque todavía existen algunas metálicas.

No es necesario que las dos válvulas o conjuntos dentro de la ampolla sean iguales, pues puede combinarse, por ejemplo, un diodo con un triodo según se ilustra en la figura 63. En la parte superior vemos que se ha colocado alrededor del filamento el tubito del cátodo Cd y alrededor de éste la placa correspondiente al diodo Pd . Más arriba y alrededor del mismo filamento está el triodo que consta de un cátodo Ct , una grilla Gt , la placa respectiva Pt . También en este caso está dentro de una ampolla y en la

base habrá por lo menos siete patas útiles mientras que en el caso de la figura 62 sólo hacían falta seis patas. En las válvulas modernas de

combinar dos triodos dentro de una misma ampolla, y eso puede hacerse en la forma ilustrada en la figura 66, es decir con un solo cátodo o según la figura 67 donde cada triodo tiene su cátodo independiente.

Ejemplo típico de combinaciones de dos válvulas diferentes lo encontramos en la figura 68, donde se ha colocado dentro de una ampolla un diodo y un triodo. Las iniciales nos permiten definir a *Ct* como el cátodo del triodo, a *Gt*

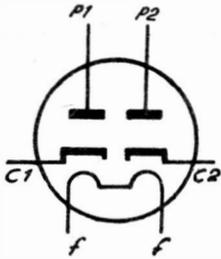


FIG. 64. — Símbolo del doble diodo de calentamiento indirecto.

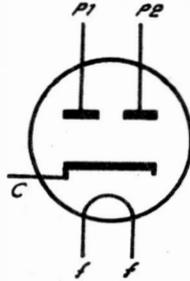


FIG. 65. — Símbolo del doble diodo con un cátodo común.

base standard de ocho o más patas, algunas de éstas quedan sin conexión cuando no hacen falta o directamente se suprimen de la base, quedando los agujeros del zócalo sin uso.

En los circuitos no se emplean los dibujos que vimos en las figuras anteriores pues sería demasiado complicado y sabemos que existen símbo-

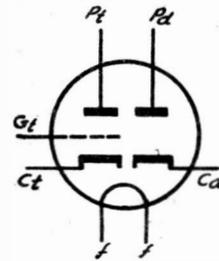


FIG. 68. — Combinación de un triodo y un diodo.

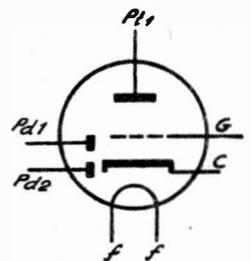


FIG. 69. — Combinación de un triodo con dos diodos.

como la grilla del triodo y a *Pt* como la placa de este triodo. Con las letras *Cd* y *Pd* reconocemos al cátodo y a la placa del diodo. Como vemos en este caso tenemos cátodos independientes para ambos grupos. La válvula descrita no está tan difundida como la ilustrada en la figura 69, en la que tenemos un triodo y dos diodos dentro de una misma ampolla. Es el primer caso de tres válvulas en una, o sea de una válvula triple que tiene un solo cátodo para

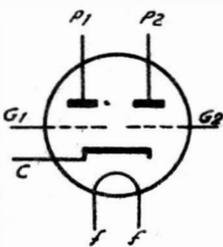


FIG. 66. — Este es el doble triodo con cátodo común.

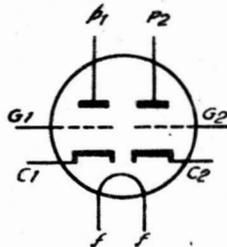


FIG. 67. — Doble triodo con electrodos independientes.

los que los reemplazan. Así, por ejemplo, el doble diodo de la figura 62 se representa en la forma como se ve en la figura 64, apareciendo dentro del círculo que indica el bulbo o ampolla todos los electrodos que existían. No siempre los dobles diodos tienen cátodos independientes, pues cuando ello no es necesario se fabrican en la forma ilustrada en la figura 65, es decir con dos placas pero un solo cátodo. Inclusive existen dobles diodos sin cátodo donde el filamento toma esa función, y ya sabemos que se denominan de calentamiento directo en contraposición con los que poseen el cátodo y cuyo nombre es de calentamiento indirecto.

Así como combinamos los diodos es posible

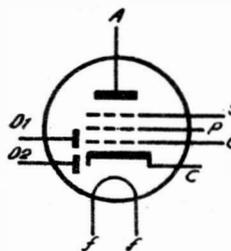


FIG. 70. — Combinación de un pentodo con dos diodos.

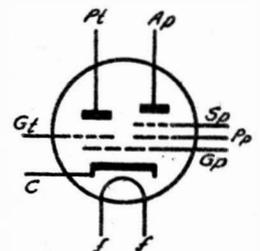


FIG. 71. — Combinación de triodo con pentodo.

no aumentar el número de patas en la base que para este caso serían siete y que si hubiera tres cátodos independientes alcanzaría la cifra de nueve, que también existe entre los tipos modernos.

La válvula ilustrada en la figura 70 es una combinación de un pentodo con dos diodos. Para limitar a ocho el número de patas se recurre a dos soluciones: o bien la supresora *S* se une al cátodo dentro de la ampolla o bien la grilla *G* en lugar de estar conectada a una pata de la base lo está a un capacete en la parte superior de la ampolla que es un pequeño cilindro metálico adherido al vidrio mediante un cemento especial. Hay muchas válvulas que tienen también este capacete para poder alejar las conexiones de la grilla y de la placa, porque la proximidad entre las mismas puede provocar oscilaciones en los circuitos. La tendencia moderna es suprimir el capacete salvo en los casos en que se utiliza para la conexión de placa, porque la tensión eléctrica en la misma es muy elevada y en el zócalo sería peligroso por la proximidad con las otras patas de la base.

Otro tipo de válvula múltiple queda ilustrado en la figura 71. Se trata de la combinación de un pentodo con un triodo, pero que en este caso encontramos la particularidad de que la grilla del pentodo está prolongada y queda también funcionando dentro del triodo. Este tipo de válvula se denomina *convertora* y tiene una aplicación muy importante en los receptores de radio. Obsérvese que en las figuras 70 y 71 hemos utilizado para la placa la inicial *A* de ánodo para evitar la confusión de *P* de pantalla.

La válvula amplificando

De todas las funciones de las válvulas electrónicas en los circuitos de radio, posiblemente la más sencilla, la que más se emplea, la que está más cerca del fundamento de las cosas que pasan en el interior de la ampolla de cristal es la amplificación. Técnicamente se denomina amplificar a la acción de tomar una magnitud y convertirla en otra de la misma naturaleza, pero mayor.

Sentadas estas afirmaciones parciales, pasemos al circuito básico que nos demostrará cómo se cumple la función de amplificar mediante una válvula electrónica, que tomaremos como un triodo para simplificar la explicación.

La figura 72 nos muestra este triodo al cual le hemos conectado una batería en el circuito de grilla, para dar a ese electrodo la tensión negativa que sabemos requiere. Pero obsérvese que con la ayuda de un potenciómetro, podemos variar a voluntad esa tensión negativa, pues entre grilla y cátodo podemos tener una tensión

cero si el cursor del potenciómetro o resistencia variable *P* queda en el extremo inferior. A medida que subimos el cursor deslizándose sobre la resistencia, vamos dando a la grilla una tensión negativa creciente, hasta que, cuando el cursor alcanza el extremo superior, queda entre grilla y cátodo toda la tensión de la batería, con su polo negativo hacia la grilla y el positivo hacia el cátodo. Nótese que para poder medir en cada caso la tensión negativa de grilla, hemos conectado un instrumento entre grilla y cátodo, precisamente un voltímetro que nos dará lecturas directas de la tensión medida en Volt.

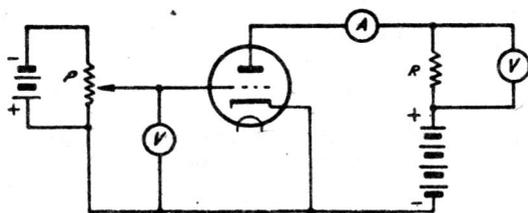


FIG. 72. — En este esquema se muestra que puede medirse la corriente de placa para distintos valores de la tensión de grilla.

En el circuito de placa encontramos la batería encargada de dar a ese electrodo la tensión positiva que requiere, y hemos insertado una resistencia *R*, que es indispensable para que se cumpla la función de amplificación, porque es entre los extremos de *R* que vamos a obtener la tensión amplificada.

Esa resistencia se llama *de carga* y su valor es sumamente crítico, debiendo especificarse en todos los casos para cada válvula y cada circuito. Hay también aquí un voltímetro encargado de medir la tensión entre extremos de *R*. No hay interés en medir la tensión de placa, que sería la de la batería, porque es constante y conocida y porque nos interesa la otra tensión, la que se tiene en la resistencia de carga que es la tensión útil que puede ser aplicada a otro circuito o a la etapa siguiente si este circuito la tuviera.

Ahora podemos ver el mecanismo de la amplificación. Si dejamos el curso en un punto cualquiera de la resistencia *P*, la grilla recibe una tensión negativa, frenará algunos electrones que salen del cátodo y van hacia la placa, y tendremos un cierto valor de la corriente de placa, corriente que tiene una intensidad *I*, y que mide el amperímetro insertado en el esquema. Esa corriente pasa por la resistencia *R* y sabemos por la famosa Ley de Ohm de aplicación universal en la Electrónica que la tensión entre los extremos de una resistencia *R* cuando

pasa por ella una corriente I se calcula multiplicando I por R . Luego, nos resultará fácil determinar el valor de la tensión entre extremos de R , la que por otra parte estará indicada

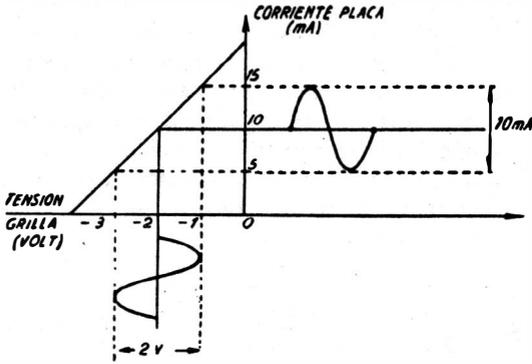


FIG. 73. — Este gráfico permite demostrar que la válvula amplifica.

por el voltímetro. Ahora movemos el cursor del potenciómetro P , con lo que modificamos la tensión negativa de grilla. Con ello, y suponiendo que hemos subido el cursor, habrá en la grilla una tensión más negativa, se rechazarán más electrones y llegarán menos a la placa. Notaremos entonces que la corriente de placa ha disminuido, cosa que acusará el amperímetro. Al haber menos corriente que pasa por la resistencia R , la tensión entre sus extremos será menor, porque al multiplicar I por R como antes, si bien R tiene el mismo valor, I es más chica, dando un resultado menor.

Supongamos que en la grilla hemos aumentado la tensión negativa en 2 Volt. La corriente de placa ha disminuido 10 miliamper, o sea, tomando esa corriente en Amper, que es la unidad que corresponde para los cálculos, la variación será de 0,010 Amper. Luego entre extremos de R , que suponemos tiene un valor de 10.000 Ohm, la tensión habrá disminuido en la cantidad que resulta de multiplicar 0,010 por 10.000 o sea 100 Volt. Quiere decir que variando en 2 Volt la tensión de grilla se produce en el circuito de placa una variación de 100 Volt. Hay una variación 50 veces mayor en placa que en grilla, cifra que resulta de dividir ambas variaciones, o sea dividir 100 por 2. Se dice entonces que la válvula amplificó 50 veces o que su coeficiente de *amplificación* es de 50. Esto explica el mecanismo de la amplificación, pero resultará aclaratorio observar el gráfico de la figura 73.

Supongamos que en lugar de variar a mano la tensión negativa de grilla, le aplicamos una tensión alternada, que es constantemente variable. En el gráfico vemos que esa tensión alternada de grilla lleva a ese electrodo desde el valor 1 Volt negativo hasta el valor 3 Volt negativos, o sea una variación total de 2 Volt. Transportando los dos extremos de la curva de la tensión de grilla hasta la recta inclinada que se llama *característica de la válvula*, y que representa la forma como la corriente de placa responde a las variaciones de la tensión de grilla, encontramos que cuando la tensión de grilla es de 1 Volt, la corriente de placa es de 15 miliamper y cuando en grilla tenemos 3 Volt negativos la corriente anódica baja a 5 miliamper, o sea una variación total de 10 miliamper, que son las cifras del ejemplo numérico de la tabla. Luego, entre extremos de la resistencia R tendremos una tensión alternada de 100 Volt,

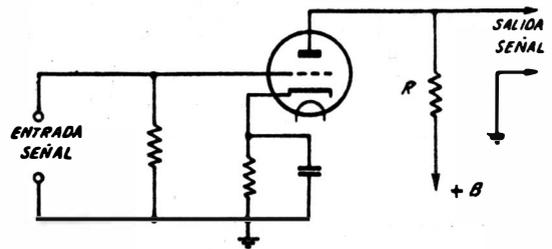


FIG. 74. — Forma de conectar una válvula como amplificadora de tensión.

puesto que si son alternadas las variaciones de la tensión de grilla resultará alternada la forma de variación de la corriente de placa, y por ende, también alternada la variación de la tensión entre extremos de la resistencia R . Así completamos el ejemplo, y vemos que aplicando a la entrada de grilla de la válvula una tensión alternada de 2 Volt recogemos a la salida una tensión de 100 Volt, o sea, 50 veces mayor, lo que nos permite afirmar que la válvula amplifica 50 veces.

Falta ver ahora, cómo se conecta la válvula para amplificar una tensión alternada, y eso lo tenemos en la figura 74. La tensión negativa de grilla se da mediante la intercalación de una resistencia entre cátodo y masa y la tensión positiva de placa se conecta mediante un rectificador indicando el símbolo *más B* esa conexión. A la entrada debemos colocar la tensión que se debe amplificar y a la salida, entre extremos de R , recoger la tensión amplificada.

Día 4

Hemos realizado un estudio somero de las válvulas electrónicas, las cuales nos resultaban conocidas en su aspecto exterior por haberlas visto en nuestros receptores de radio y en los televisores. Ahora sabemos qué tienen adentro y cómo funcionan, y no falta mucho para que estudiemos los circuitos de aplicación. Pero los equipos electrónicos modernos usan válvulas o transistores, según los casos, y entonces debemos estudiar estos segundos elementos, sobre los cuales también tenemos referencias y es probable que los hayamos visto en los pequeños receptores portátiles, si es que la curiosidad nos ha movido a retirarles la tapa posterior. Son unas piezas cilíndricas muy pequeñas, y se habla maravillas de ellas; en cuanto leamos las páginas que siguen conoceremos algo más sobre tan modernos dispositivos.

Los transistores pertenecen al grupo físico de los semiconductores, cuerpos que introdujeron nuevos conceptos físicos sobre la conductibilidad de la corriente eléctrica. Tenemos así el semiconductor —el diodo y el transistor— y de ellos todavía se derivan algunos tipos especiales que nos ocuparán más adelante. La presente jornada está destinada al estudio teórico -sumario de los semiconductores, con sus aplicaciones más comunes, que son los diodos y los transistores; planteando el temario, entremos en él.

LOS SEMICONDUCTORES

Sabemos que hay cuerpos buenos conductores de la electricidad y que los hay malos conductores. Hay otros que la conducen regularmente bien, o podría decirse que son semiconductores; esta última denominación merece un estudio aparte. Es interesante saber el porqué de la distinta conductibilidad eléctrica de los cuerpos, o sea conocer el motivo por el cual algunos son buenos conductores y otros no. Tomemos el cobre, muy buen conductor, y observemos la configuración de su átomo en la figura 75. El cobre tiene 29 electrones y se distribuyen completando las tres primeras órbitas, como ocurre siempre en los átomos de toda las sustancias; cada órbita inferior debe quedar completa para comenzar a ocupar la que sigue hacia afuera; nos queda entonces un electrón sobrante que está en la cuarta órbita. Y si pensamos que por algún procedimiento conocido puede sacarse ese electrón de la cuarta órbita, sucede que por estar solo sale con facilidad. Precisamente, la diferencia entre los cuerpos conductores y los aisladores estriba en que los electrones puedan ser sacados de los átomos con facilidad o con dificultad. En

el caso del cobre, entonces, como tiene un electrón sobrante en la cuarta órbita, será muy buen conductor. Un cuerpo que tenga completa la última órbita ocupada, será mal conductor de la electricidad; ejemplo, el criptón con 28 electrones, uno menos que el cobre, con tres órbitas completas.

Y bien, conducir la electricidad significa que los electrones corren de átomo en átomo por todo el cuerpo. Para eso hace falta arrancarlos de un átomo e inyectarlos en otro, arrancarlos de este segundo e inyectarlos en un tercero y así sucesivamente. ¿Es fácil arrancar electrones de un átomo? Podríamos contestar con otra pregunta: ¿Puede hacerse arrancar a un automóvil y hacerlo marchar? Claro que se puede, mediante un motor que consume combustible. Y para arrancar electrones habrá que consumir también algo, o, dicho en otros términos, habrá que gastar energía. Y como la energía en estos casos está acondicionada en cantidades fijas, redondas, sin fracciones, se habla de niveles de energía. Se distinguen tres tipos de cuerpos que tienen sus niveles de energía en formas distintas.

Veamos cuáles son esas diferencias.

Los cuerpos que están formados por átomos diferentes se llaman *compuestos*, y para formarlos debemos mezclar sustancias simples. Por ejemplo, para tener sal de cocina debemos mezclar átomos de cloro y átomos de sodio, hacer una combinación entre ambos. Para eso se necesita cierta cantidad de energía, pero pequeña. Por eso, para hacer combinaciones de átomos a los efectos de formar cuerpos compuestos, usamos los niveles bajos de energía, los más pequeños. Para arrancar electrones de los átomos necesitamos gastar energía, y sabemos que en los cuerpos malos conductores se gasta más cantidad y en los buenos se gasta menos. Luego, los niveles más altos de energía se destinan a la conducción eléctrica (arranque de electrones).

Y bien, los cuerpos presentan particularidades curiosas. Hay un tipo de cuerpos que presenta zonas de energía netamente separadas, las zonas de combinación y de conducción, habiendo entre esas dos zonas una grande que no tiene niveles de energía existentes, como si fueran prohibidos. Otros presentan también tres zonas definidas, pero la zona prohibida es mucho más chica, y hay una tercera clase, en la cual no hay zona prohibida y se confunden todos los niveles de energía como si fuera fácil combinarlos o hacer conducir la corriente eléctrica.

El primer tipo de cuerpos es el *aislador*, el segundo es el *semiconductor* y el tercero el *conductor*. Tomemos como ejemplo tres cuerpos que tienen la misma valencia química, es decir

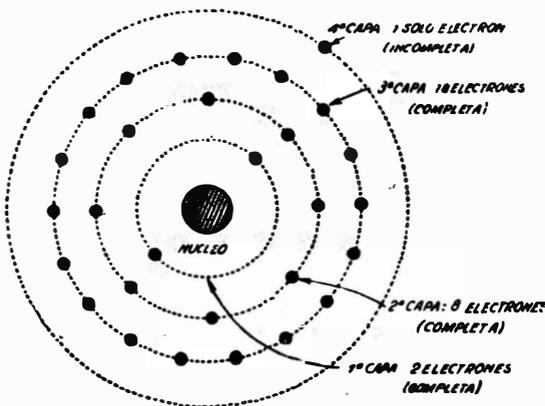


FIG. 75.. — Representación de un átomo del metal cobre, cuyo número atómico es 29.

el mismo valor en las combinaciones químicas: el carbono puro o diamante, el germanio y el plomo, con valencia química de 4. El primero es aislador perfecto, el segundo es semiconductor y el tercero es buen conductor de la electricidad.

El germanio cristalino

He nos aquí frente a una materia que posee propiedades singulares, las que han permitido crear nuevos dispositivos de gran aplicación en la electrónica moderna. El germanio, al cual

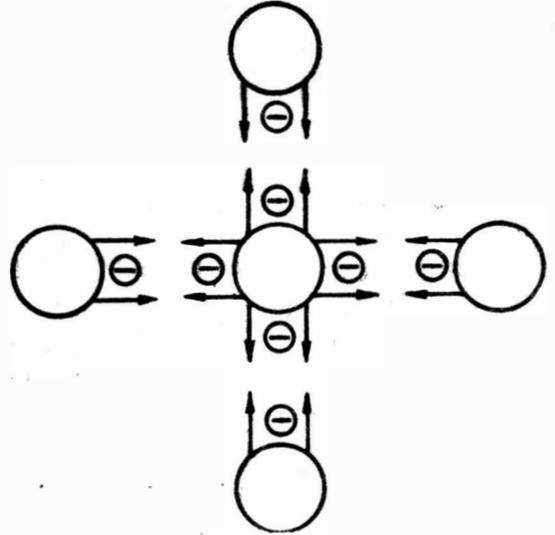


FIG. 76.. — Aquí se ve la estructura rígida de un átomo de germanio puro.

nos estamos refiriendo, cuando se halla en estado sólido es cristalizado, y sus cristales se disponen de tal manera que forman una estructura especial. Veamos algo sobre ella.

Digamos, en primer término, que el átomo de germanio tiene un número atómico de 32, o sea que hay 32 electrones en órbita; las tres primeras órbitas están completas y hay cuatro electrones en la cuarta órbita. Son los electrones de combinación que se representan en la figura 76, alrededor del círculo central al que suponemos formado por el núcleo y las tres órbitas completas. Cualquier efecto adicional que deseamos obtener se basará en la movilización de algunos de esos cuatro electrones externos, pues los otros 26 podemos considerarlos inamovibles. En esta figura hemos dibujado otros cuatro átomos vecinos en forma incompleta, al solo efecto de mostrar las flechas que se enfrentan con las del central. Estas flechas representan las fuerzas que mantienen ligados los átomos unos contra otros. Obsérvese, además, que los electrones libres del átomo central están enfrentados con electrones libres de los átomos circundantes, de modo que aparecen ligados o vinculados 8 electrones libres al átomo central, 4 propios y 4 vecinos. Si tomáramos otro grupo formado por

un átomo con los circundantes, siempre encontraríamos 8 electrones libres ligados.

La consecuencia de esa ligazón de los electrones libres es que el germanio no es buen con-

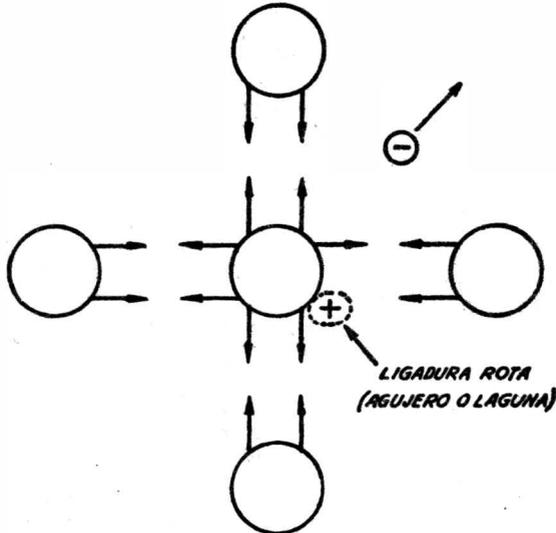


FIG. 77. — Si se rompe una ligadura se produce la liberación de un electrón.

ductor de la corriente eléctrica. Para lograr que lo sea hay que romper la ligazón o los vínculos entre los electrones libres. Supóngase que por acción del calor o de otra manera se consigue romper una ligadura, como se muestra en la figura 77. Esa rotura hace que un electrón quede libre y pueda circular por la materia, con lo que hemos obtenido la posibilidad de circulación que convierte al germanio en conductor. El lugar donde se rompió la ligadura y se fue un electrón deja un exceso de una carga positiva, puesto que había equilibrio y ahora falta una carga negativa. Llegamos a la situación indicada en la figura 77. Un átomo queda con un exceso de carga positiva y otro átomo tiene adicionada una carga negativa o electrón. El agujero donde se rompió la ligadura se suele llamar laguna.

Y ahora viene lo que hará pensar a los que conocen electricidad. Se ha admitido durante muchos años que los electrones libres pueden desplazarse por la materia conductora, y ese desplazamiento es la corriente eléctrica. Pero resulta que las lagunas o agujeros también se desplazan por la materia, constituyendo también una corriente eléctrica. ¿Hay dos corrientes eléctricas diferentes? Veamos la figura 78

Corrientes directa e inversa

Hemos tomado varios átomos para poder apreciar mejor lo que ocurre. De todos los re-

presentados elegimos el A, el B y el C para nuestra explicación. Supongamos que la ligazón se rompe en el C y aparece allí una laguna, con lo que hay un electrón excedente que se va. La laguna formada en el C ejerce influencia en el átomo B y rompe en él una ligazón para sacarle un electrón y completarse; un electrón pasa del B al C y la laguna ahora queda en el B. El fenómeno se repite, la laguna del B rompe ligazón en el A, del cual sale un electrón para completar la laguna del B y ahora la laguna ha quedado en e A.

Observemos los movimientos de los electrones: llevan la dirección que va de A al B y de éste al C. Observemos también que la laguna estaba primero en el C, luego en el B y finalmente en el A. ¿No es esto equivalente a decir que una laguna se desplazó en la dirección C BA? Y si los electrones son cargas eléctricas negativas que se desplazan, las lagunas son también cargas eléctricas, pero positivas, que podemos considerar que también se desplazan.

Pero en electricidad siempre habíamos considerado a la corriente eléctrica como un desplazamiento de electrones, y ahora tenemos que

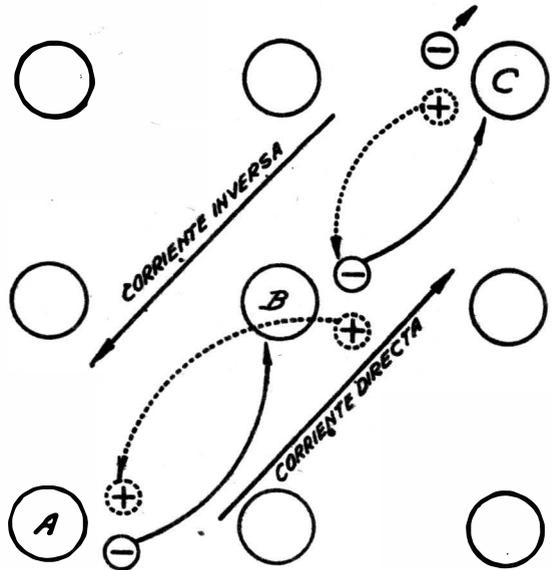


FIG. 78. — Obsérvese que el desplazamiento de electrones va dejando a su paso cargas positivas en un orden tal como si hubiera dos corrientes circulantes en sentidos contrarios.

admitir que hay otra clase de corriente eléctrica: el desplazamiento de lagunas o cargas positivas. Se habla entonces de corriente directa (la de electrones) y de corriente inversa, la de lagunas.

Adviértase que en electricidad, cuando teníamos dos corrientes circulando en sentido contrario, podían anularse, bastando para ello que fueran iguales. Si eran distintas restábamos sus valores y prevalecía el excedente de la mayor sobre la menor, es decir la diferencia, que circulaba con el sentido de la mayor. Ahora no ocurre lo mismo, las dos corrientes circulan en sentido contrario pero no se anulan ni se restan, más bien se complementan, casi podríamos decir que se suman. Una es consecuencia de la otra, son de diferente naturaleza, una lleva cargas positivas, sin cancelación posible. En resumen, que debemos admitir un nuevo fenómeno eléctrico sin tratar de interpretarlo con los antiguos conocimientos sobre electricidad.

La corriente directa, entonces, está constituida por el desplazamiento de cargas negativas, luego se dirigirá al polo positivo de una fuente eléctrica. La corriente inversa es un desplazamiento de cargas positivas y en consecuencia se dirigirá al polo negativo de la fuente, sea la misma u otra.

Germanio tipos N y P

Ahora viene lo más importante de todo lo que hemos dicho, que es tratar de obtener variedades de germanio que tengan naturalmente electrones libres o agujeros libres, o sea cargas negati-

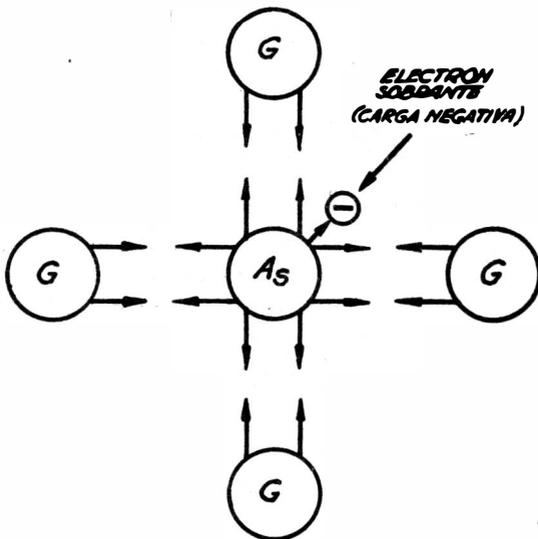


FIG. 79. — Aquí se ha colocado una impureza de arsénico en un átomo de germanio.

vas o cargas positivas libres. Desde ya podemos adelantar que al primero se lo denominará tipo

N (de negativo) y al segundo tipo P (de positivo). Eso se ha logrado inyectando en la masa de germanio una pequeñísima cantidad de im-

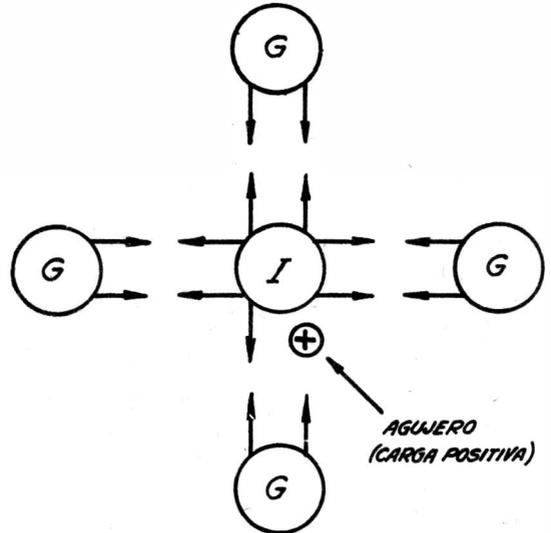


FIG. 80 — En este caso se ha colocado una impureza de indio en el átomo de germanio.

purezas, de sustancias extrañas, en proporción de una parte en 10 millones. Esas impurezas son comúnmente el *arsénico* y el *indio*, dos sustancias conocidas.

Veamos primero lo que pasa con el *arsénico*. Este cuerpo tiene 5 electrones libres en la órbita externa, y si colocamos un átomo de arsénico entre unos cuantos de germanio, se produce lo que marca la figura 79. Como el germanio tenía solamente 4 electrones libres, las ligazones con los átomos vecinos se cumplían según la figura 76. El átomo de arsénico dejará un electrón libre o sobrante, capaz de circular. Se mantiene allí junto al átomo por la acción de la fuerza de atracción de éste, pero es fácil sacarlo de allí y hacerlo circular, o sea producir corriente eléctrica. El tipo de corriente es el clásico y más conocido (la corriente directa), que se produce por circulación de cargas negativas, de ahí el nombre de tipo N que se da al germanio con impurezas de arsénico.

Ahora tomemos el otro tipo de impureza, el *indio*, y veamos en la figura 80 lo que ocurre. El indio tiene 3 electrones en la órbita externa, de modo que si colocamos un átomo de indio en el centro de un grupo de átomos de germanio, los 4 electrones libres de cada átomo de germanio encontrarán que al indio le falta un electrón para enfrentar; ese átomo robará un

electrón de algún átomo vecino rompiendo una de sus ligaduras, con lo que se produce el agujero o laguna. Ya sabemos entonces qué quiere decir germanio tipo P. Hay lagunas libres que pueden hacerse circular, formándose una corriente inversa, o sea la que resulta de la circulación de cargas eléctricas positivas.

La juntura P-N

Ahora tomemos dos trozos de germanio, uno tipo P y otro tipo N, y hagámoles una cara plana para arrimarlos. Tenemos una juntura P-N, y veamos lo que sucede. La figura 81 nos quiere mostrar el balance de cargas eléctricas que hay en esa juntura. En el germanio tipo P hay lagunas o sea cargas positivas libres y, por consiguiente, hay también átomos que tienen prevalencia de carga negativa (los marcamos como circulitos). En el otro lado de la juntura, germanio tipo N, hay electrones libres, y, por consiguiente, hay átomos con prevalencia de cargas positivas (son los circulitos con el signo + adentro).

Cualquier estudiante de Electricidad diría, sin pensar mucho, que la situación se normaliza de inmediato, pues los electrones libres de la derecha saltarían a neutralizar las cargas positivas de la izquierda, y los átomos positivos serían neutralizados por los negativos de la izquierda. Pero la cosa no es tan sencilla y, por supuesto, no ocurre como lo dice esa suposición.

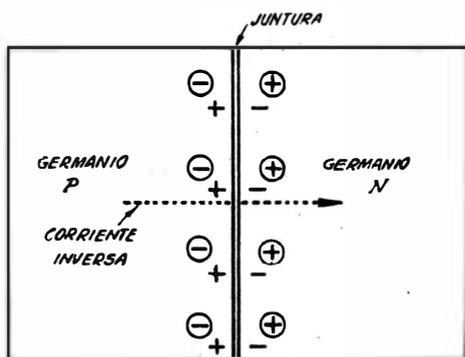


FIG. 81. — En la juntura de germanio formada por trozos tipo P y tipo N vemos las cargas eléctricas.

La juntura es una barrera de potencial, y si bien los electrones libres de la derecha son atraídos por las cargas positivas de la izquierda, también esos electrones son repelidos por los átomos negativos de la izquierda, y se produce una especie de equilibrio, con fuerzas eléctricas

encontradas de atracción y de rechazo. Así las cosas, parecería que no puede haber paso de cargas eléctricas a través de la juntura; sin embargo, algunas cargas pasan. El fenómeno es algo curioso, y trataremos de explicarlo en la forma más sencilla. La existencia de impurezas ha provocado la rotura de algunas ligaduras o tensiones en el cristal, tal como fue explicado. Las fuerzas eléctricas actuantes en la juntura rompen algunas ligaduras atómicas, con lo que

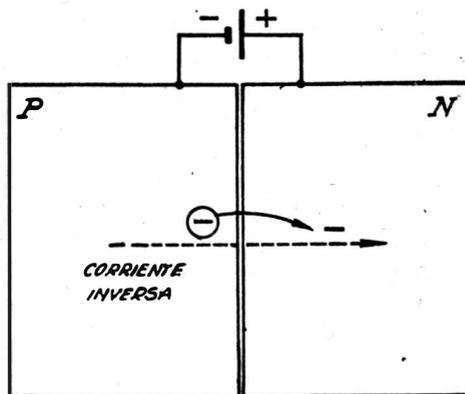


FIG. 82. — En la juntura podemos ver el sentido de la corriente inversa.

aparecen nuevas lagunas. Si revisamos nuevamente la figura 78 recordaremos que la corriente circulante en estos casos aparece como un desplazamiento aparente de cargas, y se la llamó corriente inversa. Es decir que el desplazamiento de lagunas absorbe electrones y ello produce nuevas lagunas y, así siguiendo, podemos dibujar una flecha que indica una circulación de corriente contraria a la normal, pues va desde las cargas positivas hacia las cargas negativas, si consideramos los signos sueltos, sin circulitos. Tal corriente es la que se llama inversa, es lógicamente pequeña, pero es un real salto de la juntura. La figura 82 nos quiere mostrar una justificación de esta corriente inversa, como si electrones saltaran la juntura en la dirección de la flecha; pero repasando todo lo explicado sabemos que no se trata de una conducción de corriente en el sentido más conocido en Electricidad, sino de una especie de generación de corriente en la juntura, como si allí hubiera una pila eléctrica. Esta pila se ha dibujado en la figura 82, y es ficticia.

Efecto de rectificación - Diodo

La juntura de dos trozos de germanio dife-

rentes, uno P y otro N, nos ha dado una especie de pila eléctrica. La polarización de ambos signos en las caras enfrentadas de la juntura hace pensar inmediatamente en lo que ocurrirá si acoplamos una fuente externa cerrando el circuito. Es lo que nos muestran las figuras 83 y 84. La figura 83 muestra la conexión de una pila con su polaridad coincidente con las letras P y N que corresponden a los tipos de germanio, mientras que la figura 84 muestra el caso inverso, es decir, cuando la polaridad de la pila es inversa a la que indican esas letras.

En la juntura se han dibujado los electrones libres y las lagunas libres, de acuerdo con lo

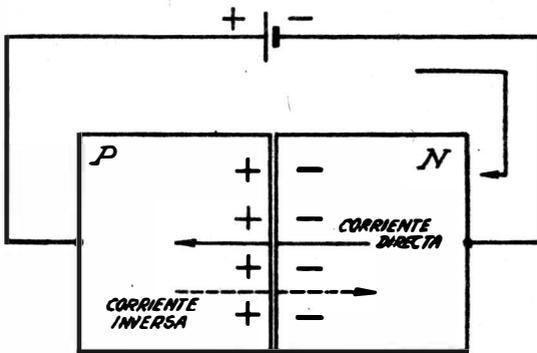


FIG. 83. — Aquí se ha polarizado en forma directa al diodo o juntura P-N.

visto en la figura 81. Cuando la polaridad de la pila es la del esquema de la figura 83, coincidente con la polaridad de los cristales de germanio, su potencial eléctrico ayuda a los electrones libres a saltar la barrera de la juntura, y se establece una corriente eléctrica normal, de conducción. Esta corriente, por ser desplazamiento de electrones, tiene el sentido que va del polo negativo al positivo, y dentro del cristal, lógicamente, el que va del cristal N al cristal P. Hay dos corrientes superpuestas, una directa o de conducción, de valor elevado, y otra inversa, de generación, de valor pequeño. El resultado es un remanente grande de corriente directa.

Si ahora conectamos la pila al revés, según el esquema de la figura 84, el potencial de la pila ayuda a impedir el salto de la juntura por parte de los electrones, ya que ellos son más bien retenidos por el polo positivo de la pila y rechazados por el negativo que está en la cara opuesta. La corriente directa no puede circular, o sea que no hay corriente de conducción; la otra corriente, la inversa o de generación sub-

siste, pues no depende de la fuente exterior, pero sabemos que es pequeña.

Transistores

Sin entrar a analizar lo que ocurre al hacerlo, partiremos de la base de que si reunimos dos diodos, o más bien dicho, dos junturas P-N, de tal modo que formamos tres trozos de germanio con dos junturas, tenemos un transistor. La condición es que los trozos exteriores sean de un tipo y el central del tipo opuesto; por ejemplo, dos trozos externos N y uno central P, o viceversa. Claro está que para que se obtenga algún resultado, algún funcionamiento, habrá que dar a cada uno de esos trozos una polarización eléctrica, lo que se hace mediante pilas. Toda la clave reside en el signo o polaridad que daremos a cada trozo de germanio.

En principio, ya tenemos dos tipos de transistores, que son los P-N-P y N-P-N, según cómo se dispongan los tres trozos de germanio de tipos P y N. Además, como arrimamos esos trozos formando dos junturas, estos transistores serían los llamados *de juntura*. Lógico es pensar que hay otro tipo que no sea de juntura, y efectivamente, lo hay; son los transistores de contacto puntual. La práctica ha impuesto el uso de los transistores de juntura por ventajas de índole constructiva, de modo que, si debiera prescindirse del estudio de uno de los dos tipos, tendríamos que ocuparnos únicamente de los de juntura, de amplia difusión en la actualidad.

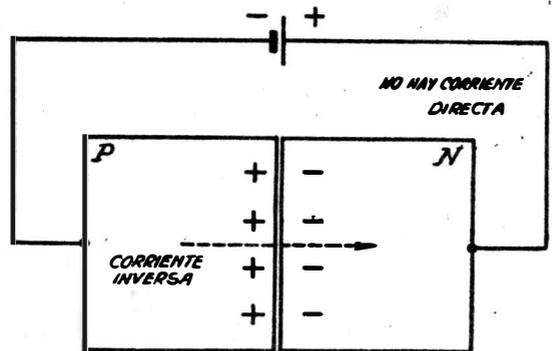


FIG. 84. — En este caso la juntura P-N se ha polarizado en forma inversa.

El transistor tipo N-P-N

Tomemos tres trozos de germanio con impurezas, dos tendrán pequeñísimas proporciones de arsénico, o sea que serán del tipo N, y los colo-

caremos en los extremos y uno tendrá impurezas de indio, o sea será tipo P; lo colocaremos en el centro, tal como lo muestra la figura 85. En los trozos tipo N habrá electrones libres, o sea cargas negativas y en el trozo tipo P hay cargas positivas libres, es decir agujeros o lagunas. Ya sabemos, por haberlo estudiado para

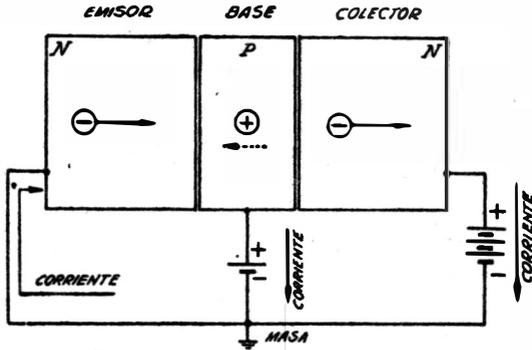


FIG. 85. — Si unimos tres trozos de germanio se forman dos junturas diferentes y se tiene el transistor N-P-N.

los diodos, que hay un equilibrio de cargas eléctricas tal, que por sí solas no saltan las junturas; aquí tenemos dos junturas, pero ninguna de ellas es atravesada por las cargas libres, tal como ocurría en la figura 81, salvo la pequeña corriente inversa, de la cual no nos ocuparemos por el momento. Para que se produzca un movimiento de cargas eléctricas tenemos que polarizar los trozos de germanio, tal como lo hicimos para la figura 80.

Y bien, en un transistor se polariza un trozo extremo con polaridad coincidente con su signo, y el otro extremo con polaridad contraria a la de su signo. El trozo central suele llevar polaridad coincidente con su signo. Entonces, en la figura 85 tenemos que polarizar el trozo N de la izquierda con un polo negativo, el trozo central con un polo positivo y el trozo de la derecha con un polo positivo. Si, para no usar tres pilas, unimos los polos negativos de las dos pilas con el trozo N de la izquierda, le hemos dado al mismo polaridad negativa, y sólo empleamos dos pilas. Más adelante veremos que se pueden usar transistores con una sola pila.

El trozo extremo que lleva polaridad negativa, siendo tipo N, se llama *emisor*, y esto sirve para reconocer al tipo de transistor, pues siempre el emisor lleva la polaridad que coincide con su signo. Si tenemos un transistor cuyo emisor va al polo negativo, es un tipo N-P-N,

y si el emisor está conectado al polo positivo, es un tipo P-N-P.

De acuerdo con las polaridades suministradas por las pilas, y conociendo las cargas eléctricas libres que hay en el interior de los tres trozos de germanio, las que hemos marcado dentro de circuitos, podemos poner unas flechas que nos indican las direcciones en que tales cargas serán impulsadas. En efecto, si se establece una circulación de cargas negativas, o sea una corriente directa, esos electrones serán rechazados por la polaridad negativa, es decir que en el emisor se irán hacia la juntura con la base; en el colector, en cambio, los electrones serán atraídos por el polo positivo y se alejarán de la juntura con la base. Dentro de la base hay cargas positivas libres, y lo único que pueden hacer es desplazarse en sentido contrario al de la corriente directa, o sea moverse desde la juntura con el colector hacia la juntura con el emisor. En la figura 85 se han marcado con flechas esas tres posibilidades de desplazamiento, y ellas nos permiten hacer una interesante observación.

Recordemos la figura 83, y comprobaremos que cuando en una juntura hay flechas encontradas, la corriente circula con facilidad, el circuito es de baja resistencia. Luego, la juntura emisor-base es de baja resistencia, y habrá una fuerte corriente de emisor a base. Ahora vamos

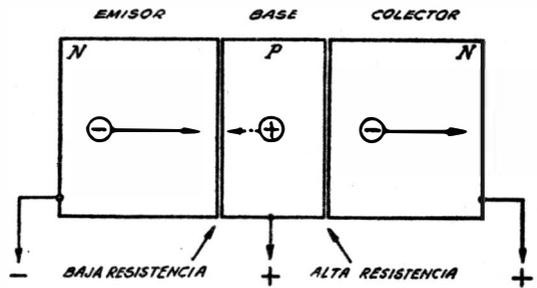


FIG. 86. — Las junturas distintas ofrecen diferente resistencia eléctrica.

a la otra juntura, la base-colector; aquí tenemos flechas divergentes, o sea que será una juntura de alta resistencia, con circulación de baja corriente. Todo esto está puntualizado en la figura 86, que nos indica además las polaridades de los tres elementos o electrodos en los transistores N-P-N.

Pero hemos pasado de largo por un detalle de la mayor importancia, que es el potencial de la base; él es menor que el del colector, lo que hemos indicado en la figura 85 poniendo me-

nos pilas en la base que en el colector. Los electrones que vienen del emisor, empujados por su polaridad negativa, saltan la juntura emisor-base. Algunos son absorbidos por la base debido a su polaridad positiva, pero como el potencial positivo del colector es mucho mayor, muchos electrones son impulsados a saltar la juntura base-colector, y pasan a este último. Claro que la cantidad total de electrones, los que quedan en la base y los que van al colector, son provistos por el emisor. Es como si la corriente del emisor se dividiera en dos circuitos, el de base y el de colector, o también que *la suma de las corrientes de base y colector es igual a la corriente de emisor*. Y ahora viene lo importante: alterando el potencial de la base se consigue variar la corriente de emisor, ya que si lo elevamos, es decir, hacemos a la base más positiva, mayor cantidad de electrones caerán en ella y debe proveerlos el emisor; viceversa, si hacemos a la base menos positiva, menor será el número de electrones absorbidos por la misma y se reducirá la corriente de emisor.

Con respecto a la juntura base-colector también puede decirse algo. Esta juntura está polarizada en sentido inverso, tiene alta resistencia, luego pequeñas variaciones de la corriente que la atraviesa producirán grandes variaciones de la diferencia de potencial entre el colector y la base.

En resumen, vemos que pequeñas variaciones en el potencial de la base tienen por efecto grandes variaciones en la corriente de emisor, que son mayores que las variaciones que se producen en la corriente de la base misma. Por otra parte, pequeñas variaciones de la corriente a través de la juntura base-colector tienen por efecto grandes variaciones de la tensión entre esos electrodos. Es como si hubiera una barrera que al abrirse, permitiera el pasaje brusco de grandes cantidades de cargas.

El transistor tipo P-N-P

Veamos ahora la otra posibilidad de juntar tres trozos de germanio impuro: dos trozos extremos del tipo P y un trozo central del tipo N, tal como lo representamos en la figura 87. En virtud de las consideraciones hechas anteriormente, el emisor será aquel trozo que lleve polaridad positiva, o sea que si queremos que el emisor sea el de la izquierda, allí tenemos que conectar el polo positivo de una pila. Y como antes, para ahorrar una pila ponemos dos, una para la base y otra para el colector, uniendo sus polos positivos a masa, punto de conexión del

emisor. Por lo que ya hemos dicho, éste será un transistor con emisor a masa.

Como tenemos en el emisor y en el colector germanio tipo P, debe haber lagunas libres, por lo que marcamos signos positivos en los circuitos. En la base, en cambio, tenemos un tipo N, con electrones libres. Veamos ahora las flechas de circulación, para lo cual tenemos que recordar la figura 78. Hemos marcado puntea-

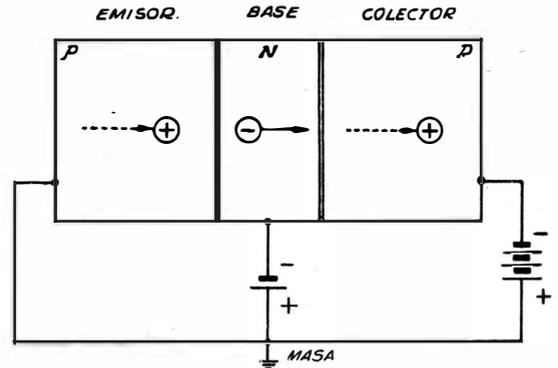


Fig. 87 .— Forma de polarizar los elementos en un transistor P-N-P.

das en la figura 87 las flechas de desplazamiento de lagunas en los trozos tipo P, mientras que en el tipo N hemos marcado con línea llena el desplazamiento de electrones. Pero recordemos que un desplazamiento de lagunas en un sentido origina una de electrones en sentido contrario (ver Fig. 78), si bien el origen del desplazamiento de cargas que se producirá en el transistor está en las lagunas libres, en el circuito exterior debemos tener en cuenta el movimiento de electrones, o sea la corriente real o directa y no la ficticia o inversa. Sería muy lindo seguir dibujando circuitos con signos positivos adentro y hablar de su sentido de desplazamiento según las flechas punteadas, pero es preferible cambiar las cosas y dibujar nuestro transistor con el desplazamiento de los electrones, aunque ello esté producido por las lagunas. Luego, dibujamos las cosas como lo muestra la figura 88, y en el circuito la corriente directa o normal tendrá el sentido de circulación que marca la flecha.

Así las cosas, nuestro transistor se diferencia del N-P-N en los signos o polaridades de las pilas, pues como ya hemos dicho anteriormente, en un transistor el emisor lleva la polaridad de su signo, y éste, por ser P-N-P debe llevar el emisor positivo. La figura 89 nos muestra además las resistencias de las junturas, y aquí, por

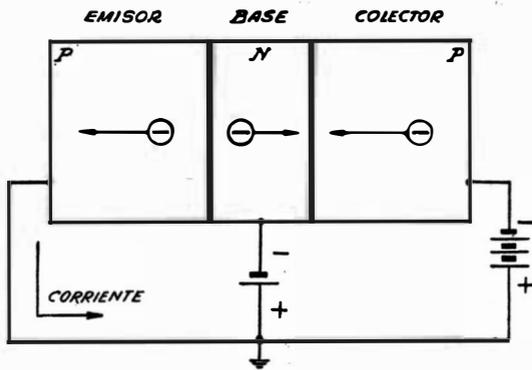


FIG. 88. — Sentido de la circulación de corriente directa o normal en el transistor P-N-P.

tratarse de algo que ocurre dentro del transistor debemos atender al desplazamiento de cargas original, el de la figura 87, y todavía le ponemos al trozo tipo N el movimiento de sus lagunas y no de sus electrones; esas lagunas existirán, pues al desplazarse los electrones irán dejando agujeros en los átomos, que son lagunas cuyo desplazamiento relativo es contrario en sentido al de los electrones, según ya lo vimos en nuestra famosa figura 78. Luego, observando las junturas, en la que arrima el emisor a la base

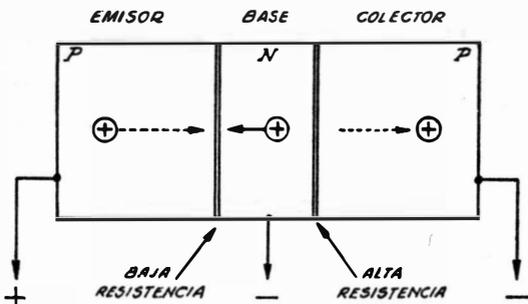


FIG. 89. — También en el transistor P-N-P hay diferentes resistencias en las junturas.

hay flechas convergentes, lo que marca una concentración de cargas, alta corriente y baja resistencia. En la juntura base-emisor ocurre lo contrario, flechas divergentes, dispersión de cargas, baja corriente y alta resistencia.

Todo lo antedicho nos muestra que los transistores N-P-N y los P-N-P se diferencian únicamente en los signos de la polarización de sus electrodos. Como siempre, para saber qué tipo de transistor es, basta observar la polaridad del emisor. Un emisor positivo indica un transistor P-N-P y un emisor negativo indica un transistor N-P-N:

Aspectos constructivos del transistor

Ahora que conocemos el principio de funcionamiento del transistor, desde el punto de vista de las cargas eléctricas, encararemos algunos detalles constructivos. En primer término diremos que el aspecto exterior de los transistores tiene poco que ver con sus partes internas, ya que éstas son muy pequeñas, y por consiguiente la envoltura puede tener cualquier forma. Comencemos por tomar un transistor, por ejemplo uno de construcción americana, agrandemos su

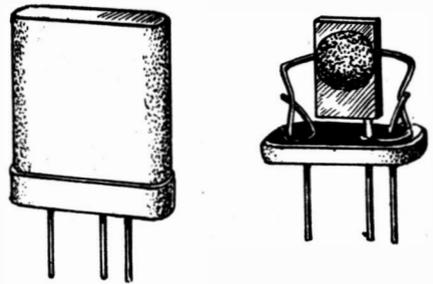


FIG. 90. — Aquí puede apreciarse el aspecto externo e interno de un transistor.

tamaño unas cuantas veces y observémoslo en su interior y en su exterior, tal como lo da a ver la figura 90. La pastilla central es la base, y está unida a un alambre de conexiones, el central. El emisor y el colector llevan otros dos alambres de conexiones. La caja exterior es un cilindro aplastado y su dimensión real es del orden de unos cuantos milímetros.

No todos los transistores tienen el aspecto ilustrado en la figura 90. Otros modelos se construyen para manejar potencias mayores, para amplificadores de sonido, y entonces son más grandes. La figura 91 muestra un modelo de transistor de potencia; presenta la particularidad de que la base está unida a la envoltura

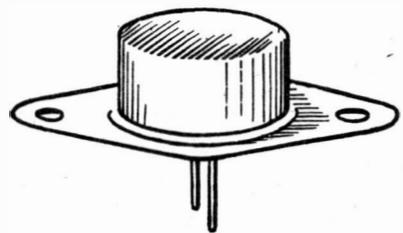


FIG. 91. — Esta ilustración corresponde a un transistor de potencia.

metálica, por lo que sólo tiene dos terminales de conexión. Si la base no debe unirse al chasis, hay que montarlo sobre pilares o arandelas aislantes. Muchos transistores de potencia deben ser enfriados artificialmente para mantener su temperatura por debajo de las cifras recomendadas por la fábrica. Para tal fin se les coloca unas aletas metálicas de enfriamiento.

La disposición de los terminales en los transistores obedece a normas determinadas, adoptándose unas veces una distribución irregular de las patas, otras, la colocación de un punto

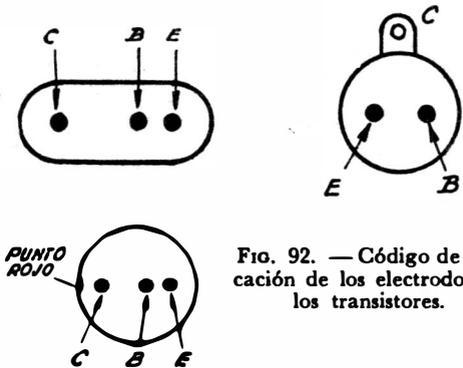


FIG. 92. — Código de ubicación de los electrodos en los transistores.

rojo de identificación junto al colector, y otras colocando solamente dos terminales, pues la caja metálica corresponde a la base. La figura 92 muestra las disposiciones más comunes, siendo las letras las iniciales de las tres palabras: Emisor, Base y Colector. Obsérvese que cuando no hay ninguna pinta de color, las distancias entre terminales no son uniformes, como en la ilustración superior, en la que el terminal de base es el central, pero está cerca del de emisor.

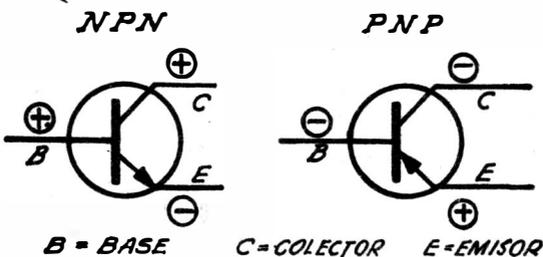


FIG. 93. — Estos son los símbolos más usados para representar transistores.

En los esquemas no se dibujan los transistores con su forma real, sino que, tal como se ha venido haciendo durante años para las válvulas termiónicas, se adoptan símbolos. Como hay esencialmente dos tipos de transistores, el N-P-

N y el P-N-P, habrá dos símbolos distintos, los que se ven en la figura 93, con indicación de las polaridades y las letras respectivas, iniciales de las palabras que designan a los electrodos. Obsérvese que la única diferencia en los símbolos es que la flecha de emisor apunta para afuera en el tipo N-P-N y para adentro en el P-N-P. Hay una manera de recordar esto de memoria, y es que, como en los N-P-N el emisor lleva polaridad negativa, los electrones son salientes del emisor, como en toda emisión de electrones. En los P-N-P, como lleva polaridad positiva, que corresponde a las lagunas, ellas son entrantes, es decir de sentido contrario a la emisión.

En los esquemas no se ponen las letras y las polaridades que marcamos en la figura 93, puesto que el símbolo debe conocerse de memoria, y las polaridades están dadas por las pilas del circuito, según lo veremos oportunamente. Pero no debe pensarse que solamente hay un tipo de transistor N-P-N y un tipo P-N-P. Hay muchos, y ello se distingue colocando al lado del transistor su denominación en código, por ejemplo OC79, 2N115, etc.

Frecuencia límite de trabajo

En los transistores hay un tránsito de electrones desde el emisor hasta el colector, y ese tránsito dura un cierto tiempo, muy breve, pero que debe tenerse en cuenta. Estudios científicos han determinado la velocidad del desplazamiento de electrones y lagunas en la masa de germanio del transistor, y el resultado de tales estudios se da en cifras, de las que sacamos una conclusión: si se trabajara con corrientes de alta frecuencia, en las cuales ocurren variaciones en tiempos muy breves, habrá inconvenientes por el tiempo de tránsito. De todas maneras, cada transistor tiene especificada su frecuencia límite de trabajo, que se llama *frecuencia de corte*.

Temperatura de trabajo

Un factor que en las válvulas no tenía tanta importancia, como es la temperatura, en los transistores adquiere el carácter de factor primordial de precauciones. En efecto, la masa de germanio impuro tiene ligaduras enteras y ligaduras rotas, y el calor puede alterar la cantidad de estas últimas. Si ello ocurre, comienza a haber más cargas eléctricas en movimiento, el material se hace más conductor, aumenta el pasaje de la corriente, y con ello aumenta más aún la temperatura. Se llega así a afectar la estructura cristalina y a inutilizar al transistor.

Por este motivo, las fábricas especifican cuidadosamente la temperatura de cada transistor. En algunos casos, se especifica la temperatura máxima de trabajo y la disipación de potencia del electrodo más caliente, el colector.

EL TRANSISTOR AMPLIFICANDO

Supongamos ahora que tenemos una señal, por ejemplo una pequeña tensión eléctrica proveniente de un micrófono. Esta tensión es siempre alternada, aunque su forma de onda no sea senoidal pura, ya que ese detalle no interesa para lo que estamos tratando. Aplicamos esa tensión a una resistencia R , según lo muestra la figura 94, y circulará una corriente. Según se estudia en Electricidad, el valor de la corriente se obtiene dividiendo la tensión en Volt por la resistencia en Ohm, resul-

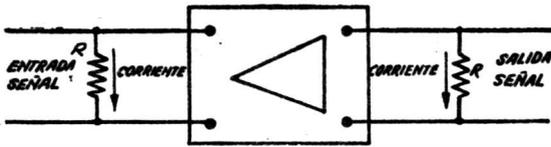


FIG. 94. — Un amplificador puede amplificar corriente.

tando tal corriente en Amper. En radio se suelen usar unidades más pequeñas, como el milivolt, el miliamper, etc., pero la cuestión es la misma. En resumen, a la entrada de nuestro amplificador tenemos una señal cuya valor conocemos, sea en Volt, por ser una tensión, o sea en Amper, por haber calculado la corriente.

Ahora aplicamos el amplificador. Si es un amplificador de tensión, nos entregará a la salida una tensión mayor, que aplicada a una resistencia R , que supondremos igual a la de la entrada, nos permitirá calcular la corriente a la salida. Como la tensión es mayor, y la resistencia es igual, la corriente a la salida será mayor que la de la entrada. Luego, nuestro amplificador de tensión es, en cierto modo, un amplificador de corriente.

Veamos el caso inverso. Tenemos un amplificador de corriente. Aplicamos a la entrada una corriente débil y tendremos a la salida una corriente mucho mayor, por ejemplo 10 veces mayor. La corriente a la entrada, multiplicada por el valor de la resistencia R nos da una tensión, y la corriente a la salida, multiplicada por el mismo valor R nos dará una tensión mayor, exactamente 10 veces mayor. Luego, nuestro

amplificador de corriente se ha convertido en un amplificador de tensión, gracias a la inclusión de las resistencias a la entrada y a la salida.

Finalmente, veamos lo que ocurre con la potencia. La potencia se calcula multiplicando la corriente por la tensión. Si a la entrada tenemos una cierta corriente, la que multiplicada por R nos da una tensión, podemos encontrar la cifra de *potencia de entrada*, que corresponde a nuestro amplificador. A la salida, digamos que la corriente era, por ejemplo, 10 veces mayor. La tensión es también 10 veces mayor por lo ya expresado en el párrafo anterior. Luego, al calcular la potencia encontraremos una cifra 100 veces mayor, por multiplicar dos cantidades 10 veces mayores cada una. Luego, nuestro amplificador de la figura 94 es un amplificador de potencia que amplifica 100 veces. La *potencia de salida* se recoge en la resistencia R de la derecha, la cual, por ese motivo se llama *carga* del amplificador.

La acción amplificadora

Para comprender cómo puede amplificar una señal un transistor, debemos remitirnos a la figura 95, que nos muestra un transistor, al cual se le ha aplicado una resistencia en el circuito de emisor y otra en el circuito de colector. El efecto de barrera de potencial de la base ya nos es conocido.

La señal que aplicamos a la entrada, en el circuito de emisor, es una tensión alterna, y la curva senoidal que aparece a la izquierda es su representación gráfica. Para el punto A de la curva, la tensión vale cero; es el momento en que cambia de signo, y en ese instante podemos suponer que no se ha aplicado ninguna señal a la entrada y que el transistor está trabajando con sus tensiones y corrientes básicas.

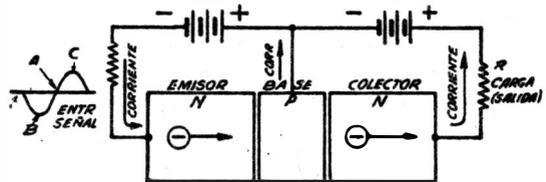


FIG. 95. — Efecto de amplificación explicado mediante las barreras de potencial.

En esa situación, el transistor tiene sus polaridades dadas por las pilas, y las corrientes de emisor, base y colector son las que conocemos. Por la resistencia insertada en el circuito del

emisor circula la corriente de emisor, y por la R , que es la que está en el circuito de colector, circula la corriente de colector; esta resistencia es la que se llama *carga*. La base también tiene su polarización y su corriente; la *suma de las corrientes de base y colector es igual a la corriente de emisor*.

Veamos ahora lo que pasa para el punto B de la señal de entrada. En ese instante, la tensión de entrada tiene su máximo valor negativo, o sea que se suma a la polaridad negativa del emisor. Todo pasa como si hubiéramos aumentado la tensión negativa de emisor, luego aumentará la corriente de emisor. La consecuencia inmediata es un aumento también en la corriente de colector, o sea que la corriente que circula por la carga R aumenta.

Pasemos ahora al instante C del gráfico senoidal de la señal de entrada. Para ese instante, la tensión de entrada es positiva, luego se resta a la de polarización del emisor. La pendiente resulta con menor inclinación y ello significa una reducción en la corriente de emisor, y una consecuente reducción en la corriente de colector. Es como si se hubiera aumentado la barrera de potencial de la base.

En conclusión, la corriente en el circuito de emisor fluctúa siguiendo las variaciones de la señal de entrada, y la corriente en el circuito de colector también fluctúa con idénticas variaciones, por el efecto terminante que tiene la polarización de emisor sobre la corriente del colector. Tenemos así el efecto amplificador. Veamos algunas cifras tomadas de la realidad, para valorar esa amplificación.

Un valor típico de la resistencia de emisor a base, es del orden de los 500 Ohm, mientras que la resistencia de colector a base es de unos 500.000 Ohm. Si no hubiera aumento de la corriente de colector frente a las variaciones de potencial del emisor, tendríamos que:

La tensión en el emisor es igual al producto de la corriente por la resistencia. Tomemos 1 mA, o sea 0,001 A, que multiplicado por los 500 Ohm nos da 0,5 Volt.

Hagamos esa misma cuenta para el colector, y obtenemos 0,001 A multiplicado por 500.000 Ohm, que da 500 Volt. Para saber la ganancia obtenida debemos dividir la tensión a la salida por la tensión a la entrada, operación que se hace dividiendo 500 por 0,5 resultando 1.000. O sea que nuestro transistor ficticio nos dio una amplificación de 1.000 veces.

Veamos ahora la figura 196, que muestra el mismo transistor anterior, pero en el cual la señal de entrada la aplicamos en una resistencia insertada en el circuito de la base. La señal de salida la tomamos, igual que antes, en la resistencia de carga R , en el circuito de colector. El efecto de amplificación se mantiene, pero con una considerable ventaja, pues la ganancia obtenida es siempre mayor, ya que ahora unimos a la amplificación de resistencia una verdadera *amplificación de corriente*. La superposición de efectos da una ganancia considerable.

En efecto, esto último puede explicarse fácilmente, si recordamos que pequeñas variaciones de la polarización de la base ocasionan grandes variaciones en la corriente de emisor. Luego, si las variaciones que puede ocasionar la señal aplicada al emisor son amplificadas en el circuito de colector, variaciones más pequeñas de la señal aplicada a la base resultan en grandes variaciones en el circuito de colector. Veamos algunas cifras para comparar resultados. Tomemos como resistencia del circuito base-emisor un va-

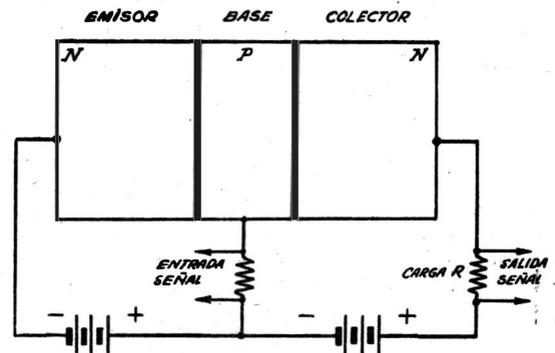


FIG. 96. — Forma de conectar un transistor para que amplifique.

lor de 500 Ohm, y para el circuito base-colector 20.000 Ohm. La ganancia de corriente de base a colector es, por ejemplo 50, cifra común. Veamos las tensiones presentes en los circuitos de base y de colector:

En la base la tensión será, para una corriente de 0,001 A igual a $0,001 \times 500 \text{ Ohm} = 0,5 \text{ Volt}$, y la potencia se calcula multiplicando $0,001 \text{ A} \times 0,05 \text{ Volt} = 0,0005 \text{ Watt}$.

En el colector, la tensión será el producto de una corriente 50 veces mayor, o sea 0,05 A por 20.000 Ohm = 1.000 Volt. La potencia sale de multiplicar $0,05 \text{ A} \times 1.000 \text{ Volt}$, o sea 50 Watt. La ganancia de potencia sale de dividir 50 W por 0,0005 Watt, o sea 100.000 veces.

También en este caso las cifras son ficticias, pues en la realidad no se alcanzan valores tan altos, pero sí es exacto que la ganancia del transistor con entrada de señal en base y salida en colector es mayor que en el otro montaje, y que la ganancia de potencia de un transistor es superior a la que se obtiene con válvulas termoiónicas.

Amplificación con base a masa

Las consideraciones hechas para las figuras 95 y 96 nos demuestran que hay más de una manera de amplificar con los transistores, pues ya hemos visto dos modos distintos; y todavía hay un tercero. Es común designarlos con los nombres de amplificadores con *base a masa*, con *emisor a masa* y con *colector a masa*. Dejemos de lado las denominaciones y veamos las diferencias de esos tres montajes, comenzando por el primero, o sea el de base a masa.

La figura 97 nos muestra en símbolos, lo que teníamos en la figura 95. Por tener flecha saliente de emisor, el transistor es tipo N-P-N, y lleva polaridad negativa en emisor y positiva en colector. La entrada de la señal se hace sobre la resistencia R_1 y la salida de señal se toma sobre la carga R_2 . Como hemos explicado, a los aumentos de la tensión negativa de la señal en el emisor (semiciclo negativo de la señal) corresponden aumentos en la corriente de colector, con lo que el paso de una mayor corriente por R_2 harán más negativo al colector, por aumentar la caída de tensión en esa resistencia.

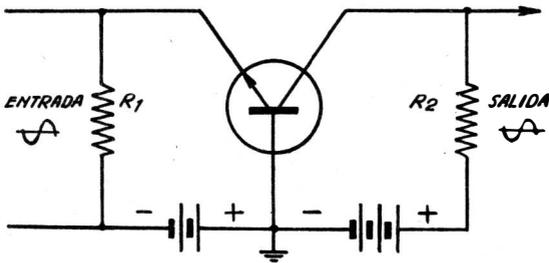


FIG. 97. — Esquema del transistor como amplificador de base a masa.

Luego, cuando el emisor se hace más negativo, el colector también. Esto se interpreta diciendo que las señales en emisor y colector están en fase. Este hecho se lo ha querido dejar representado gráficamente con las senoides de entrada y salida, y que representan la señal. Esas dos senoides están en fase, pues cuando la de entrada tiene su semiciclo negativo, la de salida también lo tiene, y lo mismo para el positivo.

Amplificación con emisor a masa

Este montaje es el más difundido, por las razones de su mayor ganancia, tal como ya lo hemos comentado anteriormente. Pasamos a la representación mediante símbolos y tenemos la figura 98, o sea que la señal de entrada se aplica a la base, y la salida se toma del colector.

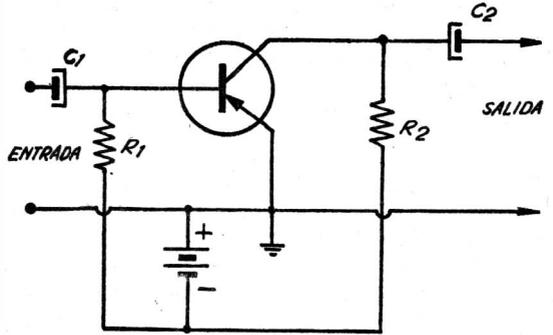


FIG. 98. — Polarización del amplificador con base a masa mediante una sola batería.

Como ocurrió para el caso de amplificador con base a masa, el circuito práctico tiende a economizar una batería, y comprobamos que en la figura 98 hay una sola. Para lograr esta disposición hay que polarizar la base y el colector con la misma tensión negativa, y si ello es un inconveniente para el tipo de transistor elegido, puede aumentarse el valor de la resistencia R_1 , a efectos de que la caída de tensión en ella reduzca el potencial de base por el efecto de la caída de tensión en esa resistencia. En razón de la baja impedancia de la base, la señal de entrada se aplica a través de un capacitor C_1 de alto valor, unos 10 microfarad; por razones parecidas, al aplicar la señal a la etapa siguiente, el capacitor de salida tiene el mismo valor. Hay dos cosas que aclarar con respecto a estos capacitores, el C_1 y el C_2 . La primera se refiere a la necesidad de su uso, el cual obedece a evitar que el circuito anterior y el posterior estén afectados por la tensión continua de la base, para el anterior, y del colector, para el que sigue, porque se sobreentiende que este transistor amplificador constituirá una etapa de un amplificador completo. La segunda aclaración se refiere a que, por tratarse de capacidades altas, se emplean electrolíticos, si bien pueden ser de baja aislación, por ser baja la tensión de la batería.

Amplificación con colector a masa

La idea de conectar a masa el colector de un

transistor, que requiere una polarización alta, parece imposible, pero la denominación se refiere a la conexión a masa para la señal alterna, con lo que esa conexión puede hacerse a través de un capacitor de alta capacidad. Si el colector va a masa, nos quedan los otros dos electrodos para la entrada y la salida de la señal. En la figura 99 vemos que la entrada se hace por la base y la salida por el emisor. La base se conecta al punto de unión de las resistencias R_1 y R_2 , cuyos valores usuales son 500.000 y 100.000 Ohm respectivamente, con lo cual la base tiene una polaridad negativa de la tercera parte de la total de la batería.

El hecho de que la señal de salida se tome del circuito del emisor en lugar del de colector, hace perder la propiedad amplificadora al transistor, de modo que no hay ganancia; luego debe haber otra razón para utilizar este montaje. En efecto, si consideramos que con respecto al colector, la señal de entrada y la de salida están en serie, aparece algo así como una inversión de colector con respecto a la base, lo que eleva la impedancia de esta última. En resumen, que

el amplificador con colector a masa tiene alta impedancia de entrada y baja impedancia de

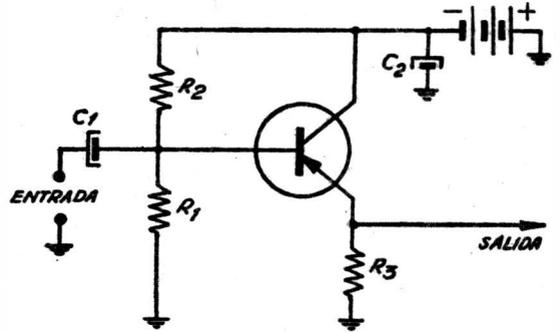


FIG. 99. — Polarización con una sola batería del amplificador con colector a masa.

salida. Esta particularidad hace que no se lo emplee para obtener ganancia, la cual no existe, sino como adaptador o transformador de impedancias.

Día 5

Al estudiar las corrientes eléctricas, tanto las de circulación continua como las alternadas, vimos algunas de sus particularidades, las que fueron interesantes pero no muy desconocidas, pues en la vida diaria tenemos oportunidad de comprobar los efectos de la circulación de la corriente eléctrica; la luz y el calor eléctricos son de uso familiar, y los fenómenos electromagnéticos los tenemos en los ventiladores, motores para diversas aplicaciones, etc. Pero hay muchos otros fenómenos eléctricos que escapan a esas situaciones muy conocidas, y entre ellos merecen destacarse los que producen las corrientes de alta frecuencia, cuyas aplicaciones industriales son cada vez más numerosas e interesantes. En este libro no nos ocuparemos de la radio ni de la televisión, sino solamente de la electrónica, y es creencia casi general que la alta frecuencia se emplea en esas dos ramas mencionadas; bueno, no hay tal, pues si bien las ondas radioeléctricas son la manifestación más generalizada y conocida de las altas frecuencias, sus usos en medicina y en la industria son más diversos cada día.

En la presente jornada nos ocuparemos de las corrientes de alta frecuencia y de la forma de producirlas, sea con válvulas o con transistores, elementos, ambos, ya conocidos. Posteriormente se volverá sobre el tema para describir aparatos reales. Y es que debemos estudiar primero los principios de los fenómenos y los elementos que se vinculan a ellos, para luego pasar al conocimiento de los equipos industriales que los utilizan.

CORRIENTES DE ALTA FRECUENCIA

Qué es una onda

Comenzando por la imagen más popular de la onda recordemos lo que todos hemos hecho más de una vez: arrojar una piedra sobre el agua, y observar las olitas concéntricas que se alejan rápidamente del lugar donde se produjo el impacto. Estas olas forman círculos concéntricos que se van agrandando constantemente. Ahora bien: ¿es el agua que se desplaza apartándose del centro? No, puesto que si colocamos un corcho o una maderita observaremos que queda en el mismo lugar, si bien cada ola le produce un movimiento pero no la lleva consigo. Entonces hay que admitir que se trata de un fenómeno propagatorio, es decir, lo que corre no es una sustancia sino algo no material que se denomina precisamente *onda*.

Podríamos imaginar una comparación más ilustrativa si colocamos una gran cantidad de hombres en fila y cada uno de ellos extiende la mano y toca el hombro al de adelante, vol-

viendo a bajarla hasta llegar al que está en la cabecera de la fila. Si un aviador observara desde el avión ese hecho, le haría el efecto de algo que va corriendo a lo largo de la fila, como un fenómeno que se propaga con mayor o menor rapidez.

Llegamos así a poder ocuparnos de las ondas de alta frecuencia. Tomemos un conductor como se ve en la figura 100 y hagamos circular por él una corriente eléctrica de carácter alternado y de una frecuencia muy alta, por ejemplo, un millón de ciclos por segundo. No debe asombrarnos esta cifra porque es común en electrónica el empleo de frecuencias de varios millones de ciclos. En torno al conductor sabemos que se generan fenómenos magnéticos que son de naturaleza constante o variable, es decir del mismo carácter que la corriente que los genera. En nuestro caso, el campo magnético producido tendrá pulsaciones o variaciones armónicas u oscilatorias de un millón de veces por segundo. En el espacio vecino este campo magnético va-

riable da origen a la formación de cargas eléctricas que sufren también los efectos de esas variaciones. Estas cargas al ser variables se com-

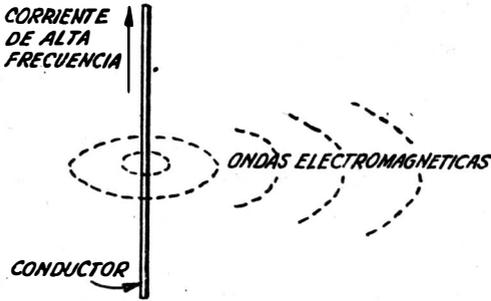


FIG. 100. — Origen de las ondas electromagnéticas.

portan como una corriente eléctrica variable y engendran fenómenos magnéticos. Así sucesivamente tenemos fenómenos eléctricos, magnéticos, luego eléctricos, y nos vamos alejando del conductor, es decir que se trata de un fenómeno que se propaga por el espacio, o sea de una onda, que en este caso particular se denomina *onda electromagnética*. La propagación de esta onda a través del espacio se hace con una velocidad fabulosa, 300.000 kilómetros por segundo. Para darse una idea de la rapidez de la propagación: una onda electromagnética que circundara el globo terráqueo, al propagarse daría siete vueltas y media alrededor de él, en el brevísimo lapso de un segundo. Vulgarmente, las ondas electromagnéticas se llaman también *ondas de radio* y a veces se las denomina directamente *señales*. Cabe destacar que esas ondas de alta frecuencia pueden viajar también por los cables, y entonces tenemos las corrientes de alta frecuencia, de gran importancia en la electrónica. Veamos cómo se puede producir una corriente de alta frecuencia, también llamada *oscilación eléctrica*.

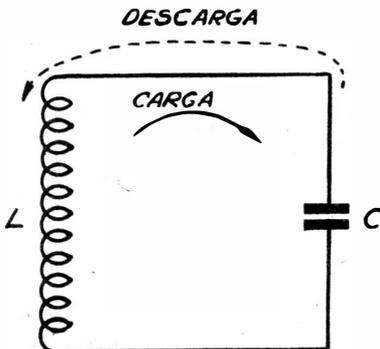


FIG. 101. — Efecto de la oscilación eléctrica.

La oscilación eléctrica

Todos recordamos el péndulo del reloj antiguo, con su movimiento oscilatorio o de vaivén, y ese elemento se ha usado muchas veces para establecer un paralelo con la oscilación eléctrica, del mismo modo que la corriente de agua se empleaba como ejemplo en los paralelos con la corriente eléctrica. Dejaremos que el lector recuerde el fenómeno pendular como figura física para justificar una denominación, la *oscilación*, pero expliquemos la oscilación eléctrica como lo que es.

Tomemos el clásico conjunto formado por una bobina y un capacitor, que mostramos una

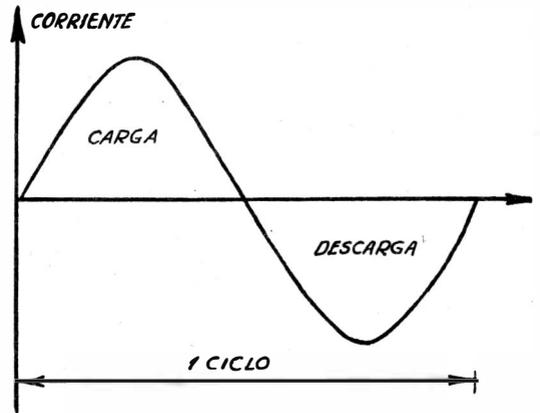


FIG. 102. — La oscilación eléctrica resulta una corriente alternada, cuyo gráfico es una senoide.

vez más en la figura 101. Supongamos que el capacitor está cargado de electricidad, por haberlo colocado así en el circuito. La bobina forma un circuito cerrado, luego el capacitor se descargará sobre ella, circulando una corriente que no tiene un valor constante, sino variable. Esta corriente variable, al circular por la bobina, da origen a fenómenos de autoinducción, aparece una fuerza electro-motriz en la bobina, la cual puede interpretarse como una diferencia de potencial entre sus extremos, capaz de volver a cargar el capacitor con una corriente de carga contraria a la anterior, que tampoco es constante sino variable. El capacitor cargado vuelve a descargarse sobre la bobina, y así sigue el fenómeno.

Veamos; tenemos energía eléctrica que pasa del capacitor a la bobina y de ésta al capacitor, luego otra vez a la bobina y nuevamente al capacitor. La imagen de esa energía eléctrica en su desplazamiento en vaivén es la del péndulo,

de ahí que se haya denominado *oscilación eléctrica*. No podemos, dentro del nivel de este libro, hacer el desarrollo de los valores de la corriente en cada instante, pero podemos representar su forma de variación, que es una senoide, como lo vemos en la figura 102. El ciclo completo consta de una carga y una descarga del capacitor, y dura una fracción de tiempo que se llama *período*. La cantidad de períodos en un segundo se llama *frecuencia* de oscilación o de *resonancia*.

Teóricamente, la oscilación se mantendría indefinidamente, pero en la práctica no ocurre así. La bobina está hecha con alambre, y ese alambre tiene resistencia eléctrica. El capacitor tiene un material entre placas, y ese material no es aislador perfecto, de modo que hay pequeñas fugas de corriente. La resistencia de la

va perdiendo por la amortiguación del circuito, se recupera por la reinyección o realimentación que estamos haciendo, por vía inductiva, me-

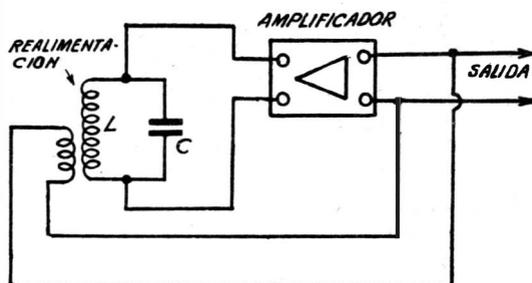


FIG. 104. — Forma de evitar la amortiguación mediante realimentación.

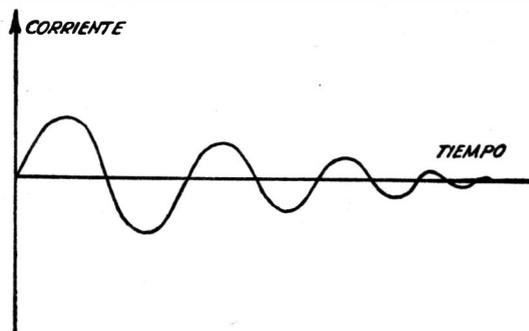


FIG. 103 — Las oscilaciones van disminuyendo, o sea que son amortiguadas

bobina y las fugas del capacitor hacen que la energía eléctrica que teníamos originalmente en el capacitor se vaya perdiendo, hasta que prácticamente desaparece. Las oscilaciones van siendo cada vez de menor amplitud hasta desaparecer. La figura 103 nos quiere mostrar esto, y nos dice que se trata de oscilaciones amortiguadas.

Resumamos, para fijar ideas; tenemos un conjunto de bobina y capacitor, y si aplicamos una carga a este último el conjunto comienza a oscilar con una cierta frecuencia que depende de los valores de la capacidad del capacitor y de la inductancia de la bobina. Pero esas oscilaciones desaparecen en breve tiempo. Luego, nuestro oscilador no sirve. Veamos cómo podemos hacer para que entretenga o mantenga las oscilaciones.

La figura 104 nos da una idea al respecto. Se trata de aplicar el conjunto oscilante a la entrada de un amplificador, y la salida de éste aplicarla a una bobina que esté colocada arriada a la bobina L del conjunto oscilante. ¿Qué ocurrirá? Que la energía eléctrica que se

dianate la bobina auxiliar de realimentación. Claro que la salida del amplificador puede también llevarse a otro lado, además de alimentar la bobina auxiliar, y eso sería la salida de señal útil de nuestro oscilador.

Recapitulemos; el conjunto de la figura 104 es un oscilador, pero no puede llamarse así al circuito LC solamente, ni al amplificador, ni a la bobina de realimentación. Si el amplificador es una válvula termoiónica, suele denominarse a como *osciladora* en este circuito, pero vemos que esa denominación no es estrictamente correcta. La válvula ayuda a mantener las oscilaciones. Si es un transistor, lo mismo.

Hay un detalle muy importante a tener en cuenta en la realimentación mediante la bobina auxiliar. No debemos reinyectar demasiada energía al circuito oscilante LC , sino la necesaria

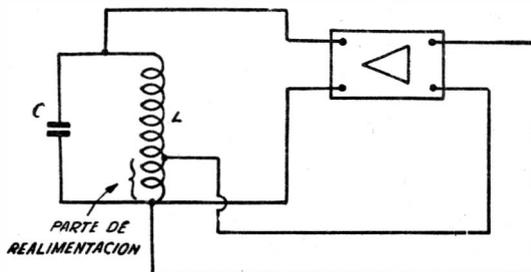


FIG. 105. — La realimentación puede hacerse tomando parte de la bobina del circuito resonante.

para cubrir su amortiguación; este es el primer aspecto, y se resuelve haciendo la bobina auxiliar con pocas vueltas y un acoplamiento con la bobina L que no sea demasiado fuerte. El segundo aspecto es que la realimentación debe

reinyectar energía en fase, ya que siendo una senoide la señal en el conjunto *LC*, la señal

tomar poca impedancia, el capacitor inferior es de mayor capacidad que el superior, ya que a mayor capacidad menor impedancia. Pero veamos estas cosas con mayor detalle.

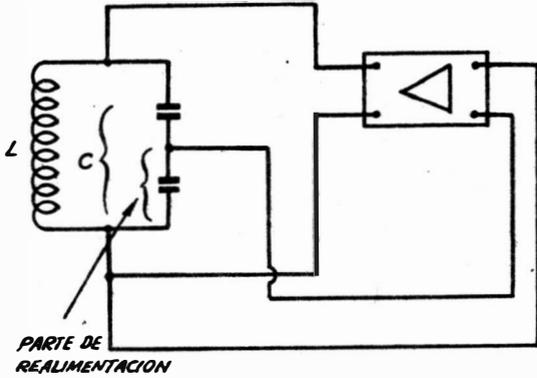


FIG. 106.— La realimentación puede hacerse sobre una parte capacitiva.

reinyectada también lo será, pero debe coincidir en su fase una senoide con la otra; si no se procediera así, en lugar de ayudar a compensar el amortiguamiento lo provocaríamos más rápido. En términos eléctricos, si la señal de reinyección elimina la oscilación, deben invertirse los terminales de la bobina de realimentación, es decir los cables que la conectan.

El montaje del oscilador en la forma que muestra la figura 104 no es el único. En Radio es usual denominar a los osciladores con el nombre de quien los experimentó inicialmente. Así, el de la figura 104, a realimentación inductiva directa, se denomina *Meissner*. Veamos ahora el tipo *Hartley* y el tipo *Colpitts*, los otros dos más populares.

La figura 105 nos muestra el montaje Hartley, o sea de realimentación inductiva pero sin bobina auxiliar, ya que para esa función se usa una parte de la bobina del circuito oscilante. El conjunto *LC* es el mismo, o sea que sus valores son los que dan la frecuencia de resonancia, tal como veremos. Parte de la bobina *L*, tomada mediante una derivación en el bobinado, se usa para reinyectar la salida del amplificador, de modo que compensamos la amortiguación del circuito *LC* en forma similar a la anterior. La derivación debe contar con pocas espiras, y en la práctica suele tener solamente de un 10 a un 20 % del total de la bobina.

La figura 106 nos muestra el montaje Colpitts, en el cual la realimentación se hace mediante una derivación en el capacitor *C*, para cuyo efecto se usan dos capacitores en serie, cuya capacidad equivalente debe ser el valor *C* que teníamos antes. Como la realimentación debe

Relaciones numéricas

Hemos dicho que la frecuencia de las oscilaciones dependía de los valores de capacidad del capacitor *C* y de inductancia de la bobina *L*. Aclaremos primero que esos tres datos tienen unidades prácticas; así, la inductancia suele medirse en microhenry, la capacidad en microfarad, y la frecuencia en Kilociclos por segundo, para muchos cálculos prácticos. Buenos, los cálculos pueden hacerse partiendo de dos de esas cantidades conocidas para hallar la tercera, y para ello hay fórmulas, pero lamentablemente no soy muy simples.

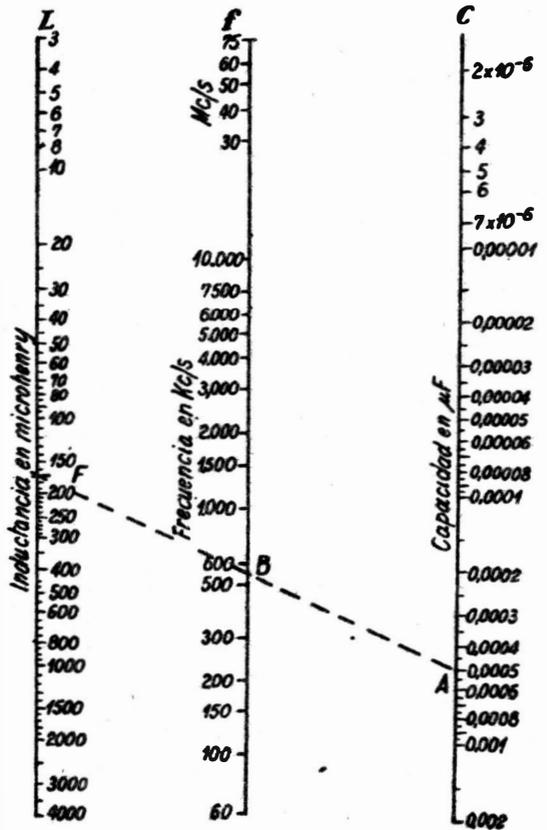


FIG. 107.— Gráfico que permite calcular los circuitos de oscilación.

Para dar al lector algún elemento que le permita hacer esos cálculos, veamos el ábaco de la figura 107. Tiene tres ejes verticales, y para

usarlo debemos poseer una regla transparente que corte a los tres ejes en tres puntos, dos de ellos marcados de intento, y el tercero como

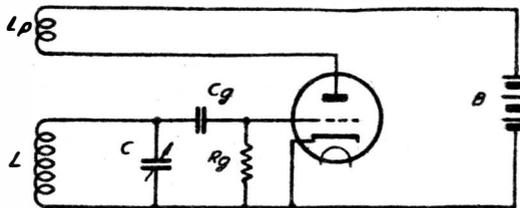


FIG. 108. — Esquema de un oscilador de realimentación inversa a válvula.

resultado. Por ejemplo, supongamos que se pregunte cuál es la inductancia necesaria para dar una frecuencia de 550 Kc/s con un capacitor de 0,0005 microfarad. Colocamos la regla en esos dos puntos, que son los B y A, y el tercero, el F, resulta dado por la regla sobre la primera escala vertical; es 170 microhenry.

Obrévese, de paso, que para frecuencias altas se ha colocado la unidad Megaciclo por segundo, y que para capacidades bajas se ha colocado un factor 10^{-6} , que equivale a un divisor de un millón. Unas cuantas pruebas con el ábaco, nos pondrán prácticos.

Osciladores a válvula

Hemos dicho que para evitar el amortiguamiento de las oscilaciones necesitábamos un sistema amplificador, es decir que no es cuestión de entregar corriente continua al circuito para cargar el capacitor sino que tenemos que tomar la misma señal obtenida para realimentar el circuito. Necesitamos entonces un dispositivo que nos amplifique la señal de alternada y que consuma otra clase de energía eléctrica. Tal dispositivo no es otra cosa que la válvula termoiónica que consume corriente para alimentar sus electrodos pero nos amplifica la señal aplicada a la grilla, obteniéndose en el circuito de placa una señal de mayor tensión que la de entrada.

Veamos al efecto la figura 108 que nos muestra un oscilador ya en todo el sentido de la palabra. La válvula tiene conectada a su circuito de grilla el conjunto resonante LC y la tensión alternada que se produce en el mismo resulta amplificada en la placa, pero en este circuito se intercala la bobina L_p que está colocada muy cerca de la bobina L , de tal modo que el campo magnético que produce la primera barre a la segunda reforzando la señal que existe

en ella. Como la corriente que pasa por la bobina L_p tiene las mismas variaciones que la tensión que se induce en la bobina L , estamos produciendo la realimentación que se buscaba. Nuestro oscilador es ya perfecto pero falta explicar la misión que cumplen algunos otros elementos que aparecen en la figura. Por ejemplo la resistencia R_g tiene por objeto dar a la grilla la polarización debida, es decir una tensión continua. Como la señal que entrega el circuito resonante en parte hace circular una pequeña corriente por esa resistencia, se produce en la misma una caída de tensión que es la que nos da la polarización buscada. Pero ahora tendríamos el inconveniente que teniendo que haber entre grilla y cátodo una tensión continua, la misma se descargaría a través de la bobina L por lo cual se debe colocar el capacitor C_g para evitar esa descarga. La tensión positiva para que trabaje la placa de la válvula, se suministra mediante la batería B . Ahora tenemos el oscilador completo y la señal obtenida puede extraerse tanto del circuito de la placa como del circuito de grilla. La frecuencia de esta señal está dada por la que corresponde a la resonancia de la bobina L con el capacitor C , es decir de sus características constructivas, lo que equivale a decir que puede calcularse de antemano. Si se desea variar la frecuencia de las señales producidas por nuestro oscilador, debe alterarse la inductancia de la bobina o la capacidad del capacitor. Siendo más sencillo esto último, para hacer un oscilador de frecuencia variable se coloca en lugar de C un capacitor variable. El oscilador de la figura 108 suele denominarse de realimentación inversa.

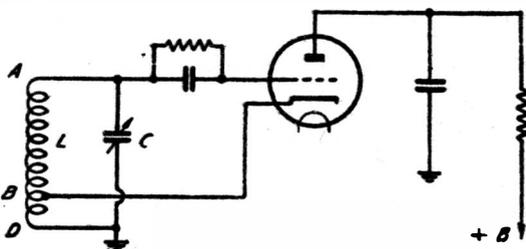


FIG. 109. — Esquema del oscilador Hartley a válvula.

Desde el momento que la corriente de placa circula también por el cátodo de la válvula no es necesario hacer dos bobinas para el circuito oscilador, pues basta disponer una sola con una derivación tal como se ve en la figura 109 que corresponde al llamado *oscilador Hartley*. Ve-

mos allí que el conjunto resonante está formado por la bobina L completa desde A hasta D y del capacitor C . El cátodo se conecta a la derivación B de manera que la corriente de placa circula por el tramo BD y con ello los fenómenos magnéticos que se producen en esta sección barren el resto de la bobina L , produciéndose la realimentación necesaria. Para completar el oscilador aparecen en el circuito de grilla la resistencia y el capacitor de polarización conectados un poco diferente al circuito de la figura 108 pero tiene la misma finalidad que allí. La placa se alimenta desde una fuente de tensión continua B y para que la señal encuentre un retorno cómodo hacia el punto D de la bobina se coloca un capacitor entre placa y masa. Lo mismo que en caso anterior para hacer variable la frecuencia de este oscilador, se hace variable al capacitor C .

Veamos ahora el oscilador Colpitts a válvula, basado en el esquema sintético de la figura 106. El conjunto oscilante está formado por la bobina B y los dos capacitores C , los que, estando en serie, constituyen la capacidad que debe tomarse para los cálculos; si son iguales, la capacidad resultante de esa conexión en serie es la mitad del valor de cada uno.

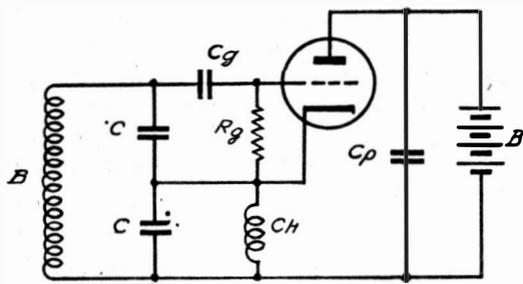


FIG. 110. — Esquema del oscilador Colpitts a válvula.

La figura 110 muestra el esquema que corresponde a este tipo de oscilador. Las funciones de la resistencia R_g y del capacitor C_g ya han sido explicadas, lo mismo que la del capacitor de placa C_p . Aparece como nuevo el bobinado CH que tiene por misión impedir el paso de la señal de alta frecuencia presente en el cátodo de la válvula pero permitir el pasaje de la corriente continua de placa de la válvula. Esta función de las bobinas ya fue explicada en el capítulo 2, de modo que nos es conocida, y en tales casos se las denomina *choques* de R.F. o sea de alta frecuencia. De ahí la sigla CH que se les aplica en los esquemas. Los circuitos osciladores prácticos serán explicados más adelante.

El multivibrador

Puede hacerse un oscilador que no tenga circuito sintonizado, ya que basta realimentar la salida de un amplificador de dos etapas a la entrada del primero. La figura 111 nos muestra el circuito que se llama *multivibrador*.

En primer lugar, al no haber un circuito resonante, con cierto valor de L y cierto valor de C , no habrá una señal de salida que tenga una

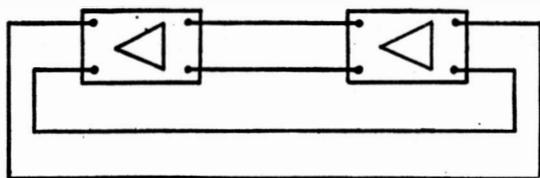


FIG. 111. — Principio de acción del multivibrador.

frecuencia determinada, sino una señal formada por la mezcla de un sinnúmero de frecuencias, de ahí el nombre de multivibrador.

En segundo lugar, para determinar una frecuencia fija, hay que inyectar en el multivibrador una señal de control, que se llama de *sincronismo*, y de ese modo el multivibrador puede convertirse en un oscilador de frecuencia fija.

En resumen, el multivibrador es un oscilador multifrecuencia de alto rendimiento, por ser fuerte la realimentación que se aplica, ya que toda la salida de la segunda etapa se aplica a la entrada de la primera. Para fijar la frecuencia debemos contar con una señal sincronizante.

Osciladores a transistores de B.F.

Sentados los principios de la oscilación y la manera de mantenerlas mediante realimentación de energía, pasemos a los circuitos de osciladores de baja frecuencia (B.F.) que emplean transistores en esa función. Ya sabemos que el transistor tendrá un montaje amplificador, y que habrá un circuito resonante realimentado. La frecuencia de la señal producida depende de los valores de L y C con exclusión de las características del transistor.

Tomemos, en primer término el oscilador Meissner, cuyo circuito a transistor mostramos en la figura 112. El circuito resonante es de alta impedancia, y ya hemos dicho que esa propiedad obliga a conectarlo en el colector del transistor; en el caso de las válvulas termoiónicas, había la posibilidad de conectarlo en los circuitos de grilla o de placa.

La realimentación es de baja impedancia, por necesitarse generalmente un bobinado de pocas espiras, de modo que puede conectarse en el circuito de base. Con ello tenemos un montaje amplificador de emisor a masa, que sabemos es de alto rendimiento. La frecuencia de oscilación depende de los valores de L y C , según sabemos.

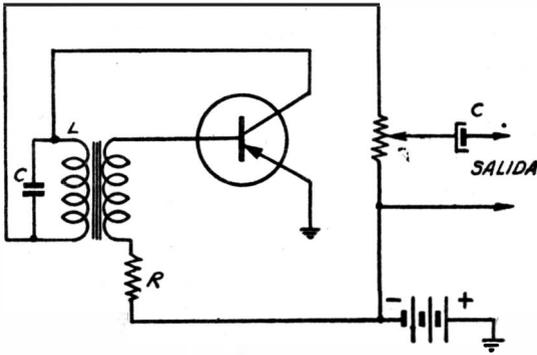


FIG. 112. — Circuito de un oscilador Meissner de audiofrecuencia.

Obsérvese que se ha colocado a la salida un potenciómetro, para poder tomar toda o parte de la señal obtenida. Además, para evitar que el circuito de salida lleve polaridad continua, la que suministra la batería, se coloca el capacitor C , de alta capacidad si el circuito que sigue es de entrada por baja impedancia, como es corriente empleando transistores.

La resistencia R sirve para dar la polarización adecuada a la base y su valor depende del tipo de transistor. El de la figura, por ser P-N-P lleva polaridad positiva a masa. La relación de espiras del transformador formado por los dos bobinados debe cumplir con dos condiciones: la primera es que la inductancia L del bobinado primario debe tener un valor adecuado a la cifra de frecuencia que se desea obtener para la señal; la segunda es más complicada, pues el bobinado secundario debe tener la cantidad de espiras necesarias para asegurar la realimentación del oscilador y, al mismo tiempo, presentar sobre la base del transistor la impedancia adecuada a su máximo rendimiento. Como no es posible siempre cumplir con ambas condiciones, suele calcularse ese bobinado para que cumpla con las condiciones de realimentación, que es lo importante en un oscilador, y tratando de que la impedancia sobre base sea lo más próxima posible al valor óptimo.

Y ahora pasemos a un circuito oscilador en montaje Colpitts, o sea a realimentación por

medio de capacitores, tal como lo explicamos para la figura 106. El circuito completo aparece en la figura 113, y se empleó un montaje de transistor como amplificador con base a masa. Ya sabemos que la capacidad total C , que interviene en el cálculo de la frecuencia, es la combinación de los valores de los dos capacitores; esto ha sido explicado al referirnos a la figura 107.

Hay un detalle que es común a todos los osciladores de baja frecuencia que hemos tratado y es que en todos los casos los bobinados se hacen sobre núcleos de hierro. Ello se debe a que los valores de inductancia que se necesitan para frecuencias bajas son altos; en efecto, si volvemos a la figura 107, que no nos sirve para audiofrecuencia porque no llega a frecuencias tan bajas, veremos que en la parte inferior, ya para frecuencias del orden de las decenas de Kilociclos, las inductancias necesarias son del orden de los millares de microhenry, o sea que ya entramos en cifras que no son fácilmente alcanzables con bobinas sin núcleo. Claro que esta cuestión pertenece al tema de transformadores que será estudiado más adelante.

Circuitos osciladores de R.F.

Del mismo modo que se puede hacer un oscilador cuya señal tenga una frecuencia del orden de unos cuantos millares de ciclos por segundo (baja frecuencia) pueden disponerse los valores

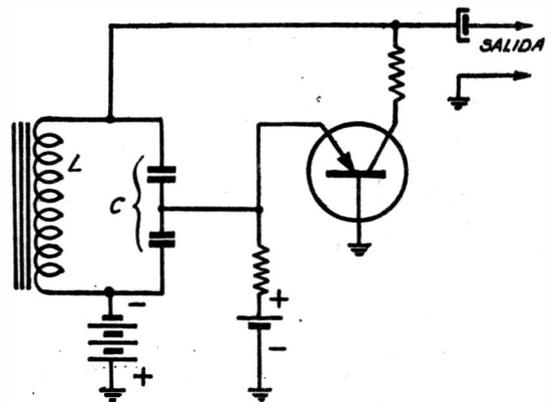


FIG. 113. — Circuito de un oscilador Colpitts de audio.

de L y C para que esa señal tenga una frecuencia del orden de los millones de ciclos (R.F.: radiofrecuencia). El funcionamiento de un oscilador de R.F. es completamente similar, en cuanto a su principio, a los anteriores: la

diferencia que podemos encontrar es que los elementos tienen distintos valores. Además, si queremos frecuencias altas, debemos cuidar, al elegir el transistor, que no supere su frecuencia de corte.

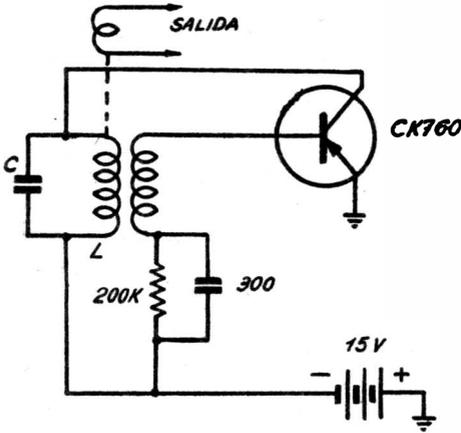


FIG. 114.— Circuito de un oscilador Meissner para R. F.

Por lo pronto, las bobinas no tienen núcleo de hierro, en el sentido que se refiere a los núcleos de chapas apiladas. A veces se emplean núcleos de cerámica magnética, que se hacen con polvo de hierro aglomerado, y otras veces se usan bobinas sin núcleo. Muchos lectores saben el motivo por el cual no se puede usar el núcleo de chapas de hierro en alta frecuencia, pero para los que no lo saben, diremos, en forma sintética, que en la masa metálica del núcleo se inducen corrientes de alta frecuencia, de la misma frecuencia de la señal que tenemos en los bobinados, y que esas corrientes representan una pérdida de energía; la teoría de los núcleos magnéticos nos dice que tales pérdidas crecen con el cuadrado de la frecuencia, es decir que a frecuencia doble son cuádruples, a frecuencia 100 veces mayor son 10.000 veces mayores, etc. Luego, es fácil entender que a frecuencias altas las pérdidas serían tan grandes que se gana rendimiento quitando el núcleo. La técnica de los núcleos pulverizados ha progresado tanto, que se usan con ventaja los mismos, con ganancia sobre el factor de pérdidas.

Pasemos a los circuitos de osciladores de R.F. La figura 114 nos muestra un montaje Meissner, con el circuito resonante en colector, como es de práctica con transistores. La realimentación se conecta a la base, en el transistor montado con emisor a masa. Se han puesto cifras para el transistor CK760, tipo P-N-P. La salida se toma

con un tercer bobinado, cosa muy utilizada en osciladores de R.F. a transistor, para tener mejores soluciones en la adaptación de impedancias.

Los tres bobinados de la figura 114, que son el de oscilación, el de realimentación y el de salida, están acoplados entre sí por vía inductiva. Cuando en un circuito dos bobinados acoplados quedan dibujados uno algo lejos del otro, suele indicarse el acoplamiento con una línea de puntos, tal como se la ha marcado en dicha figura.

Multivibrador a transistores

De acuerdo con el esquema básico de la figura 111 pueden diseñarse circuitos multivibradores con transistores, bastando para ello aplicar a la entrada de una etapa amplificadora la salida de una segunda etapa similar. También puede lograrse el mismo resultado si se introduce un elemento común a las dos etapas, por ejemplo una resistencia que pertenezca a los dos emisores de los transistores. Este caso es interesante, y en la figura 115 lo mostramos en un circuito práctico.

Los dos transistores son del tipo N-P-N y están conectados en montaje amplificador de emisor a masa, pero los emisores tienen una resistencia común de polarización que no lleva el clásico capacitor de paso derivado. De esta manera, la señal que se hace presente en un

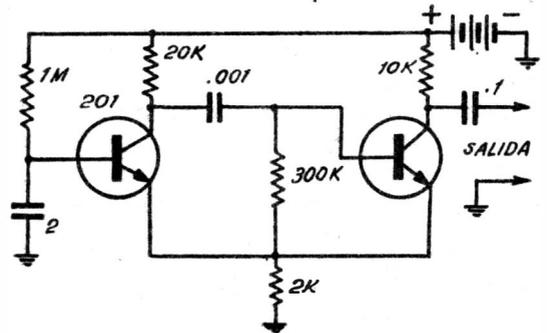


FIG. 115.— Circuito de un multivibrador a transistores.

emisor queda automáticamente aplicada al otro. Por consiguiente, el circuito aparenta ser un amplificador de dos etapas de emisor a masa, pero a los efectos de la realimentación, funciona, por lo menos con respecto a la primera etapa, con base a masa. El diseño pertenece a la Texas Instrument Inc., que es la fabricante de los transistores tipo 201 que se emplean.

Día 6

Al estudiar las dos clases de corriente eléctrica no destacamos mucho las ventajas que podía tener una con respecto a la otra, la alternada con respecto a la continua, pero bastaría decir ahora que con la segunda pueden usarse transformadores y con la primera no, para comprender que esta sola razón hubiera bastado para descartar la continua y usar la alternada. Los transformadores permiten modificar fácilmente las características de utilización de la electricidad, reduciendo o elevando la tensión hasta las cifras que se necesitan en cada aplicación.

Se comprende de inmediato la importancia del tema de la presente jornada y las enormes posibilidades que estos dispositivos abren en el campo de la electrónica: ¿que un aparato eléctrico para soldar necesita 45 Volt y en la línea hay 220 Volt? Bueno, eso se resuelve con un transformador; ¿que una válvula electrónica para un aparato destinado a soldar materiales plásticos requiere 6,3 Volt en su filamento? Colocamos un transformador que nos rebaje la tensión de la línea hasta esa cifra, y asunto resuelto. En fin, hay una cantidad innumerable de casos que se presentan en las aplicaciones industriales de la electrónica que se solucionan mediante transformadores. Entonces, dediquemos una jornada a estudiarlos y hasta a aprender a calcularlos.

TRANSFORMADORES

Pocas aplicaciones de los fenómenos electromagnéticos son tan interesantes como el transformador, dispositivo que se usa para radio, televisión, campanillas, teléfonos y muchas otras cosas más. Y para estudiar cómo funciona no tenemos más que ver lo que pasa en la figura 116. Tenemos allí dos bobinas, muy cerca una de otra, una de las cuales (la bobina 1) la conectamos a una toma de tensión alternada a efecto de que esa bobina esté recorrida por corriente alternada. La otra bobina (la 2) la dejamos por el momento sin conectar, de manera que sus dos extremos o bornes quedan libres.

La bobina 1 recorrida por corriente eléctrica forma un campo magnético que pasa por dentro de ella y de la bobina 2, por estar cerca una de la otra. Ese campo magnético sigue todas las variaciones de la corriente que lo produce, es decir que si la corriente aumenta, él aumenta, si la corriente cambia de sentido el campo invierte sus polos y si la corriente desaparece aunque sea por un instante, el campo también desaparece.

Podemos decir, para resumir, que el campo

magnético producido por una corriente alternada es también alternado. Como la corriente desaparece o se anula dos veces por ciclo, justo en los instantes en que cambia de sentido de circulación, el campo magnético sufrirá los mismos efectos. Pero al desaparecer y aparecer de nuevo las líneas de fuerza magnéticas barren a las espiras de la bobina 2, y ya sabemos que

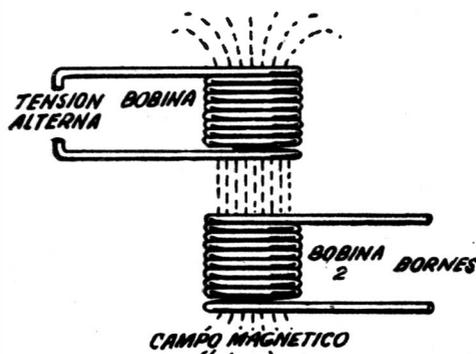


FIG. 116. — Principio del transformador eléctrico.

cuando un conductor barre a un campo magnético o el campo barre al conductor, que es lo mismo, aparece en el conductor una tensión eléctrica por inducción.

No hace falta mover la bobina para que aparezca la tensión inducida, porque al desplazarse

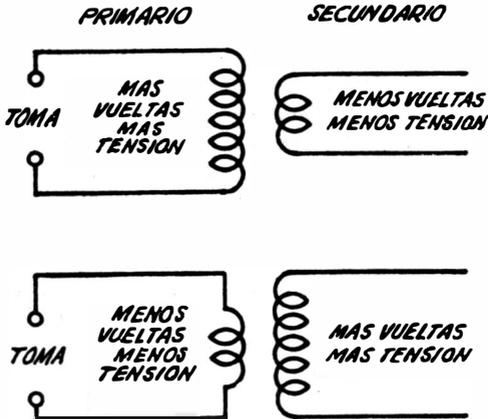


Fig. 117. — A mayor cantidad de espiras corresponde mayor tensión y viceversa.

las líneas magnéticas, van barriendo a la bobina igual que si ésta se moviera. Entre los bornes libres de la bobina 2 podemos comprobar, entonces, una tensión eléctrica con la que podemos alimentar un circuito de consumo.

Esta tensión inducida, originada porque la corriente que recorre la bobina 1 es alternada, seguirá las variaciones de esa corriente, o sea será también alternada. Luego, aplicando una tensión alternada a la bobina 1, obtenemos otra tensión alternada en la bobina 2, y tenemos que enfrentar la pregunta: ¿para qué necesitamos las bobinas si volvemos a tener lo que ya estaba a nuestra disposición en la toma conectada a la línea?

Para contestar esta pregunta diremos que no se hace un *transformador*, que así se llama el dispositivo o conjunto de la figura 116, para tener la misma tensión en la bobina 2 que la que aplicamos a la bobina 1. Lo usaremos para obtener una tensión más grande o más chica que la que tenemos en la línea eléctrica de corriente alternada.

Y eso es fácil de entender. Si los bobinados 1 y 2 tienen la misma cantidad de vueltas o espiras, la tensión obtenida en la bobina 2 es igual a la aplicada en la bobina 1, pero si damos a la bobina 2 distinta cantidad de espiras que la 1, obtendremos distinta tensión inducida en la bobina 2.

Esto que acabamos de decir está representado en la figura 117 por medio de símbolos. Las bobinas se dibujan en la forma que allí se ve, y a la 1 se la llama primario, la que se conecta a la toma de la línea. La 2 se llama secundario, y a ella se conecta el circuito de consumo. En la misma figura dice *más vueltas* al que corresponde *mayor tensión* y *menos vueltas* al que corresponde *menor tensión*. Hay proporcionalidad directa entre la cantidad de espiras y la tensión, esto es que si en el primario tenemos 400 espiras y aplicamos 220 Volt y el secundario tiene 800 espiras obtendremos 440 Volt, doble de 220, por ser 800 el doble de 400.

El transformador práctico

En la práctica, el transformador de la figura 116 es de bajo rendimiento, porque no hay allí un campo magnético intenso. Sabemos que para aumentar los efectos magnéticos debe usarse hierro dentro de las bobinas y es lo que se hace en los transformadores.

La figura 118 vuelve a representar nuestro transformador con sus dos bobinas. Dentro de ellas hay una barra de hierro que es el núcleo. El primario se conecta a la línea de corriente alternada y el secundario puede alimentar un circuito. Si conectamos allí un aparato indicador

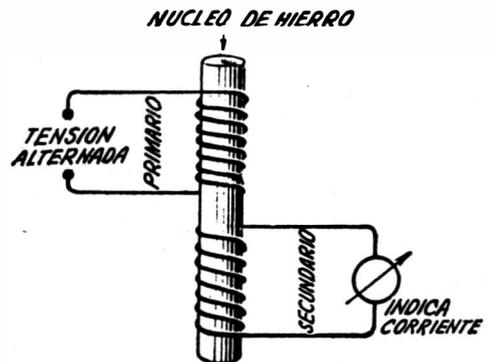


Fig. 118. — El transformador con núcleo de hierro.

de corriente eléctrica, acusará una corriente que circula por el circuito cerrado que hemos formado.

Sabemos que la cantidad de espiras del secundario es diferente a la del primario, y daremos la cantidad necesaria de vueltas según la tensión que necesitamos usar. Por ejemplo, un transformador para campanillas tiene primario para 220 Volt y secundario para 8 Volt;

las campanillas comunes funcionan con esa tensión.

La figura 119 representa un transformador en forma simbólica, tal como se dibuja en los circuitos eléctricos. El núcleo se dibuja con unas rayas paralelas colocadas entre los dos bobina-

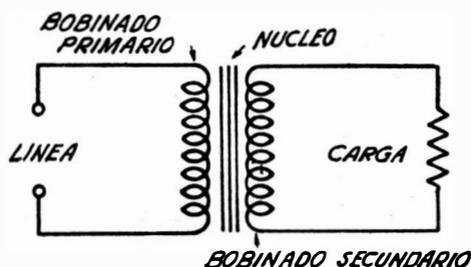


FIG. 119. — Representación en esquema del transformador.

dos. El aparato que conectamos como *consumo* o *carga* se dibuja como una resistencia, también en forma simbólica.

El núcleo no tiene, en realidad, la forma de una barra, sino que para concentrar bien el campo magnético se le da la forma que se ve en la figura 120. Es un bloque con dos ventanas que permiten pasar el alambre para hacer el bobinado. En seguida veremos que ese bloque no es macizo sino una pila de chapas delgadas. En la figura aparece un solo bobinado, pero encima de éste se coloca el otro. El alambre para los dos bobinados debe ser aislado, porque las espiras se tocan entre sí.

Pérdidas en el núcleo de hierro

Hemos dicho que el flujo magnético en el núcleo era alternado, y por tal motivo, al barrer las líneas de fuerza al núcleo de hierro, se inducen en la masa metálica del mismo tensiones de autoinducción que dan motivo a corrientes de circulación. Tales corrientes se denominan corrientes parásitas y se transforman totalmente en efecto térmico calentando al núcleo y originando una pérdida de energía.

Para reducir el efecto de las corrientes parásitas, hay que disminuir la intensidad de la misma, y el único camino es aumentar la resistencia a su circulación. Esto se consigue construyendo el núcleo con delgadas chapas aisladas entre sí, en lugar de hacerlo macizo. Para aislarlas se interponen hojas de papel de seda, o se las cubre con una capa de esmalte o se oxida su superficie mediante la acción prolongada del

vapor de agua. Se consigue una reducción apreciable de las pérdidas utilizando chapas de hierro de 0,3 mm de espesor.

Además del efecto mencionado, hay otra causa que produce pérdidas de energía, y es la histéresis. Se trata de la inercia que presenta el hierro a las variaciones magnéticas, ocurriendo que cuando la corriente magnetizante se anula el campo magnético no lo hace totalmente, y cuando se invierte el sentido de la corriente no ocurre simultáneamente la inversión del sentido del campo magnético. Todo ello se traduce en una pérdida de energía que se manifiesta como un calentamiento del núcleo.

Para reducir las pérdidas por histéresis se agregan al hierro sustancias que modifican su inercia magnética. La más común es el silicio, y a título informativo puede decirse que con 4 % de silicio agregado al acero dulce, las pérdidas por histéresis se reducen a la décima parte.

En la práctica interesa conocer las pérdidas totales en el núcleo de hierro, debidas a las corrientes parásitas y a la histéresis. En la técnica

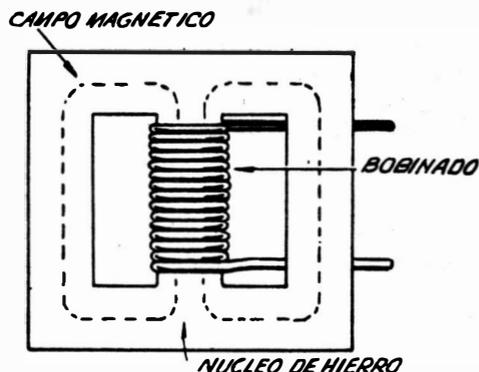


FIG. 120. — Forma de colocar el bobinado en el núcleo.

se suelen dar esas pérdidas en Watt por Kilo-gramo de núcleo, de acuerdo con el espesor de las chapas y la densidad de imanación.

Formas del núcleo de hierro

A efecto de aprovechar el campo magnético del exterior del bobinado, el núcleo de hierro se hace cerrado, para encauzar a las líneas de fuerza exteriores. Hay dos tipos comunes de núcleos de hierro: el anillo y el acorazado.

En la figura 121 se ilustra el modelo anillo, cuyas chapas se hacen cortadas para poder colocar el bobinado alrededor de uno de los lados del anillo.

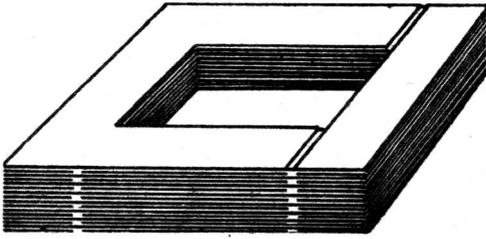


FIG. 121. — Núcleo en anillo para transformadores.

La colocación de los trozos de las chapas se hace alternando las capas de las chapas en trozos de forma de C e I, tal como se ve en la figura. La colocación alternada permite asegurar la sujeción, que se completa mediante prensas exteriores o pasando un tornillo en cada esquina.

El otro tipo de núcleo acorazado se muestra en la figura 122. Está formado por trozos en E e I que se colocan alternados en la forma explicada anteriormente. El bobinado va en la rama central de la parte en E.

La figura 123 nos muestra un transformador completo con su cable para conectarlo a la línea eléctrica (en el primario) y una lamparita que se conecta como carga (en el secundario). La envoltura metálica no deja ver los bobinados. Este transformador es para 220 Volt en el primario y da 6 Volt en el secundario. Esto en la práctica suele escribirse en forma abreviada así: 220/6 V.

Capacidad del transformador

Sabemos que el circuito secundario entrega una cierta tensión eléctrica alternada, que es distinta a la que hay en la línea. Pero no sabemos todavía cuánto consumo de corriente podemos hacer en ese bobinado. De acuerdo con

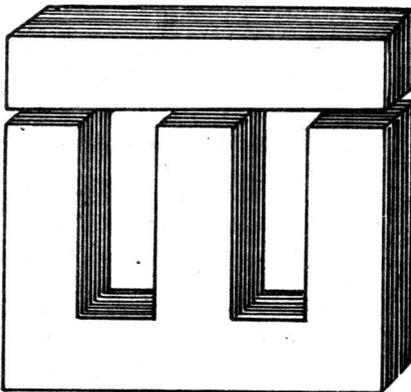


FIG. 122. — Núcleo acorazado para transformadores.

el tamaño del núcleo y con el grosor del alambre usado para el bobinado secundario hay que especificar cuál es la corriente máxima que podemos extraer. Por ejemplo, el transformador de la figura 123 da 6 Volt como tensión y 10 Amper como corriente máxima, ambos datos para el secundario.

Otras veces se da la potencia eléctrica máxima, que sabemos es igual al producto de la tensión por la intensidad. En el caso anterior esa potencia vale:

$$6 \times 10 = 60 \text{ Watt}$$

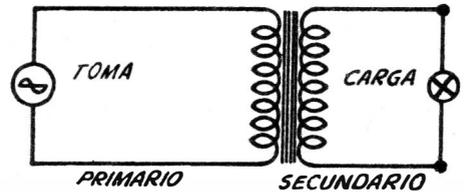
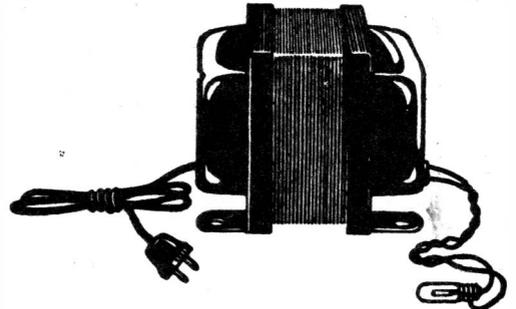


FIG. 123. — Un transformador completo con su esquema abajo.

También tenemos casos de transformadores que tienen varios bobinados secundarios en vez de uno solo. Cada bobinado tiene especificada la tensión que da y la máxima corriente que podemos consumir de él. Por ejemplo, la figura 124 nos muestra un transformador con tres secundarios. Veamos cómo se simplifican los datos.

El primer secundario de arriba es para 6 Volt a 10 Amper, lo que se abrevia 6 V, 10 A. El segundo secundario es para 300 Volt y para una corriente máxima menor que un Amper, exactamente 80 milésimas de Amper. Para escribir milésimas de Amper decimos *miliamper* y escribimos mA. El tercer secundario es para 5 Volt a 2 Amper.

Autotransformadores

Dentro de la categoría de transformadores, hay unos dispositivos que funcionan bajo el

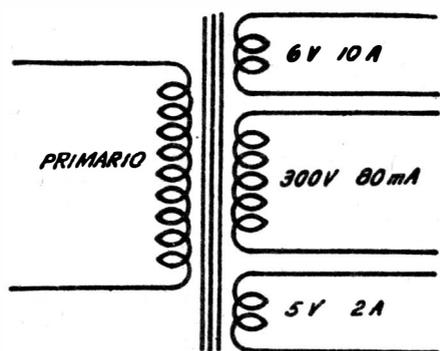


FIG. 124. — Transformador con varios secundarios.

mismo principio, pero que tienen un solo bobinado. Así como los transformadores pueden dar en el secundario mayor o menor tensión que la que aplicamos al primario, así los autotransformadores dan menor tensión (*reductores*) o mayor tensión (*elevadores*) que la de la línea a la que conectamos el bobinado.

Veamos el primer caso que aparece en forma esquemática en la figura 125. Hay un bobinado entero que se conecta a la línea de corriente alternada de 220 Volt. Ese bobinado tiene una conexión hecha a la mitad de su total de espiras, que es uno de los cables del secundario, y el otro cable es el de abajo que coincide en conexión con el cable inferior del primario.

Tenemos, entonces, que se usa como secundario la mitad del bobinado primario, y sacaremos así la mitad de tensión, o sea 110 Volt. ¿Para qué sirve esa tensión de 110 Volt? Todo aquel que haya comprado algún artefacto importado de los Estados Unidos lo sabe, pues en ese país las líneas eléctricas son de 110 Volt, y los aparatos deben conectarse a 110 Volt. Como en nuestro país tenemos 220 Volt debemos usar un autotransformador reductor como el de la figura 125. No habría inconveniente en usar un transformador, pero resulta más caro, por tener

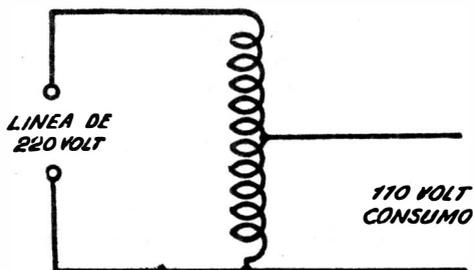


FIG. 125. — Autotransformador reductor de tensión.

bobinados; de modo que suelen construirse autotransformadores para heladeras, lavarropas, televisores, etc. de procedencia norteamericana.

CALCULO DE TRANSFORMADORES

Suponiendo conocido el principio de funcionamiento del transformador, sea como elevador o como reductor de tensión, nos encontramos con sus detalles constructivos y por ende la necesidad de calcularlo, si no deseamos adquirirlos siempre ya hechos. Nos ocuparemos de los transformadores para fuentes de alimentación, por ser los que están más difundidos.

El transformador tiene un núcleo y dos o más bobinados, cuyos datos se dan en la figura 126. En el bobinado tenemos un primario, que es el que se conectará a la red donde hay una tensión E_1 , teniendo ese bobinado una cantidad

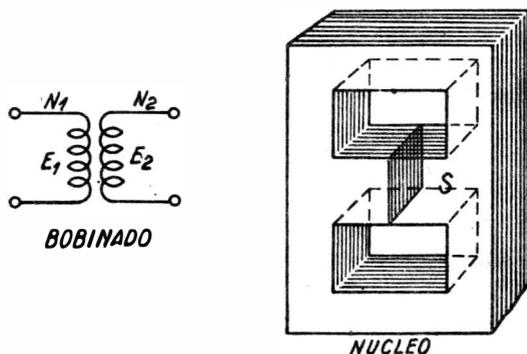


FIG. 126. — Datos típicos de un transformador.

N_1 de espiras. Cada secundario tiene una cantidad de espiras N_2 y tendremos en él una tensión E_2 . No importa que haya varios secundarios, pues al calcular cada uno de ellos tomaremos siempre su correspondiente tensión y número de espiras. Además hay que considerar las corrientes que son I_1 en el primario e I_2 en el secundario.

La primera relación fundamental nos dice que entre las tensiones y los números de espiras hay proporcionalidad, y que entre las corrientes y los números de espiras hay proporcionalidad inversa. Es decir que a doble cantidad de espiras hay doble tensión y mitad de corriente.

Potencia del transformador

Lo primero que debe tenerse en cuenta para calcular un transformador es la potencia del

primario, pues a ella está ligada la sección neta transversal del núcleo, indicada en la figura 126. La potencia eléctrica se toma siempre en Watt y la sección en centímetros cuadrados. Para calcular la potencia total hay que sumar la absorbida en todos los secundarios, multiplicando en cada uno la tensión por la corriente (esta última siempre en Amper). Por ejemplo, si tenemos un transformador con tres secundarios, uno de 700 V a 80 mA; uno de 5 V a 2 A, y uno de 6,3 V a 4 A, la potencia total será:

$$\begin{array}{r} 700 \times 0,080 = 56 \text{ W} \\ 5 \times 2 = 10 \text{ W} \\ 6,3 \times 4 = 25,2 \text{ W} \\ \hline \end{array}$$

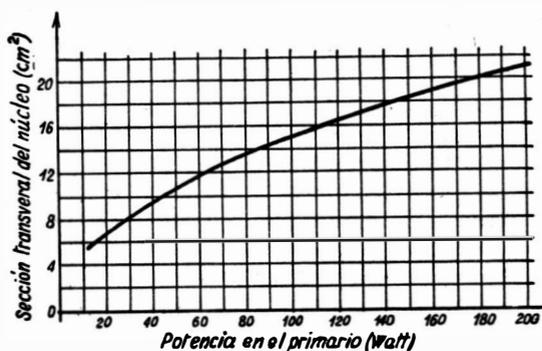
Total: 91,2 W

A la cifra de potencia total de los secundarios hay que agregarle las pérdidas en el transformador, que en los modelos chicos es de un 20 %, y luego redondear los resultados, para seguir los cálculos. Si en el ejemplo anterior tomamos el 20 % de 91,2 nos da 18,24 W que sumados a los 91,2 tenemos 109,44, es decir, 110 Watt en cifras redondas. Con la cifra de potencia podemos de inmediato obtener la sección del núcleo.

Sección transversal de núcleo

Para obtener esa sección, lo más práctico es usar gráficos, como los de las figuras 127 y 128. Uno es para transformadores pequeños, de menos de 200 Watt y el otro para transformadores desde 200 hasta 1.000 Watt. Se entra con la potencia en el eje horizontal y se lee la sección del núcleo en el eje vertical.

Por ejemplo, para el transformador que está-



TRANSFORMADORES PEQUEÑOS - INDUCCION: 7500 GAUSS

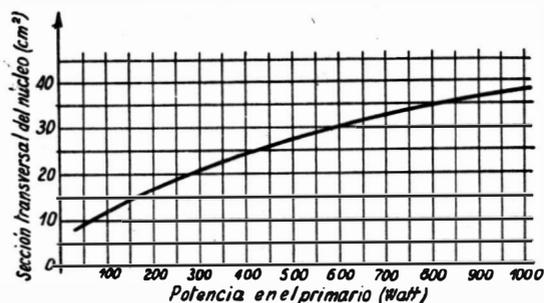
FIG. 127. — Sección transversal del núcleo para transformadores chicos.

bamos calculando, teníamos 110 Watt, de modo que usamos la curva de la figura 127. Entramos por el eje horizontal con el número 110 y vamos hasta la curva, leyendo en el eje vertical casi 16 centímetros cuadrados, que es la cifra que adoptamos, por que no se toman decimales exactos para esta clase de cálculos.

Número de espiras del primario

Una vez que tenemos la sección del núcleo, podemos determinar inmediatamente la cantidad de espiras del primario, con ayuda de los gráficos de las figuras 129 y 130, para los transformadores chicos y medianos respectivamente. Se entra con la sección en el eje horizontal y se obtienen las espiras en el vertical.

En el ejemplo anterior, teníamos un transformador de menos de 200 Watt, de manera que tomamos la curva de la figura 129 y con la sección de 16 cm² entramos en el eje horizontal y sacamos 800 espiras más o menos para el



TRANSFORMADORES MEDIANOS - INDUCCION: 10.000 GAUSS

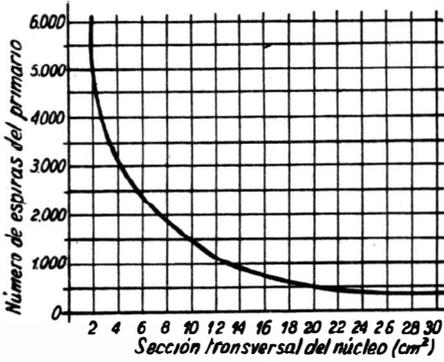
FIG. 128. — Sección transversal del núcleo para transformadores medianos.

primario. No debe preocupar que la cifra sea aproximada porque el método también lo es y el transformador funcionará perfectamente.

Si se tratara de un transformador un poco más grande, se utilizaría el gráfico de la figura 130 en lugar del de la figura 129, tal como es fácil apreciar observando ambas. Atento al carácter aproximado de los cálculos de transformadores, los gráficos se han hecho sobre cuadrículado común en lugar de milimetrado, por ser suficiente la aproximación obtenida en ellos; por eso, las lecturas deben hacerse sin mucha precisión.

Número de espiras de cada secundario

Una vez que tenemos el primario calculamos las espiras de cada secundario con ayuda de



TRANSFORMADORES PEQUEÑOS - INDUCCIÓN: 7.500 GAUSS

FIG. 129. — Número de espiras del primario para transformadores chicos.

unas simples fórmulas que son:

$$N_2 = \frac{E_2 \times N_1}{E_1}$$

Es decir, se multiplica la tensión de ese secundario por el número de espiras del primario y se divide por la tensión primaria. Esta operación se hace para cada bobinado secundario. Por ejemplo, en el transformador que veníamos calculando, el secundario de A.T. debe tener un número de espiras que resulta de multiplicar 700 por 800 y dividido por 220, o sea unas 2545 espiras. Así se calculan los otros bobinados.

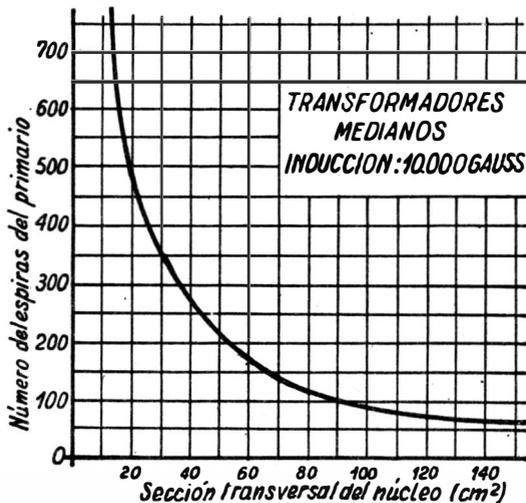


FIG. 130. — Número de espiras del primario para transformadores medianos.

Alambres a emplear en los bobinados

Para determinar la sección de los alambres hay que conocer la corriente en Amper. De todos los secundarios la conocemos, y del primario conocemos la potencia y la tensión. Dividiendo la primera por la segunda nos resulta la corriente. En el ejemplo que traíamos, la potencia total en el primario, con pérdidas y todo era de 110 Watt y la tensión era de 220 V. Luego la corriente se obtiene dividiendo 110 por 220 o sea 0,5 Amper.

Una vez conocidas todas las corrientes vamos a la tabla adjunta que nos da los diámetros y secciones de los alambres esmaltados con que haremos los bobinados.

DIAMETROS Y SECCIONES DE LOS ALAMBRES

Corriente Amper	Diámetro mm.	Sección mm ²
0,015	0,10	0,0078
0,020	0,11	0,0095
0,025	0,12	0,0113
0,035	0,15	0,0176
0,050	0,18	0,0254
0,065	0,20	0,0314
0,075	0,22	0,038
0,100	0,25	0,050
0,130	0,28	0,062
0,150	0,30	0,070
0,190	0,35	0,096
0,250	0,40	0,126
0,320	0,45	0,160
0,400	0,50	0,196
0,450	0,55	0,238
0,550	0,60	0,283
0,650	0,65	0,332
0,750	0,70	0,385
0,850	0,75	0,442
1,000	0,80	0,503
1,130	0,85	0,567
1,270	0,90	0,636
1,600	1,00	0,785
2,250	1,20	1,13
3,500	1,50	1,77
5,000	1,80	2,54
6,500	2,00	3,14
10,000	2,50	4,91

Dimensiones del transformador

Para determinar las dimensiones del núcleo observemos la figura 131, de la cual sólo conocemos hasta ahora la sección transversal. El producto de las dimensiones $F \times D$ debe dar esa sección S . Se adoptan las siguientes proporciones:

$$\begin{aligned} F &= 1,5 D \\ C &= 0,5 D \\ A &= 1,5 B \end{aligned}$$

Esta última medida no la podemos dar todavía hasta saber el espacio que ocuparán los bobinados, de los cuales sabemos el número de espiras y el diámetro de los alambres. Como los bobinados se hacen en capas, cada capa necesita un espesor determinado y sumando los espesores de todas las capas tenemos la medida B

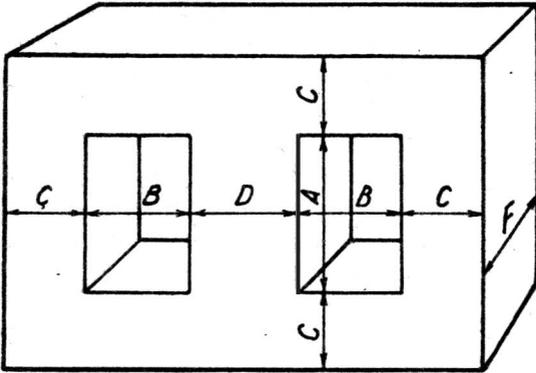


FIG. 131. — Dimensiones del núcleo del transformador.

y con ella la A . Hay una fórmula práctica para calcular el espesor de una capa de secundario (no una capa de espiras sino todo el bobinado), dado el diámetro del alambre en cm y el número de espiras, y es:

$$d \times \sqrt{N}$$

Es decir que se multiplica el diámetro del alambre en cm por la raíz cuadrada del número de espiras y eso es el espesor que ocupará el bobinado, en cm. En nuestro ejemplo, teníamos 2545 espiras, de un alambre para 80 mA, o sea 0,08 A. En la tabla corresponde un diámetro de 0,22 mm por ser el más aproximado, o sea 0,022 centímetro. Hacemos la raíz cuadrada de 2545 y nos da aproximadamente 50, que multiplicado por 0,022 resulta 1,1 cm. Así determinamos los espesores de los otros bobinados, inclusive el primario, y nos resulta el total B , con el cual calculamos también A . Hay que agregar 0,1 cm al espesor de cada bobinado para tener en cuenta la aislación que colocamos entre ellos, y 0,2 cm para las aislaciones extremas contra el núcleo. Si un bobinado no ocupa una capa completa, como ocurre con los filamentos, debe tomarse como espesor de la capa una cifra no menor que el diámetro del alambre, aunque del cálculo resulte un número menor. Así nos queda dimensionado todo el transformador.

Terminado el transformador hay que someterlo a un proceso de impregnación y secado que puede durar varios días. Se usan barnices o lacas en que se sumerge todo el bobinado antes de colocarle el núcleo, y luego de armado se coloca en estufas para el secado. Puede verificarse la aislación una vez seco, la que debe alcanzar varios Megohm entre los bobinados y el núcleo y entre bobinados. Como detalle interesante, la aislación experimenta variaciones durante el secado, pues el primer día es de, por ejemplo 10 Megohm, baja a 1 Megohm durante 3 días y luego sube a su cifra final de unos 20 Megohm.

Día 7

Con el estudio realizado en la jornada anterior hemos comprobado una de las interesantes aplicaciones de los fenómenos electromagnéticos, mediante la cual puede disponerse a voluntad de tensiones altas o bajas partiendo de cifras muy diferentes. Ahora continuaremos con ese principio electromagnético, pero referido a otros dispositivos tanto o más interesantes, que tienen una enorme difusión en el campo de la electrónica industrial. Nos ocuparemos de los electroimanes y todos sus derivados, ya sea los que se emplean para producir movimientos, como los que cierran o abren circuitos y también los encargados de cuidar que una magnitud eléctrica no altere su valor en mayor grado que lo permitido. La sola enumeración precedente nos habla bien claro de la variedad de electroimanes que se encontrarán en la técnica, y desde ya advertimos que sus denominaciones cambian según sus destinos y particularidades. En general podemos establecer dos grandes grupos que se denominan electroimanes y relevadores, pese a que los segundos son un caso particular de los primeros, pero destinados a otras funciones.

La introducción al tema, contenida en las frases que anteceden, seguramente ha despertado ya el interés del lector, por lo que conviene poner mandos a la obra y abordar la tarea de la presente jornada.

ELECTROIMANES Y RELEVADORES

Sería conveniente, antes de entrar en materia, repasar, aunque rápidamente, la parte del capítulo 2 referida a los fenómenos electromagnéticos, si el lector no la recuerda muy bien. Partimos de que sabemos ya que un electroimán es un bobinado recorrido por corriente eléctrica, por cuya razón forma un campo magnético; si dentro del bobinado hay un núcleo de hierro, ese campo magnético estará considerablemente reforzado. La figura 132 nos da la imagen más elemental y un poco burda de un electroimán, dispositivo que ha reemplazado en la mayoría de las aplicaciones a los imanes naturales y artificiales. Estos últimos, o sea los imanes comunes suministran campos magnéticos de densidad relativamente reducida, o cuando se los fabrica especialmente para tener campos de elevada intensidad, resultan costosos. Además, el campo magnético que suministran no es controlable puesto que dan una cierta cantidad de líneas de fuerza, y esa cantidad es fija, hasta que se va reduciendo por envejecimiento. Cuando se desea la posibilidad de graduar la intensidad del campo magnético, y también poderlo cortar

o anular en cualquier momento, se construyen electroimanes, es decir núcleos de hierro con bobinados por los que pasan corrientes eléctricas.

Si en un electroimán se quiere variar la densidad magnética, podemos hacer aumentar o disminuir la intensidad de la corriente eléctrica que pasa por el bobinado. Si queremos que en un momento dado deje de haber campo magnético, basta cortar la corriente, o sea, abrir el

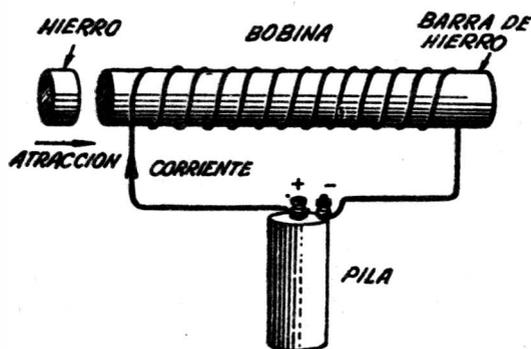


FIG. 132. — Forma de actuar de un electroimán.

circuito de la pila que vemos claramente en la figura 132.

Para su uso en la industria se construyen electroimanes de la forma que se ve en la figura

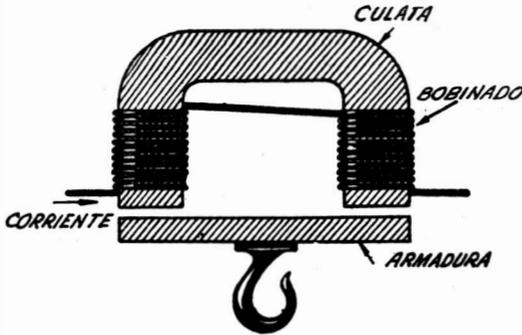


FIG. 133. — Un electroimán para levantar pesos.

133. Tienen tres partes netamente definidas: la culata, la armadura y el bobinado. La armadura es la parte móvil a la que se enganchan los objetos que se deben transportar, y la culata está asegurada a la grúa o guinche. Arrimando una pieza a la otra y cerrando el circuito de la corriente, quedan fuertemente adheridas y el peso enganchado puede transportarse.

Para el transporte y movimiento de caños o grandes piezas de hierro o acero, pueden simplificarse notablemente los electroimanes. Veamos al efecto la figura 134 que nos muestra uno de los modelos usados para transportar caños de hierro. Al apoyar la culata con su bobinado sobre el caño, sus extremos inferiores ahuecados en forma cilíndrica apoyan directamente sobre el caño, y éste hace de armadura, quedando fuertemente adherido cuando se hace pasar corriente por la bobina. La grúa no tiene más que enganchar en el ojal superior de la culata para llevar el caño a otra parte.

Se construyen, además de los dos modelos presentados, muchos otros para diversas aplica-

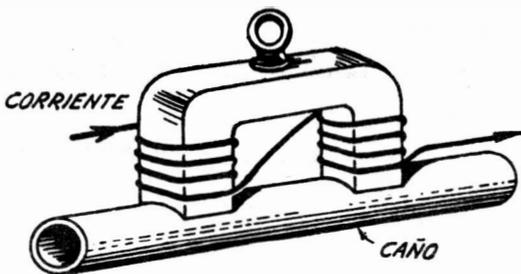


FIG. 134. — Un electroimán especial para levantar caños de hierro.

ciones. En los electroimanes se puede conseguir la densidad magnética más alta que permita el núcleo, y si esa cifra fuera insuficiente, se pone un núcleo más grande, todo de acuerdo con los pesos a levantar. Se puede invertir la polaridad magnética con sólo invertir el sentido de la corriente eléctrica que recorre el bobinado, según lo sabemos, y se puede cortar el funcionamiento del electroimán con sólo cortar la corriente que lo alimenta mediante una llave o interruptor.

Tan interesantes dispositivos se emplean también para otros usos que el de levantar pesos. De entre esos otros usos describiremos el funcionamiento de uno de los más conocidos, tanto para conocer una aplicación de los electroimanes como para aprender su funcionamiento.

Campanilla eléctrica

Una de las más interesantes aplicaciones de los electroimanes la tenemos en la campanilla eléctrica, utilizada para llamar la atención a

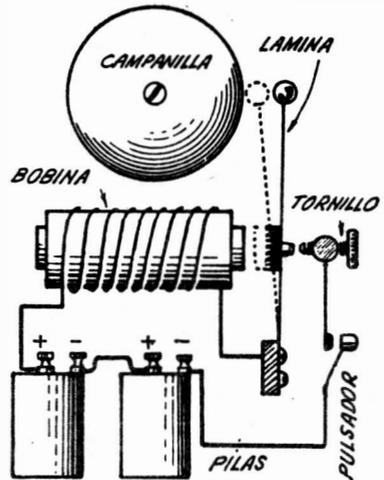


FIG. 135. — Una campanilla eléctrica.

los moradores de una casa o para avisar al personal auxiliar del hogar o de la oficina. También se emplean campanillas en instalaciones de alarma de incendios, teléfonos, etc.

Para estudiar el modo de funcionar, veamos de qué se compone, según lo ilustra en forma esquemática la figura 135. En el centro tenemos un electroimán con su bobina, la cual está alimentada con dos pilas en serie, pero el circuito no está cerrado directamente, sino que, si observamos la figura, pasa por una serie de piezas cuya misión explicaremos de inmediato.

La armadura del electroimán es un trozo de hierro, pero que está sujeto a una lámina elástica, digamos un trozo recto de cuerda de reloj, que está fijo en su extremo inferior y que tiene una bolita metálica en el extremo superior. Al lado de esta bolita hay una campana, o sea una especie de cápsula metálica invertida. Si la bolita pega en la campana se produce un sonido (diríamos un "rin"). En el centro de la lámina tenemos el trozo de hierro que es la armadura del electroimán, y en el mismo lugar, pero en la cara opuesta, tenemos un saliente que está apoyado en un tornillo.

Sigamos el circuito eléctrico, o sea el que lleva la corriente eléctrica de las pilas. Del polo positivo de la pila izquierda vamos a la bobina del electroimán, de allí al soporte de la lámina elástica; de ella pasamos por el contacto de apoyo al tornillo y de aquí pasamos a un botón pulsador y volvemos a la pila. Quiere decir que para que el electroimán funcione todo el circuito tiene que estar cerrado, y eso ocurre cuando oprimimos el botón pulsador.

En el momento que funciona el electroimán, atrae a la armadura, o sea que la lámina se tuerce hacia la izquierda y la bolita pega en la campana. Pero al mismo tiempo se corta el circuito eléctrico en el contacto con el tornillo. Con ello, el electroimán deja de funcionar y la armadura queda libre. Como la lámina es elástica vuelve sola hacia la derecha, pero al hacerlo cierra nuevamente el circuito en el tornillo, y entonces vuelve a funcionar el electroimán si mantenemos apretado el botón pulsador. Nuevo golpe sobre la campana, nueva interrupción del circuito, nueva vuelta atrás de la lámina y así siguiendo. El sonido producido en la campana es un repiqueteo que todos conocemos. Al soltar el botón deja de sonar, quedando la lámina apoyada en el tornillo, que es la posición de reposo.

La pieza que sirve de apoyo al contacto que establece la lámina es un tornillo y no un tope, para poder regular su posición y buscar la que produce el sonido más continuo y estridente. En efecto, girando el tornillo se varía la distancia que recorre la lámina en su movimiento de izquierda a derecha y viceversa, y con ello se encuentra que hay una posición que da el funcionamiento óptimo. Encontrada la misma, se fija el tornillo para que no se mueva solo, con una tuerca que tiene para ese fin.

El pulsador que mencionamos no viene con la campanilla, sino que se coloca alejado de ella, precisamente en el lugar desde donde se desea llamar. Los dos cables que entran y salen al pul-

sador deben llevarse hasta donde él se encuentre. Las pilas, en cambio, se colocan directamente al lado de la campanilla. Debemos aclarar que hoy día no se emplean siempre pilas para alimentar las campanillas, sino que se usan generalmente transformadores.

Electroimanes de corriente alternada

Supongamos que tomamos un electroimán, tal como lo conocemos, y en lugar de conectarle una pila, según la figura 132, le aplicamos a la bobina una tensión alternada, como lo muestra la figura 136. El núcleo de hierro, según sabemos es una barra que se coloca dentro de la bobina. Frente al electroimán hay un disco de

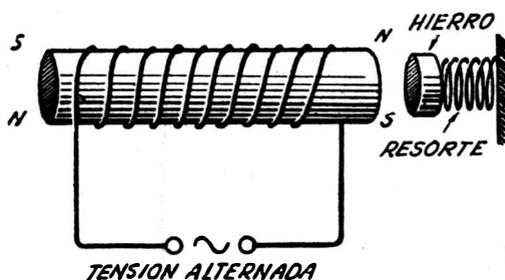


FIG. 136. — Un electroimán para corriente alternada.

hierro sujetado a una pared por un resorte. Este dispositivo lo hemos colocado para comprender la explicación que sigue.

Cuando hablamos de imanes, dijimos que una barra de hierro imanada atraía pequeñas limaduras de ese metal.

Obsérvese que no se hizo distinción entre el polo Norte y el polo Sud del imán, pues ambos polos atraían las limaduras. Esto quiere decir que el trozo de hierro que acercamos al electroimán de la figura 132 *será atraído por cualquiera de los extremos del mismo*. Es decir que tanto el Norte como el Sud del electroimán atraen al hierro.

Si cortamos la corriente que recorre la bobina del electroimán, cesa el campo magnético y con ello la fuerza de atracción, con lo que la pieza de hierro suelta de la figura 132 caerá por no ser más atraída.

Volvamos ahora a la figura 136, pero observando un poco la figura 137. Una tensión alternada dará origen a una corriente alternada que recorre la bobina. Y una corriente alternada se caracteriza porque cambia constantemente de polaridad. En cada ciclo de la tensión alternada tendremos que la corriente re-

corre la bobina, medio ciclo en un sentido y medio ciclo en sentido contrario. Esto es bien conocido por nosotros, por haberlo estudiado en el segundo día.

Pero debemos advertir que en el instante en que se produce el cambio de polaridad, la corriente se anula, vale cero, es decir que en ese

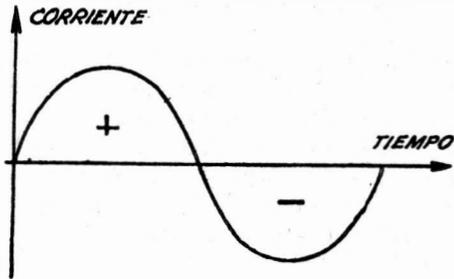


FIG. 137. — Gráfico de la corriente alternada.

instante se anula también el campo magnético del electroimán. Durante el medio ciclo positivo, el electroimán tiene su polo Norte a la derecha y durante el otro medio ciclo es el polo Sud el que aparece a la derecha.

Ahora bien, cualquiera que sea el polo de la derecha, la chapa de hierro es atraída, venciendo el resorte, pero en el momento en que se produce la inversión de polaridad de la corriente y ésta se anula, cesa también el campo magnético y el resorte se lleva para atrás la chapa de hierro móvil. Luego vuelve a ser atraída y así sigue el proceso.

Resumiendo, la atracción sobre núcleos de hierro que producen los electroimanes alimentados por corriente alternada no es uniforme, sino que se corta dos veces por cada ciclo de la corriente, cosa que hay que tener en cuenta cuando se diseñan estos electroimanes, para darles mucha inercia y evitar la intermitencia en la fuerza de atracción.

Zumbadores o chicharras

El inconveniente recién señalado en los electroimanes alimentados por corriente alternada puede ser una ventaja al hacer campanillas para esa clase de corriente. Veamos qué es lo que ocurre. Las campanillas descritas para corriente continua, alimentadas con pilas, pueden funcionar en corriente alternada con transformador, pero para este caso se construyen modelos más sencillos, que suprimen el contacto intermitente ilustrado en la figura 135. Tales dispositivos se denominan *chicharras* o *zumba-*

dores y su funcionamiento se basa en lo siguiente:

La figura 138 muestra la disposición de los elementos de uno de los modelos actuales, que está provisto de campana para sonido fuerte. Tiene, al igual que los modelos comunes de campanilla, un electroimán, cuyo bobinado se conecta al secundario de un transformador. La armadura del electroimán está sujeta a una lámina elástica, fija por un extremo a un soporte y provista en el otro del martillo.

Al pasar corriente alternada por la bobina del electroimán, se produce un campo magnético, también alternado, de modo que habrá durante un ciclo instantes de atracción máxima e instantes de atracción nula. La armadura se moverá rápidamente, acercándose (por fuerza electromagnética) y alejándose (por la elasticidad de la lámina) de la bobina, con lo que se producirá un repiqueteo del martillo sobre la campana, con un sonido aparentemente continuo. La cantidad de vibraciones por segundo es mucho mayor que en las campanillas del tipo común, pues en este caso, es precisamente el doble que el número de periodos de la corriente al-

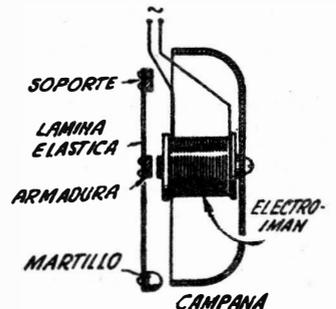


FIG. 138. — Un zumbador para corriente alternada.

ternada, es decir, que siendo ésta de 50 ciclos por segundo, se producirán 100 vibraciones de la lámina en el mismo tiempo.

Hay tipos de *zumbadores* que suprimen la campana y dejan que el único sonido sea el producido por la vibración de la armadura del electroimán, de aquí el nombre con que se le ha designado; el sonido es mucho más suave que con la campana, por lo que será apropiado para lugares donde no sea posible utilizar las campanillas comunes por su estridencia.

Electroimanes industriales

Para diversas aplicaciones de la industria se diseñan electroimanes de diferente aspecto y características. Asimismo, existen los que pueden

ser alimentados con corriente continua, pero como la corriente alternada está más difundida, se han diseñado electroimanes especiales para corriente alterna que funcionan correctamente.

Recordemos, con referencia a esta última afirmación, el fenómeno que describimos en la figura 136. La intermitencia o zumbido que se

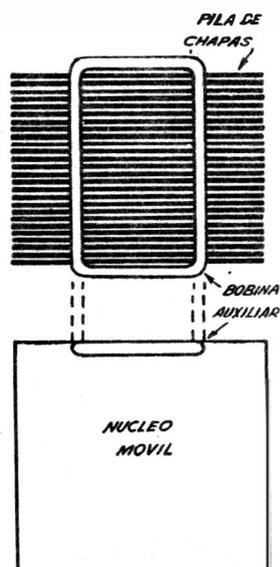


FIG. 139. — Bobina en cortocircuito para corregir el zumbido o temblor.

produce por las inversiones de corriente al pasar ésta por sus valores nulos puede ser conjurada eficazmente mediante una bobina o espira en cortocircuito que abarque parte del núcleo, y colocada en la forma que se muestra en la figura 139. Se trata de un aro cerrado, que tendrá forma rectangular y que abarca a una fracción del frente del núcleo. La remanencia magnetizante que produce ese aro o espira es suficiente para reducir considerablemente el zumbido o temblor.

En la misma figura 139 se observa que el núcleo no es macizo, sino que está formado por un paquete de chapas delgadas de hierro. Esto es común en todos los núcleos magnéticos cuyos bobinados son alimentados con corrientes alternadas, según lo hemos mencionado en el capítulo 2.

De modo que existen electroimanes que trabajan con corriente continua y otros que trabajan con corriente alternada. Esto nos da una primera clasificación y forma parte del primer detalle de las especificaciones a dar al fabricante para adquirir el que convenga a nuestras necesidades.

Otro detalle muy importante es la forma de actuar. Hay dos clases principales de electroima-

nes industriales, y son los de forma *herradura*, también llamados de *armadura móvil*, y los de *núcleo tragante*. La figura 140 nos muestra en forma sintética el tipo de armadura móvil y sus partes constituyentes. El bobinado se divide en dos partes iguales, que se colocan en los dos núcleos, conectando ambas mitades en serie entre sí, cuidando que el sentido de la corriente produzca campos magnéticos ascendente en una rama y descendente en la otra, para formar circuito magnético cerrado. Para comprobar esto, si se arrima una brújula al extremo inferior de cada núcleo, y se hace pasar corriente por las bobinas, en uno de ellos el norte de la misma debe desviar en un sentido y en el otro en sentido contrario.

Los electroimanes de armadura móvil pueden destinarse a muchas aplicaciones, y en cada caso la armadura tendrá adosado un dispositivo adecuado, como ser un gancho, una argolla para un cable, una palanca o barra de tracción, etc. Las aplicaciones mostradas en las figuras 133 y 134 son dos casos particulares de los muchos que hay. Generalmente, este tipo de electroimanes se destinan a trabajos rudos, al movimiento de masas metálicas grandes y fines de ese tipo.

Para aplicaciones que pueden considerarse de mayor precisión o trabajos más delicados, suelen usarse los electroimanes de núcleo tragante, cuyas partes constitutivas pueden apreciarse en la figura 141. El circuito magnético es cerrado,

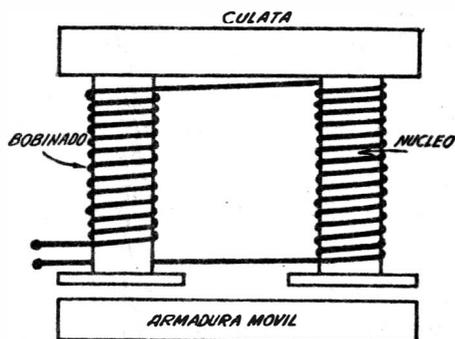


FIG. 140. — Partes que constituyen un electroimán tipo herradura.

salvo en el espacio o cámara de aire que separa la parte fija de la móvil del núcleo, o sea el contranúcleo del núcleo propiamente dicho. El extremo exterior del núcleo tiene una muesca con orificios, para fijar mediante un perno o un tornillo la pieza que debe ser movida al accionar. Las cerraduras electromagnéticas, los frenos electromagnéticos, las válvulas, etc., son

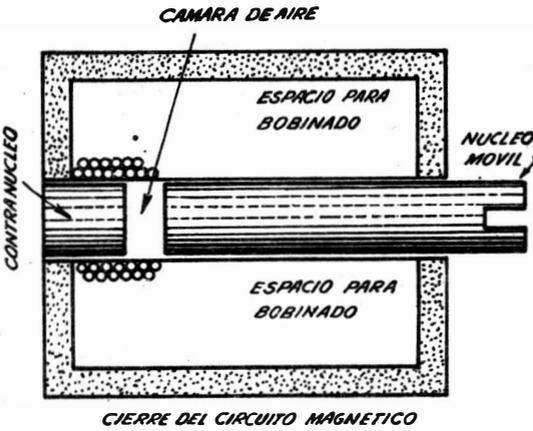


FIG. 141. — Partes de un electroimán a núcleo tragante.

otras tantas aplicaciones de este tipo de electroimanes.

En el aspecto constructivo, no resulta conveniente que las superficies enfrentadas del núcleo y contranúcleo sean caras planas de los dos cilindros, por lo que suelen buscarse soluciones que aumenten la eficacia, dando al accionar durante el rápido acercamiento una mayor velocidad y uniformidad de la fuerza actuante o portante. La figura 142 muestra dos de las soluciones más empleadas, una de las cuales consiste en formar superficies cónicas paralelas y la otra que coloca un vástago cilíndrico de menor diámetro en el extremo del núcleo móvil, el cual penetra en un orificio cilíndrico del contranúcleo.

En todos los casos se especifica también para este tipo de electroimanes el tipo de corriente disponible para la alimentación, continua o alternada. Además, hay que indicar la tensión de alimentación. Este dato está vinculado a la for-

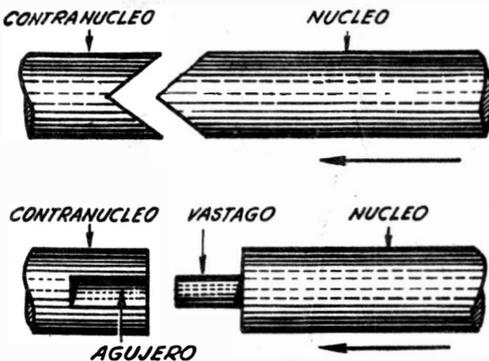


FIG. 142. — Formas de casar el núcleo y el contranúcleo para aumentar la eficacia.

mación del campo magnético, pero por tratarse de un detalle muy importante, merece una explicación más detallada.

Fuerza portante

En todo electroimán hay un dato que es el más importante para las especificaciones de adquisición, y es la fuerza que debe realizar. Esta fuerza depende del campo magnético que se forma, el cual depende a su vez de la cantidad de espiras del bobinado y de la intensidad de la corriente eléctrica que lo recorrerá. Se acostumbra a multiplicar la cantidad de espiras por la intensidad tomada en Amperes, y ese producto se llama *ampervueltas* (NI). Es lo mismo hacer un bobinado de muchas espiras y pocos amperes circulando que uno de pocas espiras y muchos amperes; lo que cuenta es el producto de ambas cosas. Otro detalle importante es la longitud a recorrer por el núcleo, pues es evidente

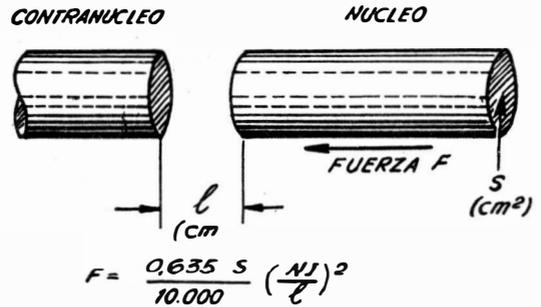


FIG. 143. — Forma de calcular la fuerza portante de un electroimán. NI son los Amperesvueltas del bobinado.

que a distancias grandes la fuerza será menor y viceversa. Y, finalmente, la superficie transversal del núcleo (S), tomada en centímetros cuadrados, es el tercer dato de importancia. Con todos esos datos vamos a la figura 143, y allí vemos, para los que gustan de las fórmulas, una que les permitirá calcular la fuerza portante, dada en gramos, de un electroimán del cual se conocen los datos antes citados. Como hay que asegurarse que circulen por la bobina los I amperes que se necesitan, hay que especificar el valor de la tensión disponible en Volt para que nos entreguen el bobinado correcto. Es de hacer notar que en los electroimanes de corriente continua, la intensidad I de la corriente se puede calcular dividiendo la tensión de alimentación en Volt por la resistencia del bobinado en Ohm, pero en corriente alternada ese cálculo no es exacto.

Eléctroimanes de protección

Las instalaciones y los artefactos eléctricos que se conectan a ellas funcionan normalmente hasta que algún detalle imprevisto conspira contra esa normalidad. Podemos mencionar los fusibles, como el método más simple para evitar sobrecargas en las líneas, que pueden llegar a destruirlas o a perjudicar el material aislante

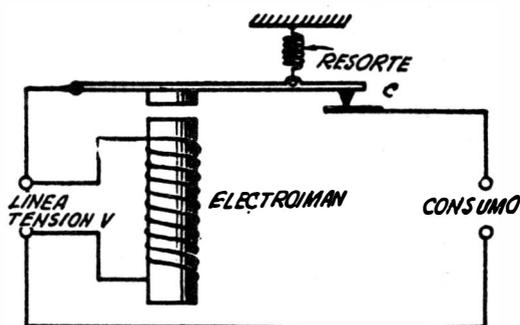


FIG. 144. — Esquema de un protector para tensión mínima.

que las envuelve. Esto es fácil de comprender, pues el metal cobre de que se hacen los alambres y cables conductores soporta temperaturas cercanas a los 1000 grados sin fundirse, pero la aislación de esos cables a los 100 grados ya se estropea, pues es a base de caucho. Y todo esto proviene del hecho de que la corriente eléctrica al pasar por los conductores produce calor, el cual no debe ser excesivo para evitar elevaciones de temperatura inadmisibles.

Los aparatos de protección de artefactos y líneas deben actuar antes que ocurran cosas que produzcan deterioros. De entre los muchos existentes, describiremos los dos más empleados, por ser de interés ilustrativo y para aplicar los conocimientos adquiridos hasta ahora en todo lo explicado anteriormente. Se trata del protector de tensión mínima y el de corriente máxima.

Protector de tensión mínima

Todos sabemos, por haberlo oído, que cuando la tensión de la línea está muy baja, hay que desconectar la heladera, porque puede quemarse el motor. Y bien, digamos entonces qué es lo que pasa. Un motor eléctrico construido para 220 Volt, necesita que se le aplique esa tensión para funcionar, y especialmente en el momento de conectarlo hay que estar seguro de que pueda arrancar. En el caso de la heladera, la que tiene

un compresor, si por casualidad el mismo queda parado en la posición de empezar a comprimir el gas, el motor eléctrico necesita toda su potencia para arrancar. Si la tensión está muy baja, el motor no consigue arrancar y queda conectado a la línea sin girar, es decir sin producirse el fenómeno electromagnético que, entre otras cosas, le permite soportar la tensión aplicada. Entonces, la corriente absorbida por el bobinado es mucho mayor que la normal, y puede fácilmente quemarse la aislación del alambre por exceso de temperatura. Es cuando se dice que el bobinado se ha quemado y hay que rebobinarlo.

Para evitar ese inconveniente puede usarse el aparato ilustrado en la figura 144, llamado *protector de tensión mínima*. Es una versión del ya conocido electroimán con lámina elástica, la cual está tirada hacia arriba por un resorte graduable. La bobina del electroimán se conecta directamente a la línea y el circuito de consumo se forma con dos cables, uno de los cuales se conecta en serie con la lámina y su contacto extremo *C*. Mientras el electroimán tiene atraída la lámina ese contacto permanece cerrado y el circuito de consumo queda alimentado.

Pero, la fuerza del electroimán está equilibrada con la fuerza del resorte, y se gradúa este último de manera que si la tensión de la línea es de, por ejemplo, 220 Volt o mayor, la fuerza del electroimán alcanza para mantener cerrado el contacto *C*, pero si la tensión baja de 200 Volt, el resorte vence al electroimán y el circuito de consumo se interrumpe. Si lo que estaba conectado era una heladera, el motor queda desconectado hasta que la tensión de la línea, por superar los 200 Volt, permite que el electroimán venza al resorte. Esta cifra de 200 Volt, tomada como *tensión mínima* para el protector es arbitraria, pues puede regularse a voluntad graduando el resorte. Estos aparatos se proveen ubicados dentro de cajitas con sus bornes para conexión a la línea y su salida para el consumo.

Protector de corriente máxima

El otro caso común de protectores de aparatos o instalaciones es el dispositivo ilustrado en la figura 145. Es el llamado protector de corriente máxima y tiene también un electroimán, pero la lámina elástica *1* del mismo no tiene contactos; los tiene otra lámina, la *2*, que está tirada hacia arriba por un resorte, pero no sube

por estar soportada por un gancho que tiene en el extremo la lámina elástica 1.

La corriente de consumo se hace pasar por la bobina del electroimán, y éste atrae la lámina 1, pero mientras la corriente no es muy grande, no alcanza a vencer la elasticidad de la lámina 1, y no puede atraerla. También puede colocársele a esa lámina un resorte de contención, regulable. Cuando por cualquier circunstancia la corriente del consumo aumenta por encima de una cifra que se considera como la *máxima normal* la fuerza del electroimán aumenta mucho, atrae la lámina 1 y desengancha la lámina 2, la cual abre el contacto y se interrumpe el circuito de consumo. Una vez reparada la falla que había en la instalación, se vuelve a enganchar la lámina 2 en la 1 mediante un botón o

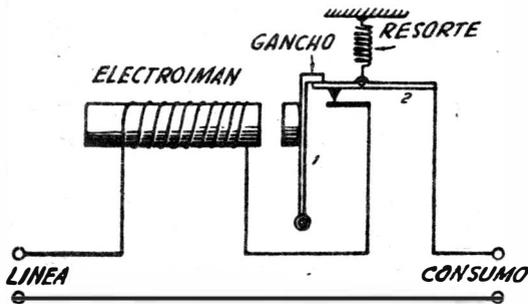


FIG. 145. — Esquema de un protector de corriente máxima.

una palanquita que aparece en el frente de la cajita que contiene el aparato.

Estos dispositivos se adquieren pidiéndolos para la intensidad de corriente máxima que permite la línea, de acuerdo con el grosor de los cables. Reemplazan con ventaja a los fusibles porque no se queman cuando hay un exceso de corriente, sino que sirven indefinidamente.

Relevadores

Con los nombres de *relevadores*, *relays* o directamente *relés* se conocen en las aplicaciones electrónicas a unos electroimanés destinados a cerrar o abrir circuitos eléctricos en una serie de combinaciones interminables. Como todo electroimán, tienen su armadura, su núcleo y su bobinado, como partes principales, dispuestos de la manera que muestra la figura 146, o algo similar. La armadura móvil es generalmente frontal con respecto al núcleo central, y se trata de una placa con gozne o bisagra, para

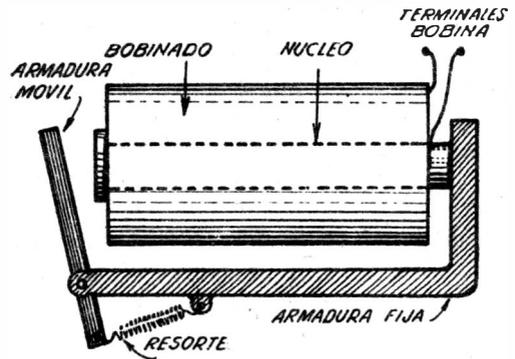


FIG. 146. — Partes principales de un relevador.

que pueda tener un movimiento de giro acercándose al núcleo cuando la bobina está alimentada por corriente y alejándose del mismo con ayuda de un resorte cuando esa corriente se interrumpe. Quiere decir que como electroimán, el aparato trabaja en la forma conocida: si cerramos una llave y hacemos pasar corriente por la bobina, la armadura móvil es atraída y se pega contra el extremo frontal del núcleo; si abrimos esa llave, la armadura se abre por acción del resorte. La corriente puede ser continua o alterna, según la haya previsto el fabricante, y se especifica siempre la tensión de alimentación.

En estos aparatos no interesa la fuerza portante, pues basta que ella alcance para vencer la tracción del resorte y presionar sobre las láminas elásticas que constituyen la segunda parte del relevador. Estas láminas constituyen la razón de ser del dispositivo, y pueden tener desde

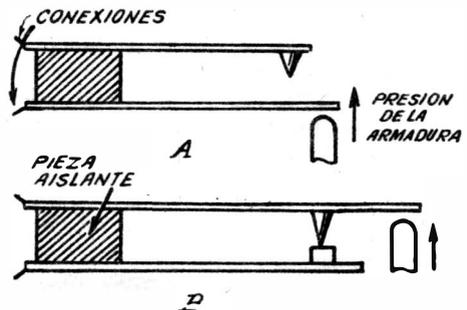


FIG. 147. — Contactor de cierre (A) y de apertura (B).

dos, como mínimo, hasta cualquier cantidad. La figura 147 nos muestra los dos tipos más simples, que son el de cierre de un circuito y el de apertura de un circuito. Entre las dos láminas hay un trozo de material aislante, como la fibra u

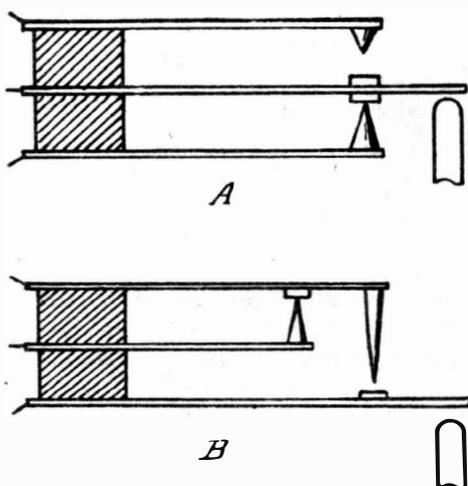


FIG. 148.— Contactor de apertura y cierre (A) y de cierre y apertura (B).

otro, que permite sujetarlas por el extremo donde están los terminales de conexión. El otro extremo de las láminas es el que tiene los contactos. Cuando la armadura es accionada por el electroimán, las láminas se curvan y los contactos ocurren o dejan de estar cerrados, como en A y B de la figura 147.

También se puede, mediante un juego de tres láminas, abrir un circuito y cerrar otro, en ese orden o en el orden inverso, según lo muestra la figura 148. Obsérvese que según la disposición de los contactos de las tres láminas, al producirse la presión de la armadura, una cosa ocurre antes que la otra y ese orden debe ser elegido al especificar las características del relevador descado.

Tenemos, entonces, que los relevadores no son otra cosa que llaves de apertura y cierre de circuitos eléctricos, pero que son accionadas me-

dante un electroimán, cosa que permite que el botón de cierre que cierra el circuito de la bobina esté lejos, en otro lugar, bastando que los cables vayan desde ese botón hasta la bobina. También tenemos la ventaja de poder cerrar o abrir muchos circuitos al mismo tiempo y otra no despreciable de que con un circuito de corriente débil (el de la bobina) podemos accionar circuitos de fuerte corriente, pues los contactos pueden fabricarse con esa característica.

La figura 149 nos muestra un modelo de relé múltiple, capaz de abrir y cerrar varios circuitos, comandado desde el lugar en donde se encuentre el botón o la llave que cierra el circuito de la bobina. La industria provee una gran variedad de relevadores, y las especifica-

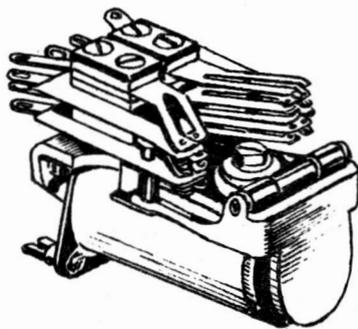


FIG. 149.— Vista de un relevador de láminas múltiples.

ciones contienen como dato fundamental la tensión y clase de corriente en la alimentación, y la cantidad de contactos de cierre y de apertura que hacen falta, con indicación de la corriente máxima que deben maniobrar, a los efectos de determinar las dimensiones y material constitutivo de los mismos.

Día 8

Avanzando con nuestro curso de electrónica industrial, hemos llegado a un punto en que podemos empezar a usar los dispositivos estudiados hasta aquí, es decir, las válvulas, los semiconductores, los transformadores, etc. Hay numerosas aplicaciones electrónicas en la industria y debemos abordarlas siguiendo un orden determinado, que en el caso de un curso orgánico, debe ser el de la complejidad creciente. Por esta razón nos ocuparemos en la presente jornada de los rectificadores, es decir, los circuitos para convertir una corriente alternada en continua; y es que para muchas aplicaciones electrónicas como la galvanoplastia, la radio, los cargadores de baterías, ciertos tipos de reguladores, etc., se debe disponer de corriente continua y en la línea eléctrica de canalización hay alterna.

Hasta hace algunos años los rectificadores eran casi todos a válvulas termoiónicas y sólo algunos usaban los diodos de óxidos metálicos, pero hoy en día, con la difusión alcanzada por los semiconductores, se están imponiendo en forma creciente los llamados silicones, o sea, los diodos de silicio de que nos hemos ocupado en el capítulo 4. En lo que sigue hablaremos de todos esos tipos y daremos los circuitos de utilización.

RECTIFICADORES

Comencemos por decir que un rectificador es un dispositivo que permite la circulación de la corriente eléctrica en un solo sentido, de modo que si le aplicamos corriente continua en el sentido conveniente, ella pasará sin dificultad, y si se la aplicamos en el sentido vedado, no pasará. Si le aplicamos corriente alternada, pasará corriente durante los semiciclos en que ella tenga el sentido de circulación coincidente con la apertura del rectificador, y no pasará en los otros semiciclos. Esto será aclarado en las explicaciones que siguen. El rectificador se complementa con otros accesorios, según veremos. Prácticamente se puede decir que existen tres clases de rectificadores, que son los de válvula termoiónica, los de óxidos metálicos y los semiconductores.

Rectificadores a válvula

El comportamiento de las válvulas electrónicas nos resulta ya conocido, de manera que corresponde ocuparnos de sus funciones en los circuitos de electrónica. La primera y más simple de todas las funciones es la *rectificación*.

Sabemos que una válvula diodo sólo cierra el circuito, o sea que sólo deja pasar corriente cuando la placa es positiva con respecto al cátodo. Consultemos el circuito de la figura 150 donde aparece una válvula rectificadora. En los bornes *AB* aplicamos una tensión alternada cuyo gráfico representativo aparece a la izquierda del dibujo. Durante medio ciclo la carga eléctrica es positiva y durante el otro medio es negativa. Si cerramos el circuito mediante una resistencia *R* circulará corriente sólo durante el semiciclo positivo, quedando interrumpido el circuito durante el semiciclo negativo.

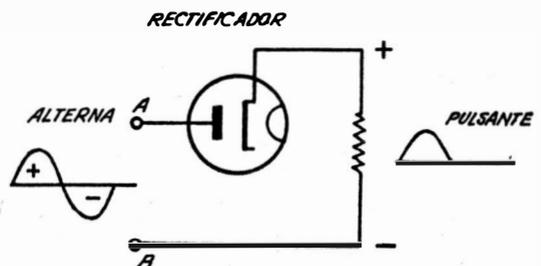


FIG. 150. — Un diodo convierte la tensión alterna en pulsante.

Si queremos hacer un gráfico de cómo varía la corriente eléctrica en el circuito, resulta como la figurita que aparece a la derecha, es decir la misma que teníamos a la izquierda a la cual se le ha cortado la parte que le salía para abajo. Una corriente así se denomina pulsante y entra en la categoría de corriente continua, pues aunque varía su intensidad, por lo menos no cambia el sentido de circulación. Hemos pasado de una corriente alternada a una continua, gracias a la válvula diodo. La operación se denomina *rectificación* y la válvula toma el nombre de *rectificadora*.

Un rectificador que nos dé una corriente como la de la figura 150 no es muy práctico que digamos, pues cuando usamos un rectificador es para convertir la corriente alternada en continua. La que tenemos en la figura 150 es una corriente que se llama *pulsante*, y tiene de la continua la propiedad de que no cambia de polaridad, pero no la de mantener su valor uniforme.

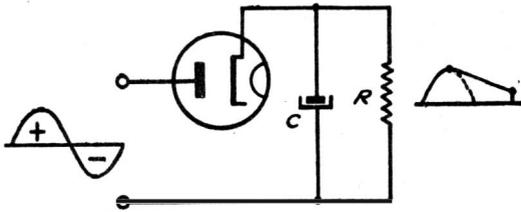


FIG. 151. — Si agregamos el capacitor C, la tensión pulsante se hace continua.

Debemos, entonces, buscar de arreglar nuestro rectificador con algún dispositivo capaz de acumular cargas eléctricas durante medio ciclo y entregarlas precisamente durante el otro medio, cuando no tenemos corriente. El dispositivo acumulador de cargas eléctricas más simple es el *capacitor*.

Entonces conectamos un capacitor en la forma como lo muestra la figura 151 (letra C). ¿Qué nos hace este capacitor en el circuito? Pues, precisamente, acumular cargas eléctricas durante medio ciclo, como lo muestra la figura

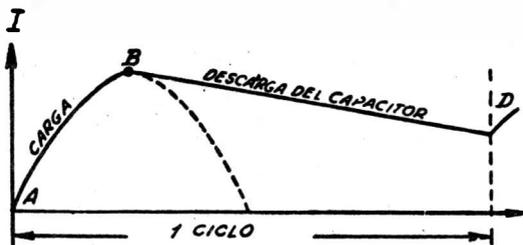


FIG. 152. — Efecto del capacitor agregado.

152 y entregarlas al circuito durante el otro medio. Es decir que desde A hasta B, el capacitor se carga y desde B hasta D se descarga, no dejando que disminuya la corriente según la línea punteada.

Claro que si mostramos esto durante un solo ciclo de la tensión alternada que estamos rec-

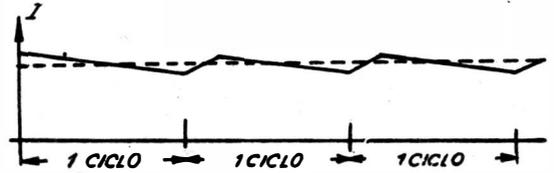


FIG. 153. — El enderezamiento de la corriente de salida es evidente.

tificando, no se ve bien claro lo que hemos obtenido; pero en la figura 153 hemos dibujado varios ciclos, y se ve que la corriente que circula por el circuito, si bien no se representa por una línea recta horizontal, por lo menos no varía mucho. Si colocamos un capacitor de mayor capacidad en el rectificador, esa línea quebrada se hará más y más recta y en la práctica siempre se consigue que el rectificador, con la ayuda de un buen capacitor, entregue corriente prácticamente continua al circuito. La capacidad de

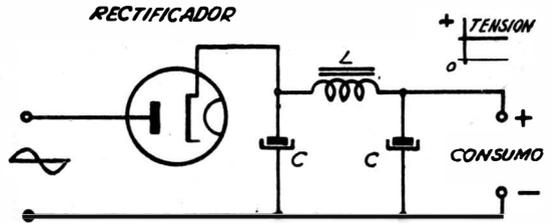


FIG. 154. — El rectificador completo con su filtro.

los capacitores se mide en Farad, o, como esta unidad es muy grande y muy incómoda, se mide en microfarad. Además, para conectarlo hay que especificar el valor de la tensión eléctrica máxima que se aplicará entre sus bornes. En el caso de la figura 151 sería la tensión que hay entre los extremos del resistor R, siempre conocida. En resumen, se pedirá, por ejemplo, un capacitor de 40 microfarad para 400 Volt.

Para lograr una corriente continua más pura o sea que tenga un gráfico que sea una línea recta horizontal, colocamos a la salida de la rectificadora un conjunto que se denomina *filtro* y que podemos ver en la figura 154. Consiste en una bobina L y dos capacitores electrolíticos C. Esta bobina se denomina comúnmente

impedancia, y tiene núcleo de hierro. Por lo que sabemos de las bobinas, las mismas tienden a oponerse a las variaciones de la corriente y colaborando con los capacitores resulta, finalmente, que aplicando una tensión alternada a la entrada del circuito rectificador el consumo será una corriente continua perfecta cuyo gráfico es el que aparece a la derecha en la figura.

Los rectificadores que hemos visto en las tres figuras anteriores aprovechan en todos los casos medio ciclo de la tensión alternada aplicada, no trabajando durante el otro medio y se denominan por ese hecho *rectificadores de media onda*. Durante el medio ciclo negativo la corriente en el consumo la provee en realidad el o los capacitores del filtro que ha acumulado carga eléctrica durante el medio ciclo de trabajo. Con la idea de aprovechar los dos medios ciclos de la tensión alternada se idearon los *rectificadores de onda completa*, cuyo esquema básico podemos ver en la figura 155; emplea dos diodos que, por ahora, supondremos independientes. Para el funcionamiento de este tipo de rectificador necesitamos dos tensiones alternadas iguales pero de fase opuesta, es decir que, cuando una es positiva la otra es negativa, para que trabaje un diodo durante medio ciclo y el otro diodo durante el otro medio ciclo.

Es así como se utiliza un transformador *T* a cuyo primario se aplica la tensión alternada disponible y cuyo secundario tiene un punto medio o central *D* que se conecta a masa y que constituirá el negativo en el circuito de consumo de corriente continua. Dispuestas así las cosas, cuando el punto *A* tiene carga eléctrica positiva, el *D* debe tenerla negativa y viceversa. Durante medio ciclo la placa del diodo superior es positiva y circulará corriente a través del mismo hacia el consumo. Durante el otro medio

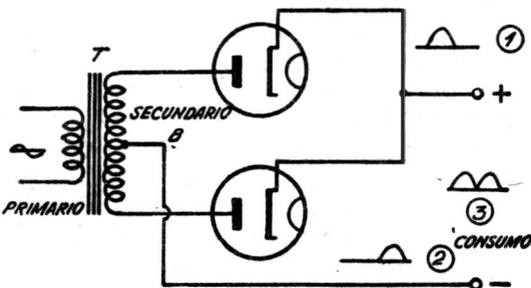


FIG. 155. — El rectificador de onda completa con dos diodos.

ciclo circulará corriente por el diodo inferior por ser positiva su placa. Tenemos, por tanto, que en el consumo circulará corriente durante

los dos medios ciclos o sea durante la onda completa de la tensión alternada aplicada.

Los pequeños gráficos 1, 2 y 3 que se han colocado estratégicamente representan las formas de onda de las corrientes circulantes. Si sólo estuviera el diodo superior, la corriente tendría la forma del gráfico 1. Si tuviéramos únicamente el diodo inferior la corriente circularía

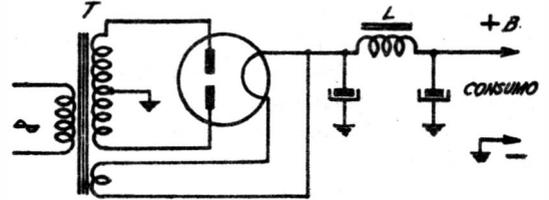


FIG. 156. — El rectificador de onda completa con un doble diodo.

ría según la forma o variaciones del gráfico 2. Pero como tenemos los dos diodos cuyos cátodos están unidos para enviar juntos la corriente al circuito de consumo, el gráfico resultante de dicha corriente es el número 3, donde vemos que los dos medios ciclos de la corriente alternada aparecen hacia arriba del eje.

En la práctica no se usan dos diodos separados y además hay que colocar el filtro a la salida del rectificador. Por ello, el circuito real es el de la figura 156, y vemos un doble diodo sin cátodo, pues el filamento obra como tal. El transformador *T* tiene otro doble bobinado secundario que generalmente entrega una tensión de 5 volt para alimentar el filamento de la rectificadora. El filtro está constituido por la impedancia *L* y los dos capacitores electrolíticos *C* como ya es sabido.

Es común denominar con el signo positivo seguido de la letra *B* que se lee *más B* al polo vivo de las conexiones que van al consumo, pues el otro polo sería la conexión de masa que corresponde al negativo. En todos los circuitos de electrónica de los que nos ocupamos más adelante encontraremos circuitos rectificadores como los de las figuras 154 ó 156, y oportunamente se darán los valores típicos, válvulas a emplear, etcétera. En los manuales de válvulas se especifican las características de las rectificadoras, figurando como datos importantes la máxima tensión que pueden rectificar, la máxima corriente continua de salida y los detalles de alimentación del filamento.

Rectificadores a óxidos metálicos

Quando se estudian las características de conductibilidad de los metales se encuentra que el

cobre es el mejor conductor, siendo ésta la razón por la cual los cables se hacen de este metal. Pero el cobre oxidado no se comporta de la misma manera, pues si se cubre una chapa de cobre con una capa de óxido del mismo metal y se hace pasar corriente a través de la juntura

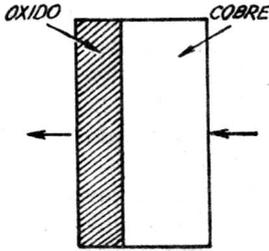


FIG. 157. — El rectificador de óxido metálico.

cobre-óxido, tal como se muestra en la figura 157, ocurre un hecho singular: del cobre al óxido se encuentra una pequeña resistencia a la circulación de corriente, y entonces la conducción es buena; pero en el sentido contrario, es decir, del óxido al cobre, se encuentra una resistencia muy grande, no permitiéndose la circulación. Este fenómeno se aprovecha para construir rectificadores secos muy económicos, cuyo esquema de funcionamiento se ve en la figura 158.

Prácticamente, se toman densidades de corriente de 80 miliamper por cada centímetro cuadrado de placa, debiendo tomarse esta superficie únicamente en la parte oxidada. Además del cobre, el selenio se comporta de la misma manera, y con él se construyen rectificadores de mejor calidad.

Debido a que se pueden formar pilas de chapas oxidadas con comodidad, se encuentran estos rectificadores en el montaje que se muestra en la figura 159, figurando abajo el esquema de conexiones; se trata del rectificador en puente.

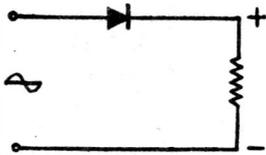


FIG. 158. — Circuito para el rectificador.

que es del tipo de onda completa y que da el doble de corriente que el modelo simple.

Aparte de los detalles constructivos, estos rectificadores se asemejan, en cuanto a los detalles

de aplicación, a los semiconductores que serán tratados de inmediato, o sea, los silicones, que los han reemplazado en casi todas las aplicaciones prácticas, por lo cual no daremos más información sobre los de óxidos metálicos.

Los silicones

Si recordamos la teoría de los semiconductores vista en el capítulo 4, teníamos un diodo que mostraba la particularidad de dejar pasar la corriente en un sentido y muy poca o casi nada en sentido contrario.

Y bien, si tenemos un dispositivo que admite circulación de corriente solamente cuando la polaridad externa es una determinada, y no cuando la invertimos, tenemos un rectificador, también llamado *diodo*. Veamos su aplicación, ayudados por la figura 160. Para simplificar el

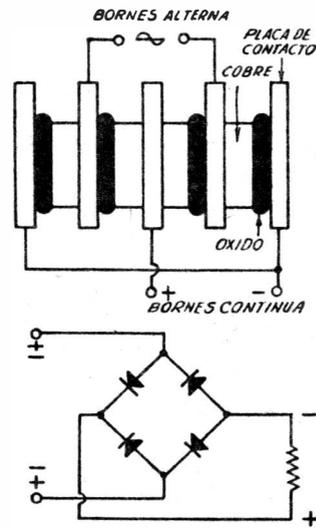


FIG. 159. — Montaje y esquema de conexiones del rectificador puente.

dibujo, a la juntura de dos trozos de germanio lo representaremos con el símbolo del rectificador, que es un triangulito con una raya vertical apoyada en el vértice. Las letras corresponden a todas las figuras anteriores, pues en el rectificador el polo positivo corresponde a la polaridad positiva del cristal, o sea al tipo P. Para que circule corriente necesitamos aplicar una fuente y cerrar el camino de circulación, lo que se representa con un resistor R , o sea el circuito de consumo.

La fuente nos suministra una señal o tensión alternada, que sabemos tiene la propiedad de cambiar constantemente de polaridad varias veces por segundo, tantas como la cifra que re-

presente su frecuencia. Una tensión alternada de 50 ciclos por segundo tiene esa misma cantidad de variaciones, en ambos sentidos, de valor y signo en un segundo, o sea que cambia de polaridad 100 veces en un segundo. Durante

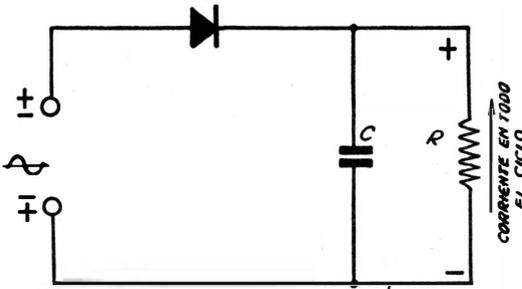


FIG. 160. — Circuito simple de un rectificador con un diodo. El capacitor fue explicado en la figura 151.

medio ciclo, el polo superior (A) será positivo y el inferior (B) negativo, y durante el medio ciclo siguiente, a la inversa. Por eso, en los polos de una fuente alternada siempre se pone el doble signo \pm , ya que su polaridad va cambiando constantemente.

Si no existiera el rectificador, la corriente circularía en el circuito como circula una corriente alternada, o sea medio ciclo en un sentido y otro medio ciclo en sentido contrario, y así siguiendo. Esto lo saben todos los que estudiaron Electricidad, pero es bueno repetirlo. Pero en el camino de la corriente se encuentra el rectificador, cuya propiedad es que permite la circulación de corriente directa en un sentido pero no en otro. Luego, durante el medio ciclo en el cual la polaridad en los polos de la fuente coincide con las letras P y N del rectificador,

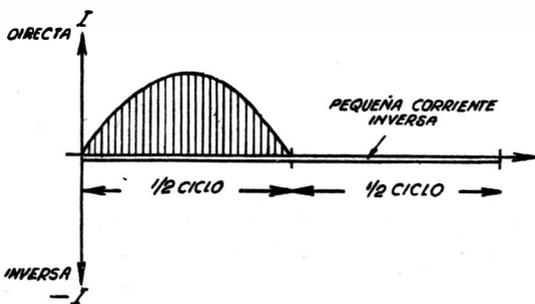


FIG. 161. — Efecto de la rectificación durante un ciclo completo.

circulará corriente directa por el circuito, pero durante el otro medio ciclo no circulará corriente.

La figura 161 nos muestra gráficamente lo que acabamos de decir. El valor de la corriente durante el medio ciclo en que circula no es constante, sino que varía desde cero hasta un máximo, y vuelve a cero, por ser así la forma de variación de tensiones y corrientes alternadas; pero lo importante es que tenemos circulación de corriente directa, solamente durante medio ciclo, o sea que no hay corriente negativa. Tenemos así un rectificador.

¿Y la corriente inversa? Existe durante todo el ciclo, pero es muy pequeña. La representamos hacia abajo del eje por ser corriente negativa, pero su valor en el primer medio ciclo se resta del valor grande de la corriente positiva y desaparece; durante el medio ciclo en que no hay corriente positiva tenemos esa pequeña circulación contraria, pero en la práctica se la suele despreciar por su pequeñez.

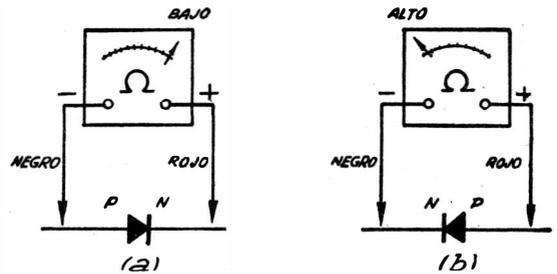


FIG. 162. — Comprobación de la polaridad de un diodo.

¿Cómo podemos comprobar rápidamente la polaridad de un diodo rectificador y comprobar que existe una pequeña corriente inversa? Mediante un óhmetro, y en la forma como lo muestra la figura 162. El óhmetro (también llamado *tester* o *multímetro*) es un aparato que sirve para medir la resistencia de un circuito o de un resistor, y la indica directamente en *Ohm*, nombre de la unidad de resistencia. Y bien, si tenemos un óhmetro comprobaremos que sus cables de medición son uno rojo y otro negro, el rojo corresponde al polo negativo de su pila interna y el negro al positivo. Si tocamos los extremos del diodo como se ve en a de la figura 162, la corriente del óhmetro pasa con facilidad y la aguja indica un valor bajo de resistencia, pero no marca cero, porque el diodo es conductor en ese sentido, pero no absoluto, sino que ofrece cierta resistencia al paso de la corriente. Si tocamos los extremos al revés,

como se indica en *b*, el óhmetro marcará un valor elevado de resistencia, pero no infinito, precisamente por la existencia de la corriente inversa. Si no existiera esa corriente inversa no habría circulación de ninguna corriente, lo que equivale a que el circuito tenga resistencia infinita.

Tipos de diodos

Una vez que conocemos la aplicación de los diodos rectificadores que se construyen sobre la base de una juntura de dos trozos de semiconductores, nos ocuparemos de los detalles prácticos referentes a tales diodos. Se ha mencionado que la función de un rectificador es convertir una tensión alterna en una continua, y eso no refleja las múltiples posibilidades de los diodos, pues existen muchas otras. También hemos dicho que los dos trozos de semiconductores eran de germanio impuro, uno tipo P y otro tipo N, y eso tampoco refleja la realidad, pues se construyen diodos de silicio, además de los de germanio. De todas las variedades de diodos existentes puede hacerse una clasificación según el uso a que se destinan.

Una primera selección podría agruparlos en diodos de silicio y diodos de germanio. Otra clasificación los agruparía en diodos para corrientes fuertes y corrientes débiles. También puede atenderse a la frecuencia de la corriente alterna a rectificar, y tendríamos los diodos para baja y alta frecuencia. Y también podríamos agruparlos según las denominaciones, ya que la técnica europea usa un código denominador diferente al de la técnica americana. Y frente a todas esas posibilidades de clasificación, tenemos las denominaciones populares, que siempre tienden a facilitar los nombres, especialmente en los tipos comunes de mayor aplicación.

De todas las posibilidades mencionadas nos quedaremos con la última, en atención al carácter de este libro. Agruparemos entonces los diodos en los rectificadores de corriente fuerte, que son generalmente de silicio, y que responden a la denominación práctica de *silicones*, por una parte, y en los diodos rectificadores para corrientes débiles, usables en altas frecuencias, que son habitualmente de germanio, y que se denominan precisamente: *diodos de germanio*. Veamos, entonces, las características destacadas de los silicones y de los diodos de germanio, con las nomenclaturas usuales.

La primera clasificación práctica de los rectificadores los divide en baja y alta potencia,

entendiéndose que para rectificación de la corriente alternada, a los efectos de alimentar circuitos que requieren corriente continua, siempre se usarán diodos a los que se consideran de alta potencia y baja frecuencia. Para esta función se emplearon primitivamente válvulas termoiónicas o rectificadores de óxido. No es difícil destacar la ventaja de los silicones en su empleo como rectificadores de la corriente alternada: menor tamaño y peso que cualquiera de los otros tipos, mayor duración, no requieren alimentación de filamento, pues no lo tienen, y, debido a su fabricación en gran escala, ya resultan más económicos.

El aspecto de los silicones más usados se muestra en la figura 163. El de arriba es para corrientes no muy elevadas, y el inferior es para rectificadores de fuerte corriente. En ambos modelos la capsula metálica corresponde al semiconductor tipo N y suele denominarse *cátodo* y el terminal aislado corresponde al tipo P y se llama *ánodo*. En el símbolo que hemos puesto en la parte inferior de la figura la raya fina es el cátodo y el triangulito es el ánodo. Los signos + y - parecería que están al revés, pero de

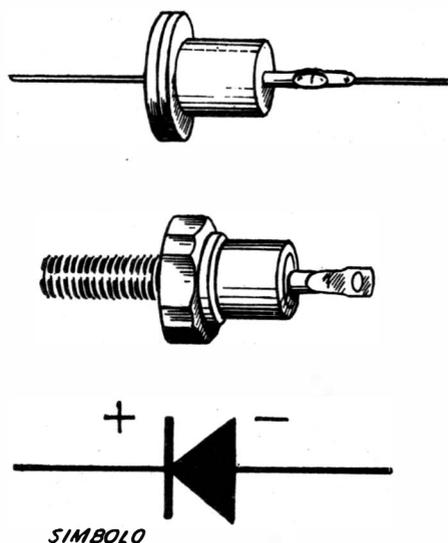


FIG. 163. — Aspecto de los rectificadores silicones y su símbolo práctico.

acuerdo con la figura 160 tenemos que ponerle el signo positivo al cátodo, pues es el terminal que corresponde al polo positivo del circuito de corriente rectificada o sea de corriente continua. Para la vieja convención de circulación de corriente eléctrica, el que admitía que la corriente

va del polo positivo al negativo, el triangulito marca, como si fuera una flecha, ese sentido; y como todavía se acostumbra a admitir ese sentido de circulación, se marcan los rectificadores en esa forma.

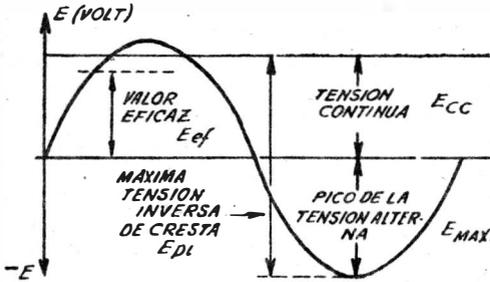


Fig. 164.— Explicación gráfica del significado de la tensión inversa de cresta o de pico.

Hay silicones para baja tensión y fuerte corriente, para tensión media y baja corriente, y para tensión media y fuerte corriente, todos los cuales, en la denominación americana, llevan como primeros símbolos un número 1 y una letra N. Por ejemplo, el 1N3754 es para 100 Volt a 0,125 Amper, y el 1N1190 es para 600 Volt a 35 Amper. En toda esta serie los hay para tensiones de 15, 50, 100, 200, 300, 400, 500 y 600 Volt. Las corrientes máximas de esos mismos tipos son de 0,125, 0,4, 0,75, 5, 12, 18, 20, 35 y 40 Amper. Para tensiones superiores a los 1.000 Volt se usa la denominación que comienza con las letras CR. Por ejemplo el CR101 es para 1200 Volt y el CR212 es para 12.000 Volt.

Otra característica que siempre se fija en los silicones es la temperatura máxima del ambiente, que es de 100°C en los modelos comunes y llega hasta los 200°C en los modelos especiales. Como se ve, cuando se va a usar un silicón hay que especificar tres cifras máximas, y adquirir uno que iguale o supere esas condiciones. Esas cifras son la tensión máxima, la corriente máxima y la temperatura máxima.

Con respecto a la tensión máxima, hay que aclarar que la cifra no se refiere a la tensión alterna a rectificar ni a la tensión continua que tenemos en la fuente, sino a lo que se llama *tensión inversa de pico*. ¿Qué es esto? Veamos la figura 164 que nos aclara el punto. Cuando tenemos una tensión alterna, la misma se representa con una curva como la ilustrada, que se llama *senoide*. Ella da los valores de la tensión en cada instante, durante todo un ciclo del fe-

nómeno alternado. Al rectificar esa tensión alterna tendremos una tensión continua, y de acuerdo con la figura 152, sabemos que podemos alcanzar un valor cercano al de pico positivo de la tensión alterna, gracias a la acción del capacitor que poníamos a la salida del rectificador. Pero cuando la tensión alterna tiene su pico negativo, entre los terminales del rectificador tenemos la suma de las dos tensiones, la continua y el pico negativo de la alterna, suma que es la que se llama *tensión inversa de cresta*. En la práctica, para saber aproximadamente cuál será la máxima tensión inversa de pico, se puede tomar una cifra igual a dos veces y media a tres veces el valor de la tensión eficaz alterna, o sea del valor que acusa un voltímetro para esa tensión alterna. Para los que recuerdan sus estudios de electricidad saben que un voltímetro de alterna no nos marca el valor de pico sino el llamado *valor eficaz*, que es un 70 % del valor de pico. Por ejemplo, la línea eléctrica de corriente alternada, de la cual decimos que la tensión es 20 Volt, en realidad tiene 308 Volt como tensión de pico, y nadie se preocupa de ese detalle, sino que siempre se la menciona como si tuviera 220 Volt.

Volviendo a la máxima tensión inversa de cresta, para el caso de un rectificador para usarlo en la línea de 220 Volt, multiplicamos esa cifra por 3 como dijimos antes y obtenemos 660 Volt. Luego usaremos un silicón de los que tienen especificada una tensión inversa máxima de 660 Volt.

Condiciones prácticas

En la utilización de silicones hay que cuidar algunos detalles de importancia para sacar de

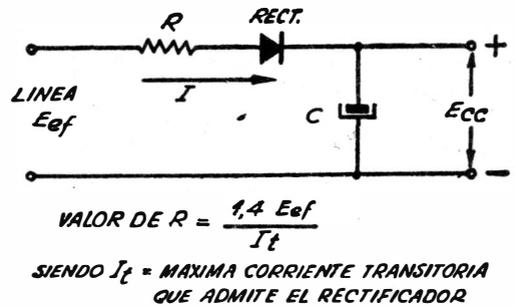


Fig. 165.— Para proteger a un rectificador de las corrientes transitorias debe colocarse una resistencia en serie.

ellos el máximo provecho. Uno de los detalles importantes es el referente a los fenómenos tran-

sitorios, o sea a las fuertes corrientes de muy poca duración, pero corrientes al fin, que circulan en el instante de conexión o de desconexión de un rectificador; las fábricas especifican el valor máximo de corrientes transitorias o instantáneas que soporta cada modelo de silicón sin dañarse. Llamaremos I_t a tal corriente, y veremos cómo la hacemos intervenir en algunos cálculos.

La figura 165 nos muestra la conexión de un rectificador directamente a la línea de canalización; en esos casos debe colocarse una resistencia R de protección contra efectos transitorios, cuyo valor se calcula conociendo la tensión eficaz (la que marca un voltímetro) aplicada al circuito y la máxima corriente transitoria o instantánea admitida por el silicón, dato de fábrica. En la figura aparece la fórmula con que se calcula el valor de esa resistencia.

Si el rectificador se conecta a través de un transformador, como se ve en la figura 166, puede no hacer falta la resistencia de protección. Se calcula el valor de una resistencia como

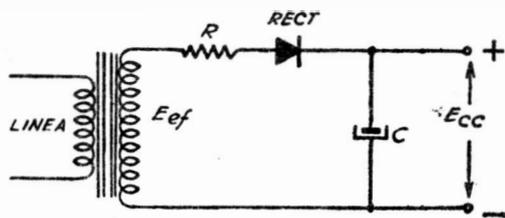


FIG. 166. — Cuando hay un transformador entre la línea y el rectificador, la resistencia del bobinado secundario limita la corriente transitoria. Si la misma no alcanza al valor dado en la figura 165, se complementará con una resistencia adicional hasta alcanzar aquel valor.

la de la figura 165 y se mide la resistencia del bobinado secundario del transformador T . Si este último es mayor que R no hace falta resistencia de protección y si es menor, basta colocar la diferencia de valores. Por ejemplo, si la resistencia calculada es de 25 Ohm y el transformador tiene en su bobinado secundario 15 Ohm, debemos colocar una resistencia de protección no menor de 10 Ohm.

Circuitos prácticos

Ya hemos mencionado, por lo menos, tres circuitos rectificadores en las páginas precedentes; hay más, y es cómodo disponer de una tabla o cuadro con los esquemas que se utilizan en la práctica, pues a veces se dispone de red trifásica de canalización. La figura 167 da ese cuadro

de circuitos. En cada esquema se indica una relación muy importante para la adquisición del rectificador, y es la que vincula la máxima tensión de pico inverso o inversa de cresta con la tensión alterna eficaz (la que marca un voltímetro). Por ejemplo, en un rectificador de media onda, a conectarse en 220 Volt, la máxima tensión de pico inverso que debe soportar el rectificador es 3 veces ese valor, o sea 660 Volt. En cada esquema se indica la relación aludida.

Veamos los esquemas: el de media onda nos es conocido y puede aplicarse directamente a la línea, si la tensión de continua requerida es del mismo valor. En realidad se obtiene siempre una tensión continua que es un 10 % mayor que la tensión de la línea, si de ella se mide el valor eficaz, o sea el que indica un voltímetro. El rectificador de onda completa necesita un transformador, y tiene la ventaja de que la continua obtenida es más pura, por las razones que explicamos anteriormente. Ese transformador debe tener una derivación central en su secundario y cada rama debe suministrar el valor requerido de la tensión alterna, o sea que el total del bobinado debe dar el doble de la tensión a rectificar.

El rectificador en puente es de onda completa y tiene la ventaja que no necesita derivación central en el bobinado, luego puede conectarse directamente a la línea si la tensión coincide. Debido a que tiene dos ramas útiles, los silicones se adquieren para la mitad de la corriente máxima de consumo, igual que en el caso del de onda completa.

El rectificador doblador de tensión se usa cuando se necesita una tensión mayor que la que da el transformador o la disponible en la línea de alterna. A la salida se tiene una tensión continua doble que la alterna aplicada, y todavía aumentada en un 10 % por el detalle de tomarse para la alterna generalmente el valor eficaz indicado por los voltímetros y no el valor de cresta; o sea el doble de la tensión alterna aplicada. Más detalles, en el capítulo 11.

Y llegamos ahora a los rectificadores trifásicos. El primero es el de media onda, y es apto para redes trifásicas con hilo neutro. Cuando no hay ese cuarto cable, debe usarse el tipo puente, que es de onda completa y que necesita el doble de silicones, o sea seis. La ventaja del montaje trifásico es que se suman las corrientes que da cada rectificador al circuito, de modo que si necesitamos a la salida, por ejemplo, 30 Amper, colocaremos silicones de 10 Amper solamente.

Diodos de germanio

Así como los silicones se emplean en rectificadores para alimentación, y por lo tanto trabajan siempre con tensiones alternas de baja frecuencia, y sus regímenes de corriente o de tensión son preferentemente elevados, los diodos de germanio, que son también diodos rectificadores, trabajan en otras condiciones, destacándose, en general, los valores menores de corriente y su aptitud para trabajar con corrientes alternas de frecuencia más altas. El aspecto físico de estos diodos puede verse en la figura 168, donde vemos arriba un corte del modelo europeo, en el centro el tipo americano con sus dos terminales en un mismo extremo, y en la parte inferior un modelo algo más antiguo de la Sylvania, también americano.

ficada. Como vemos, la nomenclatura americana usa los mismos símbolos para los diodos de germanio que para los silicones, pues empieza por 1N. Después aparecieron otros, como el

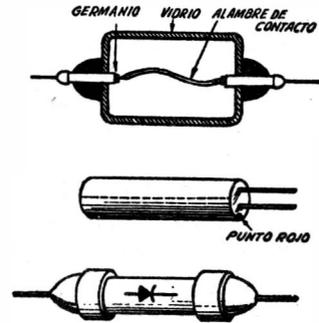


FIG. 168. — Aspecto de los diodos de germanio usados como detectores y rectificadores de alta frecuencia.

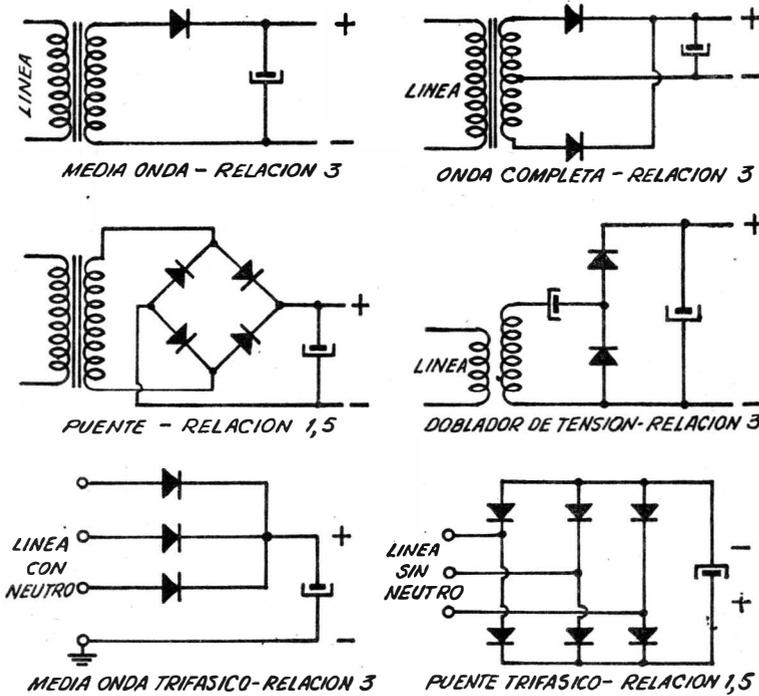


FIG. 167. — Circuitos prácticos de rectificadores. La relación indicada en cada esquema es la que hay entre la máxima tensión de pico inverso y la tensión alterna eficaz aplicada.

La identificación del cátodo y del ánodo se hace en la parte exterior, sea con un punto rojo que señala el terminal que corresponde al cátodo, por ser el terminal que corresponde al polo positivo en el lado de continua, o sea con el símbolo clásico del triangulito y la rayita, como se ve en el modelo que está debajo.

Entre los diodos de germanio, cuyo uso data de muchos años, el más popular en nuestro medio fue el 1N34 de la Sylvania, cuyos límites de utilización era 60 Volt de tensión inversa de pico y 50 miliamper de máxima corriente recti-

ficada. Como vemos, la nomenclatura americana usa los mismos símbolos para los diodos de germanio que para los silicones, pues empieza por 1N. Después aparecieron otros, como el 1N35, el 1N38, el 1N54, etc. Todos estos tipos, si bien siguen existiendo, van siendo reemplazados por los más modernos, como el 1N2326, el 1N3128, etc.

Dentro de los tipos de fabricación europea encontramos que sus características empiezan por las letras OA, y así encontramos al OA5, el OA7, con números crecientes hasta el OA202. Entre ellos tenemos tipos de baja corriente y alta frecuencia y los de alta corriente, como por ejemplo el OA70 que rectifica hasta 400 miliamper.

Día 9

Hata el momento nos hemos ocupado de cosas más o menos conocidas, ya que tanto las válvulas como los semiconductores y sus accesorios, incluidos los transformadores y aun los relevadores, son de aplicación corriente y se los encuentra en los receptores de radio y televisión, lo que los vulgariza más todavía. No obstante, su estudio era necesario para poder compenetrarse de sus posibilidades, de las cuales excluimos precisamente a esas dos grandes aplicaciones por haberlas tratado en otros libros de esta colección. Ahora comenzaremos a ocuparnos de otros dispositivos no tan comunes aunque su aspecto físico guarde similitud con los más conocidos, que tienen muchas aplicaciones en la electrónica; tal es el caso de los diodos gaseosos, los thyatrones, los diodos Zener y túnel, los tiristores, para mencionar solamente aquellos que ya han pasado a ser elementos de corriente aplicación.

En los últimos capítulos de este libro tendremos oportunidad de estudiar algunos circuitos en los que se emplean los dispositivos recién mencionados, considerándolos conocidos; en tal oportunidad, el lector puede volver hacia el presente texto para repasar las explicaciones a efectos de asimilar correctamente su principio de funcionamiento. Sentadas estas aclaraciones previas al desarrollo del tema, podemos poner manos a la obra.

SEMICONDUCTORES Y VALVULAS ESPECIALES

En el capítulo 3 nos hemos ocupado de las válvulas y entre ellas vimos los diodos y los triodos en los cuales había un elemento emisor o cátodo, una placa que atraía los electrones emitidos y en los segundos mencionados, un electrodo de control o grilla, para regular el flujo electrónico entre el cátodo y el ánodo. Si no había incandescencia en el cátodo no había emisión y la válvula no funcionaba; hasta aquí el principio elemental de las válvulas comunes.

Pero no es indispensable que haya un filamento emisor para que se produzca el citado funcionamiento; si en el interior de la ampolla que estaba al vacío colocamos un gas, y mediante algún procedimiento provocamos la ionización del mismo, es decir, lo volvemos conductor, se producirá el flujo electrónico entre el cátodo y el ánodo aunque el primero esté frío; precisamente, tal tipo de válvula se llama de *cátodo frío*. Veamos el principio de funcionamiento de tan interesante dispositivo.

Diodos gaseosos de cátodo frío

En la figura 169 aparecen los dos electrodos clásicos en los diodos, es decir el cátodo y la

placa o ánodo, sólo que en este caso ese cátodo no lleva en su interior un filamento calefactor, ya que no lo calentaremos para producir la emisión. Una fuente de tensión está conectada en el circuito externo, con su polo positivo en la placa y el negativo en el cátodo, cosa que también es normal y nos resulta conocida. Pero en el interior de la ampolla que contiene a esos electrodos hay dos cosas nuevas; la primera es un gas, como podría ser el vapor de mercurio u otro, que presente la particularidad de que sus moléculas pueden ser electrizadas, operación que se llama *ionización*; las moléculas así trata-

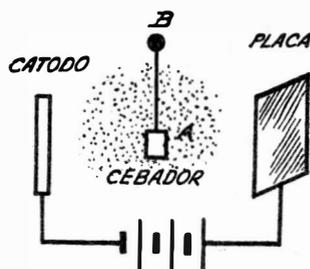


FIG. 169.— Principio de funcionamiento del diodo gaseoso.

das se denominan *iones*. Para ionizar un gas apto para tal proceso se puede proceder de distintas maneras, y según el tipo de gas; por ejemplo, en los tubos fluorescentes que se emplean para iluminación, el gas de mercurio que hay dentro del tubo se ioniza con un fuerte arco eléctrico producido por la reactancia. Otros gases se ionizan por la acción de un determinado potencial eléctrico, para aplicar el cual se coloca en el interior de la ampolla un electrodo o chapita *A*, que es el caso ilustrado en la figura 169; este electrodo llamado *cebador* se conecta a una fuente de tensión mediante su terminal externo *B*. Una vez que el cebador funciona, es decir que excita o ioniza el gas, el ambiente dentro de la ampolla se hace conductor, y aplicando una tensión entre placa y cátodo circulará corriente por el circuito tanto externo como interno. El problema subsistente es el cese de esa corriente, proceso que se llama *extinción*.

La extinción puede ser hecha reduciendo la tensión entre placa y cátodo, aplicando capacitores que eleven el potencial de cátodo y por ende reduzcan la tensión entre ambos electrodos, etc. Los circuitos que extinguen la corriente sin la aplicación de una tensión externa se llaman de *autoextinción*.

Veamos ahora un circuito de aplicación del diodo gaseoso, tal como el OA4 de la R.C.A., los Z70U, Z70W, Z803U, etc., de Philips, y

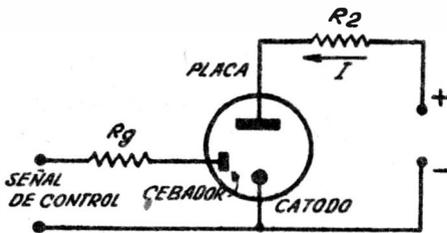


FIG. 170. — Circuito teórico del diodo gaseoso.

otros. La figura 170 nos muestra el montaje teórico, en el cual vemos al diodo con sus dos electrodos principales, placa y cátodo, y el electrodo auxiliar o cebador. En el circuito principal se aplica una fuente de tensión, pero no circulará corriente mientras no actúe el cebador; éste se conecta a una fuente de señal cualquiera, prevista para que llene su finalidad, pudiendo ser una señal de alta frecuencia, tal como se usa muchas veces. Los resistores que aparecen en el circuito tienen valores típicos para cada diodo. En el circuito de placa se intercala el elemento activo, que puede ser un relevador o relay que será accionado en cuanto pase co-

rriente, es decir, cuando el cebador produzca el funcionamiento, cosa que se comanda desde cualquier lugar.

Para demostrar una de las muchas aplicaciones prácticas del diodo gaseoso, veamos la figura 171, en la cual se trata de conectar el diodo a la línea eléctrica de canalización de

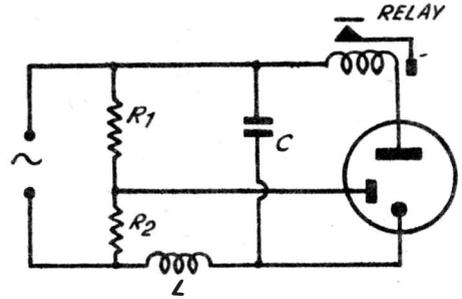


FIG. 171. — Circuito de aplicación de un diodo gaseoso.

alterna. Mientras no pase corriente por el diodo el relé no actúa. El cebador está conectado a un divisor de tensión para que no reciba toda la tensión de línea y hay un filtro formado por bobina y capacitor, que ya nos es conocido. Por la línea se envía una señal de R.F. que al llegar al cebador producirá la ionización del gas, en este caso del diodo OA4 que es el usado en este montaje, el diodo se abre y pasa corriente actuando el relé. Para abrirlo debe interrumpirse brevemente la tensión de línea, y por supuesto la señal de R.F., quedando el aparato listo para un nuevo funcionamiento cuando, conectada la línea, llegue por ella la señal de cebado.

Un detalle que es importante en estas válvulas es conocer el tiempo de *ionización*; en efecto, este fenómeno no es instantáneo y dura unos cuantos milisegundos, según el tipo de gas y de válvula. También interesa el tiempo de *deionización*, o sea lo que tarda la válvula para interrumpir el circuito cuando se aplica el procedimiento de extinción antes mencionado. Y, finalmente, hay un tercer tiempo, que se llama de *recuperación*, que es el lapso que necesita la válvula, particularmente su electrodo de cebado, para retomar su habilidad de disparar el circuito.

Válvulas thyatron

Fundamentalmente, la thyatron es un triodo, aunque también se construyen tetrodos, que contiene un gas en el interior de la ampolla, gas susceptible de ser ionizado; en cierto modo su

principio es similar al del diodo gaseoso que describimos antes, pero la existencia de una grilla permite una mejor graduación de la situación de cebado, tal como veremos. En las aplicaciones, la thyatrón tiene muchas más posibilidades que el diodo gaseoso, y sus usos se habían generalizado mucho en la electrónica industrial

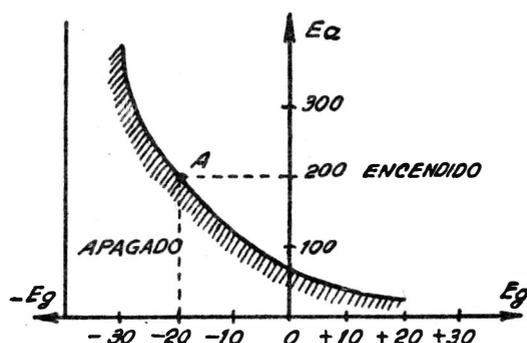


FIG. 172. — Principio de funcionamiento de un triodo gaseoso Thyatrón.

hasta el advenimiento de los semiconductores, una de cuyas variedades, el *tiristor* la reemplaza y ya sabemos que esa circunstancia hace desaparecer paulatinamente a cualquier elemento por útil que sea. La thyatrón se emplea como rectificador controlado, relevador electrónico, vibrador electrónico, es decir convertidores de continua en alterna, etc. Para muchas de esas aplicaciones se sigue usando tanto como antes, pero para algunas se utiliza en su lugar el tiristor, cuyo funcionamiento estudiaremos más adelante, en este mismo capítulo. De todos modos, la razón de la adopción en los equipos es la misma para uno que para otro elemento, de modo que las explicaciones servirán para todos los casos.

Para estudiar el comportamiento de la thyatrón acudiremos al gráfico de la figura 172, en cuyo eje vertical se miden las tensiones anódicas, es decir, la tensión entre placa y cátodo; en el eje horizontal tomamos las tensiones aplicadas a la grilla, las que pueden ser positivas o negativas. Hay una curva que separa el gráfico en dos zonas, llamadas de *apagado* y de *encendido*. Cualquiera de los puntos de esa curva indica una situación de cebado o arranque de la thyatrón, es decir, marca el comienzo de circulación de corriente de placa, la cual ya no será controlada por la grilla, aunque se altere su tensión. Por ejemplo, si mantenemos la grilla a una tensión negativa de -20 Volt respecto del cátodo, y regulamos la tensión de placa a

200 Volt, se produce el encendido de la válvula o comienzo de circulación de la corriente anódica. Desde ese momento, la thyatrón se comporta como un diodo gaseoso, es decir que para extinguir la corriente de placa hay que interrumpir la tensión anódica. El punto de la curva que hemos puesto como ejemplo es el *A*, y es fácil imaginar que la misma situación, con diferentes cifras, ocurre para otros puntos de la curva; para tensiones positivas de grilla se necesitan menores tensiones en placa para producir el *cebado*, que si se aplican tensiones negativas a esa grilla. El proceso de ionización del gas y la conversión del mismo en sustancia conductora cuando se produce el cebado es, en todo, similar a lo que explicamos para los diodos gaseosos.

Hay una diferencia importante entre los diodos gaseosos y la thyatrón, y es que la segunda tiene filamento; quiere decir que la emisión del cátodo ayuda a la ionización del gas, no necesiéndose tensiones de placa muy altas o, si lo son, puede trabajarse con tensiones negativas de grilla, tal como se vio, lo que permite reducir la corriente de placa. Esa corriente se reduce aún más si se agrega una grilla al triodo thyatrón, teniendo el tetrodo de igual propiedad. La figura 173 muestra los símbolos con que se representan en los circuitos a los triodos y te-

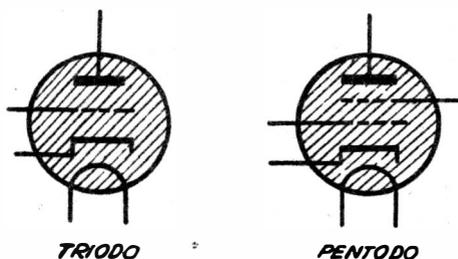


FIG. 173. — Representación en los circuitos de los triodos y tetrodos Thyatrón.

todos thyatrón, los que se diferencian de los utilizados para las válvulas comunes en que se hace un rayado dentro de la ampolla.

Veamos ahora una de las aplicaciones de las thyatrones; se trata de un convertidor de c.c. en c.a., también llamado *inversor* o *vibrador electrónico*. El circuito se muestra en la figura 174 y emplea dos thyatrones tipo PL21. Aplicando corriente continua de 220 Volt se obtienen 220 Volt de alterna, a 50 ciclos por segundo, con una potencia máxima de 30 Watt, en este modelo. Los elementos que aparecen en el circuito son: Un transformador T con tres bobinas

nados, uno para la continua, uno para el circuito de grilla de las thyatrones y el tercero para la salida de alterna; una bobina de choque L , que está insertada en el camino de la con-

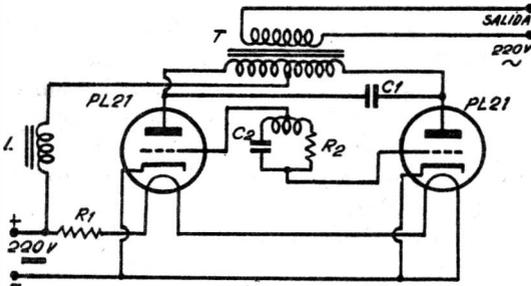


FIG. 174.— Aplicación de los thyatrones como convertidores de corriente continua en alterna.

tinua; un resistor R_1 que rebaja la tensión de 220 Volt de la línea al valor que necesitan los dos filamentos en serie de las thyatrones; como sus filamentos son de 6,3 V. 0,6 A., la tensión que se necesita es de 12,6 Volt, debiendo entonces ese resistor rebajar los 207,4 Volt restantes; en resumen, ese resistor debe tener 346 Ohm a una disipación de 150 Watt. Sigue el capacitor C_1 , llamado de conmutación, cuya misión es apagar una de las thyatrones cuando trabaja la otra; y, finalmente, el conjunto $C_2 R_2$ en grilla, que regula la frecuencia, pues controla mediante la carga y descarga de ese capacitor el número de veces por segundo que se produce el cebado o ignición de cada thyatrón.

Mencionados los elementos, veamos cómo funciona este interesante circuito. Para lograr una tensión alterna en el secundario superior del transformador T , debemos hacer circular la continua por cada mitad del primario en forma alternada, es decir que mientras circula por una mitad no lo hace por la otra; dicho de otra manera, cuando una de las thyatrones está encendida la otra debe permanecer apagada, e inmediatamente debe producirse la inversión o cambio, pasando a trabajar la que estaba apagada y a interrumpirse la que estaba encendida, y así siguiendo. Este proceso se realiza mediante el capacitor C_1 , y no es otra cosa que la auto-extinción de que hablamos al referirnos a los diodos gaseosos; cuando una thyatrón está encendida, pasa corriente por la mitad del bobinado que corresponde a su placa y se produce una caída de tensión en esa mitad de bobinado, que se transmite a la otra thyatrón a través de C_1 y se produce el apagado de la misma.

El encendido de las thyatrones no es simul-

táneo, por la acción del conjunto $C_2 R_2$, que se llama *defasador*. En efecto, la presencia de un capacitor que ocasiona un retardo de tiempo debido a lo que tarda en cargarse, hace que las dos grillas no produzcan el cebado al mismo tiempo, sino con una diferencia que se trata de regular para que sea de 0,02 de segundo; de este modo, la inversión de las mitades del transformador se produce con esa diferencia en el tiempo, que se traduce en una cantidad de inversiones de 50 por segundo, y ésta es la frecuencia de la tensión alternada obtenida. Para regular esa frecuencia el resistor R_2 suele hacerse variable.

Los componentes del circuito, para su realización práctica, tienen valores que aparecen en los manuales técnicos de las fábricas de los thyatrones, en este caso la Philips. Como en nuestro caso hemos utilizado el circuito para la explicación de una de las aplicaciones de las thyatrones, nos limitamos a mencionar la fuente de origen del mismo para ilustración del lector.

El diodo Zener

Cuando hablamos de los diodos en el capítulo 4, hemos hecho referencia a la corriente a través del diodo, a la cual denominamos corriente

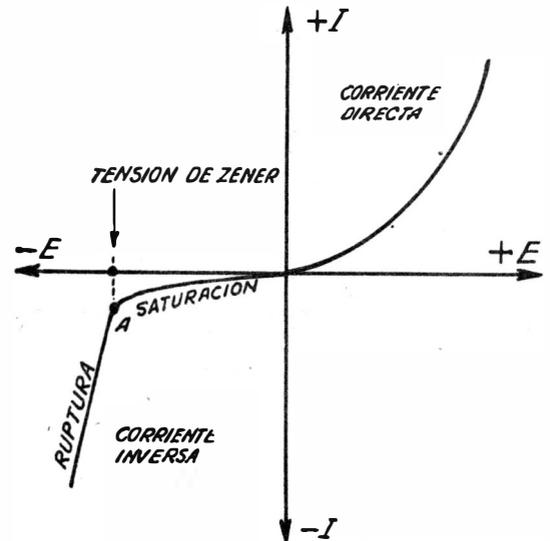


FIG. 175.— Indicación del punto de Zener en la curva de corriente del diodo.

directa, pero dijimos que circulaba también una pequeña corriente en sentido contrario, a la que llamamos *corriente inversa*, cuyo valor era pequeño. La figura 175 nos muestra la corriente

directa que crece con la tensión aplicada y la pequeña corriente inversa que tenía poca importancia. Pero hay un punto crítico, el *A*,

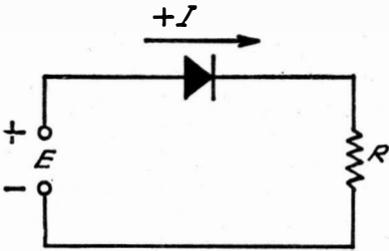


FIG. 176. — Aplicación de tensión directa a un diodo.

llamado punto de Zener, que ocurre para un cierto valor de la tensión inversa, en el cual se produce un fenómeno especial: todo pasa como si se rompiera la estructura atómica interna del diodo y la corriente inversa aumenta bruscamente; suele decirse que se produce una *avalancha* de electrones. Esta particularidad de los diodos ha hecho diseñar modelos especiales que soportan esa fuerte corriente inversa para aplicarlos a circuitos especiales; son los diodos Zener.

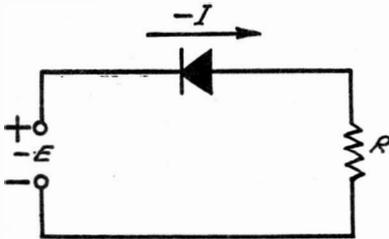


FIG. 177. — Aplicación de tensión inversa a un diodo.

Con ese repaso previo, pasemos a la figura 175. Si tomamos un diodo y le aplicamos una tensión directa, es decir la que corresponde al esquema de la figura 176, circulará por él la corriente directa *I*, limitada por el valor de la resistencia *R*, ya que en ese sentido de circulación la resistencia interna del diodo es muy pequeña. Claro está que no tiene objeto conectar un diodo para que deje pasar la corriente continua, que ya lo era antes de conectar dicho diodo. En el gráfico de la figura 175, esa corriente corresponde a la curva de la derecha, la que usa los ejes $+E$ y $+I$.

Pero ahora apliquemos una tensión negativa al diodo, es decir una tensión que tenga polaridad opuesta a la de la figura 176, o, lo que es lo mismo, demos vuelta al diodo y conectémoslo como vemos en la figura 177. Aparentemente

no circularía corriente, pero recordemos la corriente inversa, y entonces debemos admitir que circulará la corriente dada por la curva de la izquierda en la figura 175, o sea la que se mide por los ejes $-E$ y $-I$, ya que para el diodo es una corriente negativa.

Si la tensión aplicada es baja, menor que la que corresponde al valor de Zener, la corriente que pasa por el diodo invertido es muy pequeña, como se nota en el gráfico; pero si se aplica una tensión que supere ese valor crítico, la corriente crece bruscamente, se produce la *avalancha*, y a pequeños aumentos de la tensión corresponden grandes aumentos de la corriente. Esto último se nota por la inclinación abrupta de la curva después del punto crítico *A*.

Hasta aquí se comprende el comportamiento del diodo conectado al revés, pero parecería que debemos evitar que se sobrepase el punto crítico, porque si ocurre tendríamos una corriente inversa de valor elevado. En los diodos comunes encontramos recomendaciones de fábrica de no sobrepasar la máxima tensión negativa o inversa, porque esa corriente de Zener produce una fuerte elevación de temperatura, y el diodo se perjudica y hasta se inutiliza. Sin embargo, numerosos diodos soportan valores relativamente altos de corriente inversa (citemos los 1N1507 al 1N1512, en numeración corrida, como los más comunes) y, en consecuencia, pueden ser usados como diodos Zener.

Aplicación del diodo Zener

Ahora que hemos justificado un funcionamiento aparentemente irregular de un diodo, debemos explicar el objeto de conectarlo al revés de lo que hasta ahora considerábamos normal. Para ello observemos el circuito de la figura 178, similar al de la figura 177, pero con el agregado de una resistencia *R*, llamada de *regulación* y otra *R_c*, llamada de *carga*. Esta resistencia de carga es un valor ficticio, porque

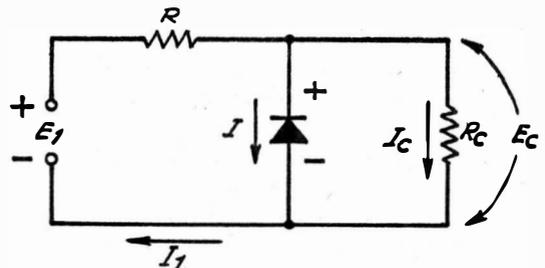


FIG. 178. — Principio de la regulación de tensión con un diodo Zener.

si nuestro circuito de carga tiene una tensión E_c y una corriente de consumo I_c , el cociente entre esa tensión y esa corriente nos da un valor de resistencia, que es R_c , y entonces la dibujamos en el circuito aunque no exista físicamente. Es como si el aparato de consumo fuese una caja cerrada, y sabemos que aplicando E_c Volt consume I_c Amper; podemos decir que dentro de la caja hay una resistencia R_c que vale tantos Ohm como el cociente entre E_c e I_c .

Analicemos el funcionamiento del circuito de la figura 178. Necesitamos en la carga una tensión E_c que sea constante, que no varíe. La tensión disponible en la fuente es E_1 y no es fija, sino que experimenta variaciones debido a cualquier razón que no nos interesa. Todo lo que debemos fijar es que el diodo utilizado debe tener una tensión de Zener menor que E_1 para que funcione como diodo Zener.

Supongamos primero que E_1 aumenta de un valor E_1 hasta un valor E_2 como lo mostramos en la figura 179, que toma parte de la 175, pero en la zona que nos interesa. La corriente a través del diodo aumenta de un valor I_1 a un valor I_2 ; ese aumento provocará una caída de tensión mayor en la resistencia R , y si ese valor de R se ha calculado bien, la tensión en la carga E_c puede permanecer invariable.

Si en lugar de un aumento, lo que ocurre es una disminución en la tensión de la fuente que de un valor E_2 baja a un valor E_1 , la corriente a través del diodo baja de un valor I_2 a un valor I_1 . La caída de tensión en la resistencia R se reducirá, y en la carga podremos tener una tensión E_c que no se reduzca.

En resumen, el diodo Zener está trabajando como *regulador de tensión*, con ayuda de la resistencia R . ¿Cuáles son las condiciones para que se comporte como tal? Hay tres condiciones, que fijaremos de inmediato.

La primera se refiere a la tensión que puede regular. La zona de trabajo está limitada por los puntos A y B en la figura 179, y ellos se fijan para dos tensiones y dos corrientes; las corrientes, y ésta sería la segunda condición, son: I_1 , valor límite inferior, es la corriente crítica para la cual el diodo rompe la estructura y se produce la avalancha. Ese punto, corriente mínima, también fija la tensión mínima E_1 , tensión de Zener para ese diodo. El otro punto es el B , y está dado por la corriente I_2 , máxima corriente inversa a través del diodo, compatible con la elevación de temperatura que produce transformación irreversible, es decir que rompe la estructura cristalina del semiconductor. El

punto B queda también fijado por E_2 máxima tensión que es posible regular.

Quiere decir que si conocemos las fluctuaciones de la tensión en la fuente, conoceremos los dos límites de trabajo necesarios, y deberemos elegir un diodo cuya zona de trabajo no supere esos dos límites de tensión. En los manuales de características de diodos hay datos y curvas para

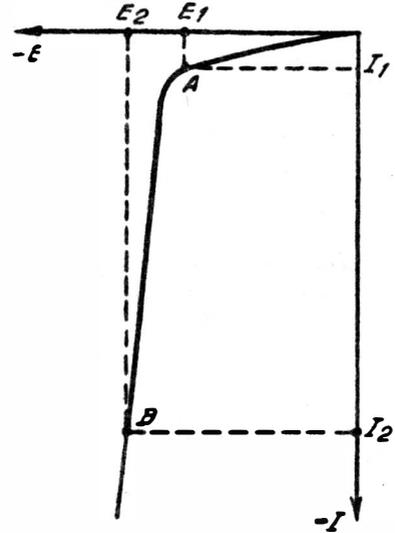


FIG. 179. — Limitaciones de la tensión de trabajo en el diodo Zener.

poder elegir convenientemente el diodo que haremos trabajar como diodo Zener, y la información de si ello es posible.

La tercera condición se refiere a la resistencia R . Su valor está vinculado a la curva de la figura 179. Para calcularlo debemos conocer:

E_2 = tensión máxima de la fuente (Volt)
 E_1 = tensión de Zener del diodo elegido (Volt)

I_m = corriente mínima para efecto Zener (Amper)

I_c = corriente de carga (Amper)

Y hacer la siguiente consideración: por la resistencia R pasan las dos corrientes, luego debemos sumar los dos valores dados. La tensión de regulación es la diferencia de los dos valores dados de tensión, luego debemos restarlos. El valor de R sale de dividir la diferencia entre las dos tensiones por la suma entre las dos corrientes.

Un ejemplo pondrá las cosas más claras. Supongamos que la fuente sea una batería de acumuladores, cuyo valor más alto es de 13.6

Volt (valor normal 12 Volt). Diodo Zener elegido 1N1511, con tensión de Zener 8,2 Volt. La corriente máxima de Zener de este diodo es 90 mA. Como corriente mínima se toma habitualmente el 20 %, porque no conviene tomar justo el mínimo que da el punto crítico. Luego I_m es el 20 % de 90 mA, o sea 18 mA, es decir 0,018 A. La corriente de consumo debe ser un dato, y supongamos que sea de 0,012 A. Pasamos a calcular R . La diferencia de tensiones da:

$$13,6 - 8,2 = 5,4 \text{ V.}$$

y la suma de corrientes nos da:

$$0,018 + 0,012 = 0,030 \text{ A.}$$

luego el valor de la resistencia R de regulación resulta, dividiendo:

$$R = \frac{5,4}{0,03} = 180 \text{ Ohm}$$

Y queda resuelto el problema. Como se ve, no hay ninguna complicación, como no sea la de elegir convenientemente el diodo en el manual de fábrica.

Si la tensión presente en el circuito supera los valores fijados para los diodos Zener disponibles, puede acudirse a conectar más de un diodo en serie, tal como se ve en la figura 180. Se han

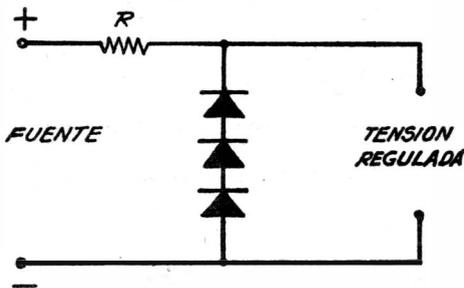


FIG. 180.— Con diodos en serie se pueden regular tensiones más elevadas.

colocado tres, suponiendo que de esa manera se alcanzan las cifras en juego, pero pueden ser necesarios más. Se construyen unidades reguladoras de tensión, como el 1N430, por ejemplo, que incluye tres diodos Zener en su interior.

En capítulos venideros tendremos oportunidad de conocer otras aplicaciones de los diodos Zener, y en cada caso se determinarán las características necesarias.

El diodo túnel

Veamos ahora un interesante diodo semiconductor, cuyo diseño se debe al físico japonés Esaki, quien los ideó en 1957. Su funcionamiento se aparta del de los diodos comunes, en razón de haber aumentado el grado de impure-

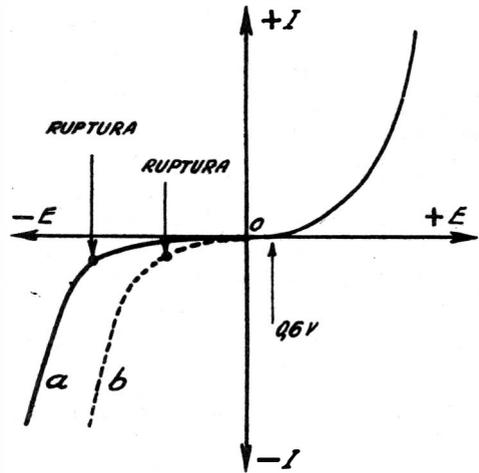


FIG. 181.— Efecto del aumento de impurezas en el punto crítico de un diodo.

zas en la masa cristalina, hasta alcanzar una cantidad de 60 mil millones de átomos de impurezas por centímetro cúbico de silicio, en el caso de usarse este material. En este estado cristalino que no llega a ser conductor puro, suele llamarse *semimetálico*. Obsérvese que el silicio es aislador; con cierto grado de impurezas se transforma en semiconductor, y aumentando las mismas llegamos al semimetal. Podemos hacer cristales de silicio semimetálico tipo N y tipo P , igual que teníamos para los semiconductores, y podemos también hacer una juntura PN .

Esto se traduce en un hecho físico muy importante. Una cierta cantidad de electrones de un lado de la barrera, pueden pasar al otro lado sin alterar su nivel de energía, como si existiera un conducto de fácil circulación, conducto ficticio, claro está, pero que se ha denominado *túnel*, y de ahí el nombre de estos diodos. Para ver mejor ese paso de corriente a través de la juntura sin necesidad de energía, tomemos la figura 181, que representa la característica de corrientes a través del diodo.

Si damos al diodo polarización inversa, es decir negativa, tenemos la corriente inversa, y sabemos que es muy pequeña mientras no se llegue a la tensión de ruptura o de Zener; pasado ese valor se produce la avalancha, que

hemos estudiado en detalle para los diodos Zener. Y bien, si aumentamos el grado de impurezas en un diodo común, la ruptura se produce para menores valores de la tensión negativa, curva *b* en lugar de *a*. Aumentando más

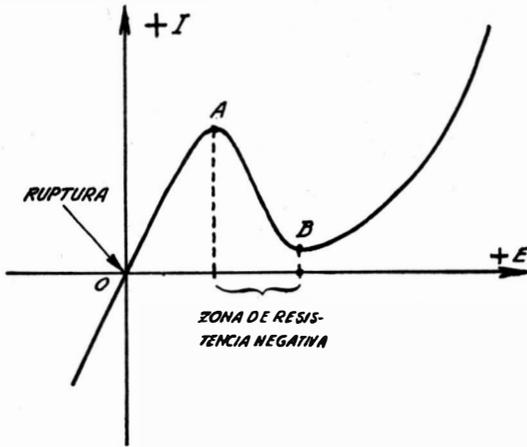


FIG. 182.— Característica de corriente en un diodo túnel.

el grado de impurezas, llegamos al estado semimetalico, y la ruptura se produce con tensiones muy bajas, aun nulas, punto 0.

Veamos ahora lo que ocurre con tensiones positivas, o sea conectando al diodo común con su polaridad directa, dirección de fácil conducción. La curva es la de la derecha de la figura 181. Esa curva no parte del punto 0, pues para vencer la barrera de potencial de la juntura hay que aplicar cierto potencial básico. En los diodos comunes ese potencial básico es del orden de 0,6 Volt. Pero en los diodos túnel las cosas ocurren de muy diferente manera.

La figura 182 nos da la curva característica de un diodo túnel. La zona de tensiones negativas tiene su curva que parte del centro 0, porque, como dijimos antes, la tensión de ruptura no es necesaria, ya que los electrones pueden saltar la barrera sin absorber energía. Para tensiones positivas ocurre lo mismo, de manera que con tensiones muy bajas, partiendo de cero, ya tenemos corriente, y así ocurre hasta el punto A; hasta allí, la tensión ha ido aumentando y la corriente también, y en forma lineal. El diodo túnel se comporta así como una resistencia común, pues a mayor tensión mayor corriente, y proporcionalmente.

Veamos lo que ocurre para ese punto A que, como vemos, es importante. La curva cambia de dirección, haciéndose descendente en lugar de ascendente. Esto se traduce en que al au-

mentar la tensión aplicada al diodo, la corriente, en lugar de seguir aumentando, disminuye, y eso ocurre hasta que el potencial aplicado a la barrera supera el valor necesario para impulsar los electrones a través de la misma, como en un diodo común. El punto B es el comienzo de la curva de conducción positiva o de corriente directa, y desde ahí la curva es igual a la de la derecha en la figura 181. El diodo túnel se ha convertido en un diodo común.

La zona de la curva comprendida entre A y B es una zona donde al aumentar la tensión se produce disminución de la corriente, como si se tratara de un circuito con resistencia negativa. Desde el punto de vista eléctrico, la resistencia negativa significa que al disminuir la tensión aumenta la corriente, o sea que el circuito, en lugar de tener pérdidas tiene un excedente de energía. De inmediato pensamos en la posibilidad de hacer un oscilador con un diodo túnel, porque en los circuitos resonantes la oscilación no se mantenía por las pérdidas, y había que realimentar. Con un diodo túnel, usado en la zona de resistencia negativa, no hará falta compensar la pérdida de energía, ya que el mismo diodo suministra un excedente. Como vemos, estos diodos especiales tienen interesantes aplicaciones.

En la figura 183 podemos ver el aspecto constructivo de un diodo túnel de la R.C.A.; adquiere la forma de un cilindro de unos 2 a

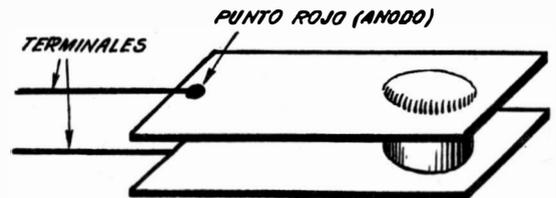


FIG. 183.— Aspecto constructivo de un diodo túnel de la R. C. A.

3 mm de diámetro, colocado entre dos chapas que sirven de disipadores térmicos, y de las que salen los dos alambres terminales. En una de las chapas hay un punto rojo que marca el ánodo, o sea el terminal que debe conectarse al polo positivo de la pila, en los circuitos de aplicación. En los símbolos usuales, el ánodo es el triangulito, y el cátodo, la rayita apoyada en el vértice de aquél.

Aplicaciones del diodo túnel

Las características funcionales del diodo túnel lo hacen apto para muchas aplicaciones prácti-

cas. Veamos, en primer término, un oscilador de baja frecuencia, en la figura 184. Una pila se encarga de dar la polaridad negativa al cátodo,

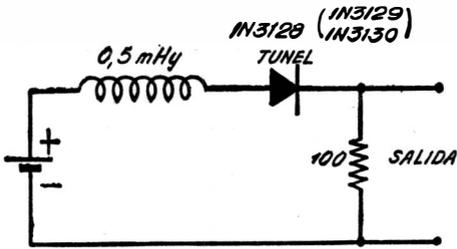


FIG. 184. — Circuito de un oscilador de baja frecuencia con diodo túnel.

y la bobina completa el circuito oscilante, pues la amortiguación del circuito, fenómeno que fue estudiado en el capítulo 5, es compensada por el diodo túnel, al hacerlo trabajar en la zona de resistencia negativa de su característica. La onda de salida de este simple oscilador tiene forma diente de sierra, y su frecuencia está dada por la inductancia del bobinado y la capacidad del diodo. Se pueden emplear cualquiera de los diodos túnel de la R.C.A. tipos 1N3128, 3129 ó 3130.

Veamos ahora el diodo túnel en una función de oscilador de alta frecuencia, circuito de la figura 185. El diodo se conecta en serie con la bobina L , que es la clásica bobina tanque del circuito resonante. La inductancia de esta bobina se calcula según la frecuencia de la señal deseada; por ejemplo, para 20 Mc/s, tal bobina tendrá 8 vueltas, de alambre de un milímetro de diámetro, hechas sobre una forma de 6 mm de diámetro, ocupando 15 mm de longitud. Estando en funcionamiento, la bobina absorbe energía durante los períodos de gran conducción del diodo, y la devuelve al circuito cuando

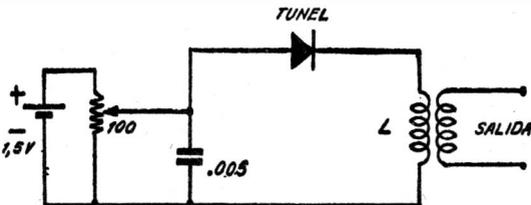


FIG. 185. — Circuito de un oscilador de alta frecuencia con diodo túnel.

esa conducción se reduce; de este modo se mantiene la oscilación, y en el secundario se tiene una señal permanente, de la frecuencia indicada. Como la capacidad de la juntura en el diodo

túnel tiene valores comprendidos entre 50 y 100 micro-microfarad, siendo siempre un dato de fábrica, podemos hacer los cálculos de resonancia con el gráfico de la figura 107. Para llevar el diodo al punto correcto de trabajo, la pila tiene una resistencia variable de 100 Ohm.

Otra aplicación práctica del diodo túnel es como amplificador de alta frecuencia, con un circuito como el que ilustra la figura 186. Vemos allí que el circuito sintonizado está formado por la bobina L , ajustable mediante un núcleo de hierro deslizante, y el conjunto de dos capacidades en paralelo; una es la capacidad propia de la juntura del diodo túnel, y la otra es un capacitor variable de 30 micro-microfarad. La batería es, en este caso, de 6 Volt, pero puede ajustarse el punto de trabajo mediante una resistencia variable. El bobinado CH es un choque de R. F., o sea de alta inductancia, que impide que la señal se derive hacia masa a

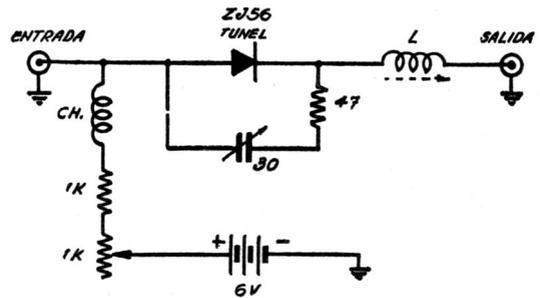


FIG. 186. — Amplificador de alta frecuencia con diodo túnel.

través de la batería. El conjunto fue diseñado para una frecuencia de la señal de 30 Mc/s.

Para el ajuste del circuito, la inductancia L se lleva a un valor mínimo, desplazando el núcleo de la bobina L hacia afuera; el capacitor variable se ajusta para lograr un máximo de amplificación; luego se ajusta el núcleo de la bobina para aumentar esa amplificación hasta un máximo, justamente un poco menos del punto en que el conjunto empieza a oscilar. Claro, el diodo túnel es un buen oscilador, y en la función de amplificador tiende a realimentarse en exceso, de modo que siempre que se lo tenga en funciones amplificadoras habrá que cuidar que no llegue a oscilar.

Hay otras aplicaciones de los diodos túnel, por ejemplo en las modernas computadoras electrónicas; para todos esos fines se fabrican cada vez más tipos de estos diodos, con frecuencias de trabajo que llegan ya en la actualidad a los millares de Megaciclos por segundo,

cifras no alcanzadas por los transistores. No es difícil augurarles a estos minúsculos dispositivos un futuro promisor.

Los tiristores

Las posibilidades de las válvulas thyatrón y el desarrollo alcanzado en la actualidad por los semiconductores han hecho combinar ambos elementos para dar por resultado el *thyatrón* sólido o *tiristor*, que es un diodo de silicio al cual se le ha agregado un electrodo de control (*gate*), aparte de ciertas diferencias constructivas que analizaremos. Las ventajas de los semiconductores sobre las válvulas, las principales de las cuales son la carencia del filamento y la mayor duración, pueden extenderse al caso del tiristor si se lo compara con la thyatrón, y ello explica que en numerosas aplicaciones el primero haya reemplazado prácticamente a la segunda. Actualmente ya se los encuentra en modelos para manejar hasta 70 Amper bajo tensiones de hasta 600 Volt, y esas cifras son elocuentes de por sí.

Básicamente, el tiristor es un diodo que conduce corriente o no la conduce; ello depende de si se aplica la tensión disparadora al electrodo de control, pero una vez que se hizo eso, la conducción no se interrumpe sola, sino que hay que producir la extinción del arco. Si releemos lo que se explicó para las thyatrónes, nos servirá para comprender el funcionamiento de los tiristores: la diferencia es de orden físico, pues en la thyatrón el estado de ignición se produce por ionización del gas contenido en la ampolla, mientras que en el tiristor es por llegarse al estado de avalancha, cosa que hemos mencionado al hablar del diodo Zener.

Con lo dicho podemos deducir de inmediato que siendo el tiristor un elemento sólido, es prácticamente indestructible, mientras que la thyatrón con su filamento débil en estado de incandescencia y su ampolla de vidrio, no tiene esa ventaja. Además presenta otras particularidades, como son la menor resistencia interna, unas 10 a 20 veces menor, que representa una valiosa propiedad para trabajar con bajas tensiones; la puesta en funcionamiento es instantánea, ya que no hay lapso de calentamiento del filamento; el tiempo de recuperación, o sea el intervalo que necesita para el nuevo encendido después de la extinción, es unas 50 veces menor que en la thyatrón, lo que permite su utilización en circuitos de R. F. Como se ve, no hace falta abundar en mayores razones para destacar las ventajas del tiristor.

Principio de funcionamiento

Para explicar el modo de funcionar del tiristor conviene que tengamos una idea de sus detalles constructivos, cosa que podemos ver en la figura 187. Se compone de un disco de silicio al cual se le han formado cuatro capas o zonas semiconductoras P y N dispuestas en forma alternada; en sus caras exteriores se aplican dos placas de molibdeno que constituyen los

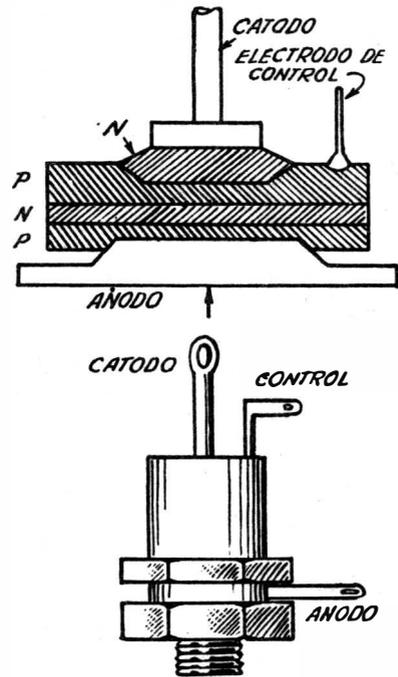


FIG. 187. — Detalles constructivos y aspecto externo del tiristor.

electrodos exteriores ánodo y cátodo, siendo de mayor tamaño la primera y estando recubierta de cobre para mejorar la irradiación del calor al exterior.

Falta el electrodo de control, y el mismo corresponde a una de las zonas, la primera de tipo P que aparece desde el cátodo hacia abajo, a la cual se le fija un electrodo para la conexión externa. En la misma figura puede verse en la parte inferior el aspecto externo de uno de los tipos BTY de FAPESA, que trabaja con corrientes de hasta 50 Amper.

Pasando ya al funcionamiento, nos ayudaremos con la figura 188 que muestra dos conjuntos en la parte superior con sus principios constructivos en la parte inferior. El conjunto de la figura 188 (a) es una combinación de dos transistores y el de la 188 (b) es un tiristor, de

modo que si comprendemos el funcionamiento del primero nos resultará evidente el del segundo. Veamos.

El transistor T_1 no puede conducir corriente de B hacia A por estar bloqueada su juntura emisora; el T_2 tampoco conduce por tener la base en conexión abierta, sin polarización. Si aplicamos un impulso de tensión positiva a la base de T_1 , éste comienza a conducir, la base de T_2 adquiere polaridad positiva y ese transistor también conducirá; la corriente de colector

Pasemos ahora a la forma de conectar un tiristor en un circuito, el que será por el momento teórico, para ver luego los esquemas reales de utilización. La figura 189 nos muestra ese circuito teórico, en el cual notamos dos ramas netamente definidas, la de la derecha y la de la izquierda; la rama de la derecha es el circuito principal, o circuito ánodo-cátodo, que incluye la fuente de alimentación y la carga, esta última representada por el resistor R_2 . La rama de la izquierda es el circuito de control,

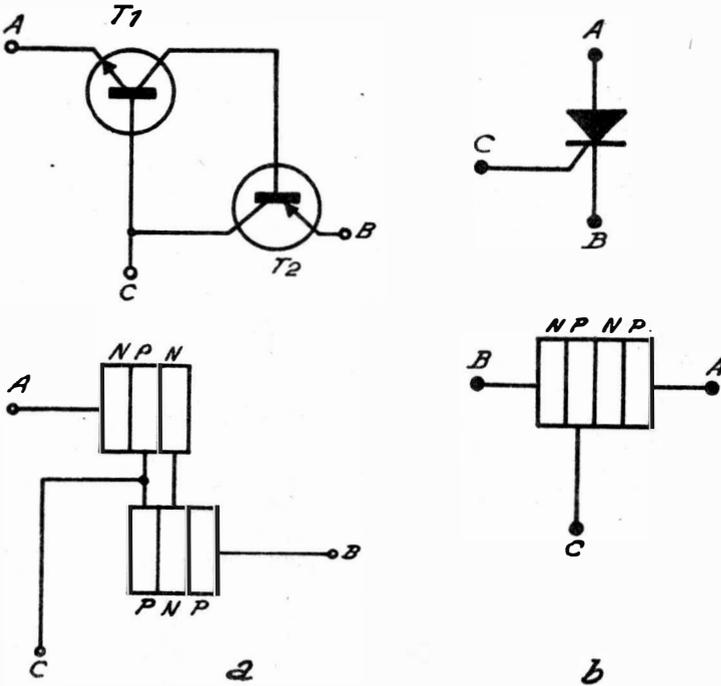


FIG. 188. — Principio del tiristor por analogía con dos transistores combinados.

de este segundo transistor mantendrá la corriente de base del primero, de modo que el estado de conducción no cesa después de haber desaparecido el impulso disparador. Recordemos el funcionamiento de la thyatron y veremos que es similar. Ahora, observando el conjunto inferior de la figura 188 (b), que corresponde al tiristor, comprobaremos que la situación de las junturas es enteramente idéntica, de modo que el tiristor funciona como un diodo que no conduce corriente hasta que aplicamos el impulso disparador, pero una vez hecho eso la corriente continúa circulando aunque suprimamos dicho impulso. Es decir que un tiristor es asimilable a un par de transistores complementarios (uno NPN y otro PNP) que presenta al exterior solamente tres electrodos: el ánodo, el cátodo y el electrodo de control.

y tiene otra fuente de tensión, el resistor limitador, y se conecta al electrodo de control del tiristor. Cuando se aplique tensión a ese electrodo se producirá el encendido o disparo y circulará corriente por el circuito principal o de carga, la cual no podrá ya ser interrumpida si no se corta la alimentación anódica. Cada tiristor viene con las especificaciones de fábrica acerca de los regímenes máximos de tensión y corriente anódicas y la cifra de tensión en el electrodo de control que produce el encendido.

Cabe señalar que el encendido mencionado puede producirse con tres clases de tensión aplicada al electrodo de control: tensión continua, tensión alterna y pulsos; estos últimos son impulsos de corta duración con una polaridad definida. Esto debe tenerse en cuenta para los circuitos de utilización, porque a veces la

tensión de control se toma del mismo circuito de carga, mediante un divisor de tensión, si sólo hace falta reducir la amplitud, mediante un rectificador, si la carga es alterna y el control debe hacerse con continua, o mediante pulsos externos que provienen de otra parte.

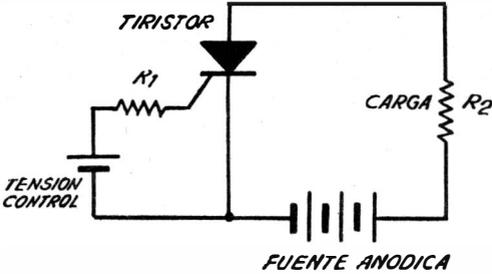


FIG. 189. — Circuito básico de utilización del tiristor.

Extinción o apagado

Sabemos que una vez que se ha producido el arranque, encendido o disparo del tiristor por aplicación de señal en el electrodo de control, la corriente no se interrumpe aunque cese esa señal de control; en consecuencia debe poderse interrumpir el circuito cuando ello sea necesario. Analicemos los diferentes sistemas de apagado que se utilizan, los que son básicamente tres:

- 1) Interrupción de la tensión anódica;
- 2) Reducción de la corriente anódica;
- 3) Inversión de polaridad del tiristor.

El primer sistema es el más simple y evidente, y está representado en la figura 190. Si el tiristor está funcionando, o sea que circula co-

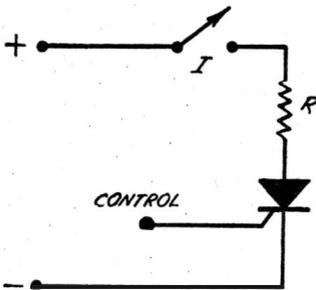


FIG. 190. — Apagado del tiristor cortando la alimentación anódica.

rriente a través de la carga desde el ánodo al cátodo y cerrándose el circuito con la fuente de alimentación, basta cortar esa alimentación

para que el circuito se interrumpa; el interruptor *I* se encarga de cortar la corriente. Para restituir el funcionamiento, sabemos que debemos producir nuevamente el disparo, pues no basta que cerremos nuevamente el interruptor *I*, como se haría con un diodo rectificador común. Entonces aplicaríamos la señal de control al electrodo de arranque, en la forma conocida.

El segundo sistema está ilustrado en la figura 191; si mediante un pulsador ponemos instantáneamente en corto al tiristor, la corriente a través del mismo se reducirá por debajo de la cifra de mantenimiento especificada por la fábrica, ya que en este caso la llevamos a cero,

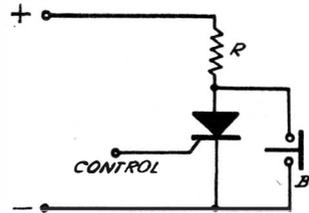


FIG. 191. — Apagado por reducción de la corriente anódica.

y el funcionamiento se interrumpirá. No se necesita poner en corto franco, pues si conectamos en paralelo un resistor de valor bajo, como para que la corriente ánodo-cátodo se reduzca

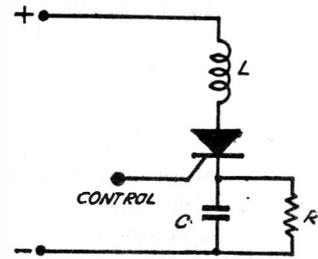


FIG. 192. — Apagado automático o autoextinción del tiristor mediante un capacitor.

por debajo de la cifra antes mencionada, también se producirá el apagado; para restituir el funcionamiento habrá que aplicar la señal de control nuevamente, como es sabido.

El tercer sistema se ilustra en la figura 192. Al funcionar el tiristor, el capacitor *C* se carga al doble de la tensión aplicada debido al efecto de autoinducción de la bobina *L*, con lo cual la tensión instantánea del cátodo supera a la del ánodo, es decir que todo pasa como si se invirtiera la polaridad del tiristor y se interrump-

pe el funcionamiento. El resistor R está para descargar al capacitor C y dejar el circuito en condiciones de volver a funcionar.

Cabe destacar que si se aplica a un tiristor una tensión alterna, se producen las tres situaciones correspondientes a los sistemas de extinción y el apagado es automático. En efecto, cuando el valor instantáneo de la tensión alterna pasa por cero, es como si se interrumpiera en ese instante la alimentación; además, la corriente circulante, que será alterna, también pasa por valores nulos durante el ciclo, y se da el segundo sistema de apagado; y por último, la inversión de polaridad también es inherente a la tensión alterna. De modo que en circuitos de corriente alternada el problema de la extinción no existe pues ella es automática, y también debe serlo la aplicación de impulsos de encendido para que el funcionamiento continúe. En aplicaciones con corriente continua debe proveerse de algunos de los sistemas de apagado que se han descrito o sus variantes que se verán en los circuitos de aplicación.

Rectificación controlada

Una de las aplicaciones más interesantes de los tiristores, que ya se usaba con las thyatrones, es la de los rectificadores controlados, es decir aquellos en los que se puede gobernar en forma manual o automática la tensión o la corriente de salida. Como es fácil intuir, este sistema permite diseñar rectificadores cuya tensión de salida sea constante a pesar de las variaciones del consumo o de la tensión alterna aplicada,

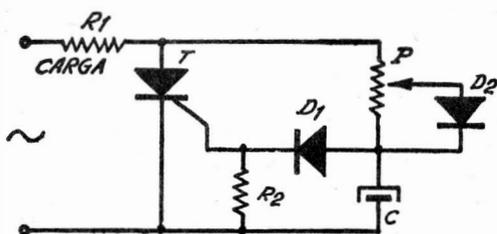


FIG. 193. — Circuito básico de un rectificador controlado.

cosa que se conoce con el nombre de *fuentes estabilizadas*.

Para explicar el funcionamiento recurriremos al circuito de un rectificador de media onda que se ve en la figura 193; allí vemos los bornes de entrada a los que se aplica la tensión alterna a rectificar, la carga R_1 que representa el cir-

cuito de consumo de corriente continua, y el tiristor T que completa el conjunto del circuito o rama principal. El circuito secundario o de control tiene el potenciómetro P , los diodos D_1

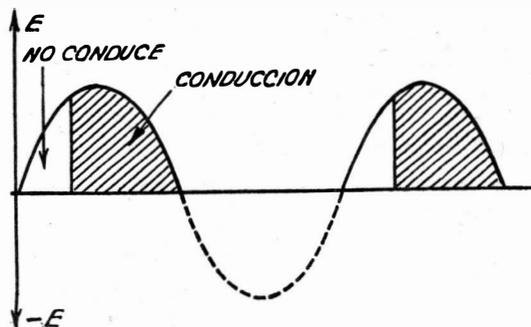


FIG. 194. — La tensión sobre la carga se regula por reducción de la onda rectificada.

y D_2 , el capacitor C y el resistor R_2 . Veamos el funcionamiento:

Durante el semiciclo negativo de la tensión alterna aplicada, los diodos están bloqueados, el capacitor se carga y el resistor R_2 hace que el electrodo de control esté al mismo potencial que el cátodo; el tiristor no conduce, cosa que por otra parte ocurriría con cualquier diodo común por estar el ánodo a potencial negativo.

Al llegar el semiciclo positivo, el diodo D_2 trabaja y pone en corto a la porción inferior de P , con lo que el capacitor C se descarga sobre la porción superior de P hasta que llegado a un valor de equilibrio el diodo D_1 comienza a conducir, queda aplicada al electrodo de control una tensión y el tiristor enciende o sea comienza a trabajar. Es fácil comprender que la posición del cursor del potenciómetro influye sobre la proporción del tiempo de encendido y apagado durante ese medio ciclo positivo de la tensión alterna. Si hacemos el gráfico de la rectificación que vimos tantas veces en el capítulo anterior, tendríamos el que muestra la figura 194, donde las zonas rayadas marcan los intervalos de conducción del tiristor y las zonas blancas son los lapsos que transcurren hasta que se produce el disparo en cada semiciclo positivo. De este modo, la corriente circulante en la carga será el valor medio para todo el ciclo y ello dependerá mucho de la mayor o menor superficie de las zonas rayadas. Recuérdese que en los rectificadores comunes se aprovechaba todo el semiciclo y aquí aprovechamos de él una parte que puede llegar a ser completo a volun-

tad, con sólo correr el cursor de un potenciómetro. Es decir que nuestro rectificador entrega sobre la carga una tensión o , consecuentemente, una corriente que dependen de la posición que demos al cursor del potenciómetro P .

De lo que antecede surge que si se diseña un circuito en el cual el potenciómetro P se reemplaza por un conjunto que suministre una relación de resistencias que dependa en forma automática de la tensión sobre la carga, de tal modo que al disminuir ella aumente las zonas rayadas de la figura 194 y al aumentar esa tensión se reduzcan las mismas, se logrará una fuente cuya tensión de salida sea constante e independiente de las variaciones que pueda haber por fluctuaciones de la tensión de línea o del consumo. En otras palabras, tendríamos una fuente estabilizada de tensión. Las fábricas de tiristores suministran los circuitos completos para cada tipo, y el mismo sistema se tendría para el caso de las thyatrones que sirven para la finalidad señalada.

EL TRANSISTOR MONOJUNTURA

Este semiconductor, al que suele denominarse de unijuntura por tomar el prefijo *uni* del inglés, es un intermedio entre un diodo y un triodo; es

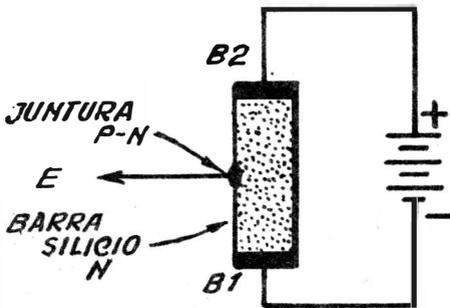


FIG. 195. — Disposición constructiva del transistor monojuntura, también llamado unijuntura.

un diodo, desde el momento que tiene una sola juntura y es un triodo desde que tiene un elemento de control. La figura 195 nos muestra el aspecto constructivo, y vemos que es una barra de silicio tipo N en cuya parte central tiene una juntura P-N que corresponde al emisor; en ambos extremos hay dos contactos, a los que se llaman bases B_1 y B_2 . En condiciones normales de temperatura, la resistencia entre ambas bases es del orden de los 5.000 a 10.000 Ohm.

Si se unen entre sí las dos bases, el elemento se comporta como un diodo común, en el cual

el emisor es uno de los terminales y el puente entre las bases es el otro terminal. Pero si en lugar de unir las bases aplicamos una diferencia

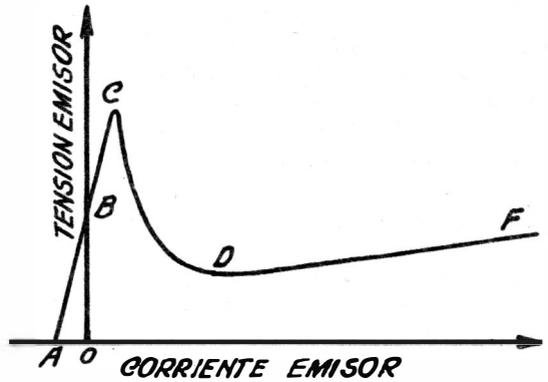


FIG. 196. — Característica de funcionamiento del transistor monojuntura.

de potencial entre ellas, como lo muestra la figura 195, se produce una caída de tensión uniforme en la barra de silicio y en el punto donde se encuentra el emisor habrá una tensión igual a la mitad de la de la batería.

Para comprender el funcionamiento supongamos que la batería sea de 6 Volt; en tal caso la tensión en el emisor será de 3 Volt contra la base $N^{\circ} 1$. Si aplicamos una tensión externa entre el emisor y la base B_1 , ocurrirá que, mientras esa tensión externa sea menor que 3 Volt el emisor tendrá polaridad inversa y fluirá una muy pequeña corriente inversa, tal como lo vemos en la figura 196, zona AB. Pero en cuanto la tensión externa supera esa cifra de 3 Volt se produce la polarización directa y fluye corriente directa a través del emisor. Si la tensión sigue aumentando, se alcanza el punto de cresta C y entonces la corriente de emisor aumenta repen-

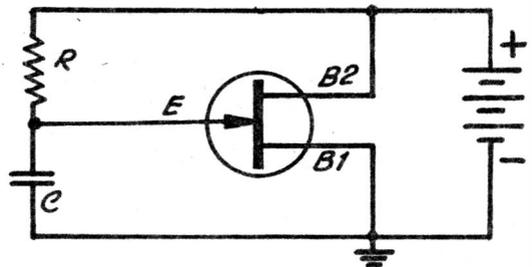


FIG. 197. — Disposición esquemática para conseguir ondas diente de sierra con un transistor monojuntura.

tinamente como si el transistor alcanzara la situación de *disparo*. A partir de ese momento se distinguen dos zonas en la curva: la CD, llamada

zona de resistencia negativa, porque la corriente aumenta aunque disminuyamos la tensión externa, y la *DF*, llamada zona de saturación, donde la corriente aumenta si aumenta también la tensión externa; es la zona de resistencia positiva. Para los lectores que conocen el funcionamiento de las válvulas electrónicas, este transistor tiene un comportamiento similar al de las válvulas thyatron.

Nos va a ayudar mucho en la comprensión del funcionamiento del transistor monojuntura si explicamos una de sus tantas aplicaciones, como es la de un generador de ondas diente de sierra, cuyo circuito básico se ve en la figura 197, y de paso conocemos el símbolo de estos transistores. El conjunto *RC* queda derivado sobre la batería, de modo que el capacitor se va cargando lentamente a través del resistor. Cuando la tensión en *C* alcanza el valor de disparo antes señalado, fluye corriente a través del emisor, con lo que el capacitor *C* se descarga rápidamente. Resulta entonces que la tensión entre bornes de *C* crece lentamente y luego decrece rápidamente, o sea

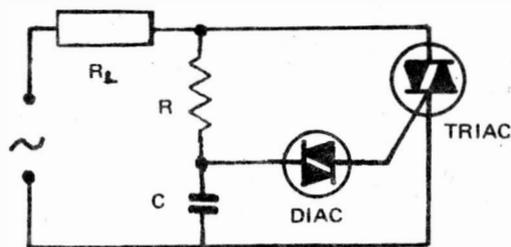


Fig. 198A. — Circuito de disparo con un diac y un triac.

que tendrá la forma de variación de la típica onda diente de sierra, aplicable en televisión, generadores de impulsos, etc.

Diodos bidireccionales (Diacs y Triacs)

Disponiendo una capa de semiconductor *N* entre dos capas de semiconductor *P* se forman dos diodos opuestos o sea un diodo bidireccional, que conduce corriente en ambas direcciones. Parecería que este dispositivo carece de objeto, pero si se dosifica el material semiconductor de manera que la conducción se produzca solamente cuando se produce la avalancha, tal conducción quedará condicionada a que entre extremos la tensión alcance el valor de disparo. Mientras no se alcanza tal cifra no hay conducción y ella se inicia cuando

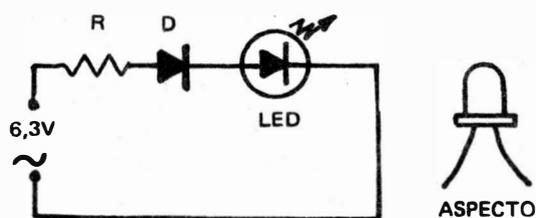


Fig. 198B. — Circuito para usar un led en alterna.

se produce la avalancha. Este diodo se llama *Diac* y es usable en corriente alterna, ya que tiene circulación bidireccional. Su aplicación es entonces en circuitos de disparo, una de los cuales veremos de inmediato. Tienen forma cilíndrica, con terminales salientes de las bases.

Si a un diac le agregamos un electrodo de control o compuerta, en forma similar a un transistor, tenemos un *Triac*, que es un diodo controlado pero bidireccional, lo que permite usarlo en corriente alterna. Veamos un circuito de disparo en la figura 198 A, en la que R_L es el dispositivo bajo control y el conjunto *R-C* se encarga de polarizar el diac de modo que cuando la carga de *C* alcanza la cifra de avalancha, el electrodo de control del triac abre la compuerta y comienza la conducción en dicho triac, pero en los dos sentidos, es decir que circula la corriente alterna del circuito general. Diseños especiales de control de la compuerta permiten lograr con un triac circulación en un solo sentido, en el otro o en los dos, lo que habla claramente de las ventajas de tal diodo bidireccional.

Diodos fotoemisores (Leds)

Las junturas *P-N* emiten luminosidad, la que no se percibe por ser pequeña y quedar encerrada en la cápsula. Pero si hacemos los semiconductores con sales cristalinas se logra emisión de luz coloreada. Para las condiciones de trabajo se estipula que la polarización debe ser directa, caso de tensiones continuas. Para alternas hay que colocar un diodo común en serie, según lo muestra la figura 198B, pues estos diodos (llamados *Leds*) no soportan tensiones inversas que no sean muy pequeñas. En el circuito se muestra la conexión a 6,3 V de alterna en uso para diales luminosos, y hay un resistor de protección, un diodo común *D* que evita la circulación inversa y el led que tiene un símbolo indicado en la figura. A la derecha vemos el aspecto constructivo.

Día 10

A medida que vamos desarrollando nuestro tema aparecen dispositivos cada vez más interesantes y, si se los compara con los vistos en los primeros capítulos, más novedosos para el lector. Nótese por ejemplo la diferencia que hay entre una válvula común y una thyatron, o entre un diodo común y un tipo Zener o un tiristor. Para todos esos elementos hay muchas aplicaciones y constantemente surgen nuevas, que encontramos en las revistas especializadas; pero, para poder usar los nuevos circuitos es menester conocer perfectamente el funcionamiento de cada elemento, y eso es lo que estamos haciendo. Algunos de los usos prácticos se describen pero es imposible tratar todos y menos aún estar al día, ya que mientras estamos escribiendo estas páginas los investigadores descubren muchas nuevas aplicaciones.

La presente jornada la dedicaremos a los dispositivos sensibles a la luz, el calor o a las variaciones de la tensión o la corriente eléctricas. Una puerta que se abre para dejar el paso a una persona, un miliamperímetro que acusa la temperatura de un horno, un elemento capaz de desconectar un motor cuando su bobinado se calienta en exceso; todos esos son accesorios que existen y que debemos conocer, pues la Electrónica los usa en innumerables aplicaciones. Daremos algunos ejemplos prácticos, pero no todos, ya que ello es imposible, pues aparecen a diario nuevos circuitos y nuevos dispositivos para incorporarlos a ellos.

ELEMENTOS SENSIBLES A LA LUZ, EL CALOR O LAS VARIACIONES DE CORRIENTE

En este capítulo estudiaremos una cantidad de accesorios cuyas características son tales que no tienen valores constantes, sino que los mismos se alteran ante la presencia de un agente físico de variada naturaleza. Unos son sensibles a la luz, otros al calor, otros a las variaciones de la tensión o la corriente, en fin, que se trata de elementos cuyas propiedades los hacen aptos para el control electrónico de diversas magnitudes.

FOTOELECTRICIDAD

El hombre utilizó la luz mucho antes de conocerla, si por tal entendemos que debe saberse cuál es su naturaleza. Durante siglos los científicos mantuvieron una enconada polémica sobre la naturaleza de la luz, pues unos sostenían que se trataba de partículas lanzadas con velocidad vertiginosa y otros que eran ondas, o sea vibraciones del éter que se propagaban como lo hacen otras ondas, a cierta velocidad y con una determinada frecuencia en la vibración. Esporádicas comprobaciones de una u otra de las

teorías daban por un tiempo la razón a uno de los bandos, y así se siguió hasta que el descubrimiento del efecto fotoeléctrico por Einstein dio fuerza a la teoría corpuscular. En efecto, según ese fenómeno ciertas sustancias reaccionan al recibir un rayo luminoso generando una corriente eléctrica, más correctamente provocando una emisión de electrones. Más adelante De Broglie recibe el premio Nobel por su audaz teoría conciliatoria, que admite que la luz es un fenómeno vibratorio, pero que se cumple como si pequeñas partículas viajaran con la onda. Pero esos fenómenos y sus teorías escapan a nuestro libro.

La célula fotoeléctrica

Habiéndose descubierto los elementos fotosensibles, es decir capaces de reaccionar al recibir rayos de luz, falta describir el fenómeno con más detalles. Observemos la figura 199, en la que se ve una placa metálica recubierta con una substancia como selenio, cesio, etc., sobre la que

incide un rayo luminoso. La propiedad fotoeléctrica de tales sustancias es la de emitir electrones en cantidad proporcional a la intensidad luminosa incidente.

Para aprovechar de alguna manera esa emisión electrónica colocamos cerca de la sustancia una placa metálica que llamaremos *ánodo*,

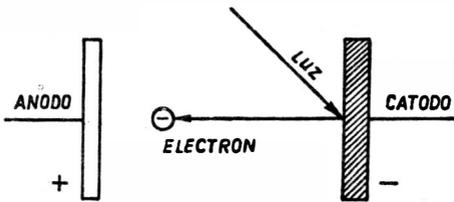


FIG. 199. — Principio de la emisión fotoeléctrica.

y que se conectará al polo positivo de una fuente eléctrica con el fin de atraer los electrones emitidos. En tales condiciones la materia fotosensible toma el nombre de emisor o *cátodo*, y deberá unirse al polo negativo de la misma fuente para cerrar el circuito. La figura 199 muestra esquemáticamente lo que sucede al llegar el rayo luminoso y salir un electrón del cátodo; los electrones libres son atraídos por la placa positiva o ánodo y llegan a éste. Si en el circuito hay una diferencia de potencial capaz de mantener la circulación de electrones, o sea capaz de mantener una corriente eléctrica, el circuito queda cerrado y la circulación continúa mientras haya emisión.

Pero hay que hacer una distinción importante entre los tipos de células que existen, y que se subdividen en dos grupos principales: *activas* o generadoras y *pasivas* o modificadoras; también se las suele llamar foto-voltaicas y foto-resistentes. Las activas son aquellas en las cuales aparece una diferencia de potencial al llegar el rayo luminoso y las pasivas son las que modifican la resistencia al paso de la corriente cuando son excitadas por la luz. Según las aplicaciones a que se destinan hay que usar uno u otro tipo, de modo que debemos detenernos a describirlas un poco más detalladamente.

Las células activas funcionan bajo el siguiente principio: si tomamos una placa de plata o una película delgada de ese metal y la recubrimos con seleniuro de hierro, al incidir sobre esta sustancia un rayo luminoso se genera una diferencia de potencial que se llama *fuerza foto-electro-motriz* (f. f. e. m.), y que es del orden de unas centésimas de Volt. También se puede hacer la célula con una placa de cobre recu-

bierta de óxido del mismo metal.

La fuerza foto-electro-motriz generada presenta cierta inercia a las variaciones rápidas de la intensidad luminosa, y cierta persistencia. Prácticamente se logra que reaccione en tiempos del orden de las milésimas de segundo.

En las células pasivas se aprovecha directamente la propiedad de las sustancias fotosensibles de que la emisión electrónica depende directamente de la intensidad de luz incidente. Si la cantidad de electrones emitidos es proporcional a la cantidad de luz que llega, es evidente que si esos electrones los hacemos circular por un circuito cerrado constituyen una corriente eléctrica cuya intensidad será proporcional a la intensidad luminosa. Y como las variaciones de la intensidad de corriente en el circuito donde está intercalada la célula no se deben a alteración alguna de la tensión de alimentación del circuito, se admite que son provocadas por variación de la resistencia. Es decir que todo pasa como si la célula constituyera una resistencia variable en el circuito.

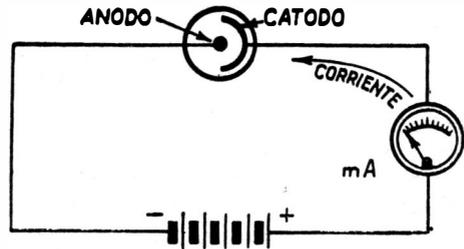


FIG. 200. — Esquema básico de la célula fotorresistente.

Para comprender entonces el funcionamiento de la célula fotorresistente, observemos la figura 200, que muestra el circuito de trabajo. Comprende una batería de alimentación, un miliamperímetro indicador de la intensidad de corriente eléctrica, o sea de la cantidad de electrones que circulan o pasan en la unidad de tiempo, y la célula. La sustancia fotosensible forma el cátodo y debe quedar unida al polo negativo de la batería. La placa que recogerá los electrones emitidos es el ánodo y debe unirse al polo positivo para atraer los electrones, ya que éstos son corpúsculos de electricidad negativa.

En cuanto incide luz sobre el cátodo, se produce emisión de electrones que son atraídos por el ánodo. La batería se encarga de provocar la circulación de esos electrones en forma de corriente eléctrica por el circuito. Si varía la intensidad luminosa incidente alterará la emi-

sión electrónica y con ello la intensidad de la corriente eléctrica. El aparato indicador acusará esas variaciones de corriente. Si deja de llegar luz, se corta la emisión y, por lo tanto, la corriente. El circuito queda interrumpido y la resistencia que simboliza a la célula adquiere misteriosamente un valor infinitamente grande.

Detalles constructivos de las fotocélulas

El espacio entre el ánodo y el cátodo puede contener sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, o no contener ninguna materia. Si se colocan sustancias se presenta una diferencia funcional que hace coincidir el carácter ficticio con el real. En efecto, si se coloca una materia semiconductor entre el ánodo y el cátodo en el circuito de la figura 200, el circuito queda cerrado y circulará corriente aunque no llegue luz. Al incidir un rayo luminoso se producirá emisión electrónica que hará alterar la cantidad de electrones en circulación, es decir, producirá variaciones en la corriente eléctrica. Aquí puede hablarse con más propiedad de resistencia variable. Si, en cambio, se coloca en la célula una materia aisladora o se hace el vacío, subsiste la situación de circuito abierto mientras no incide luz sobre el cátodo.

Además de lo dicho, ocurren fenómenos adicionales en las sustancias comprendidas en el interior de la célula. En efecto, los electrones emitidos chocan con los átomos de tales sustancias provocando muchas veces rupturas del edificio atómico, liberando a su vez electrones, lo que se llama ionización. En tales condiciones se producen alteraciones en la proporcionalidad

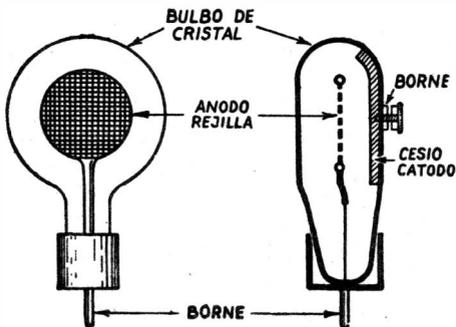


FIG. 201.— Detalles constructivos de las células fotoeléctricas al vacío.

de la emisión con respecto a la intensidad luminosa incidente, que son desventajosas. Además, todo ello ocasiona inercia ante las varia-

ciones luminosas, pues la ionización tarda en cesar, observándose una persistencia que si bien es muy breve, dura un tiempo que se considera grande para las aplicaciones en televisión.

No obstante, se emplean células con gas en el interior de la ampolla para cine sonoro y otras aplicaciones donde la frecuencia máxima de trabajo esté por debajo de los 16.000 ciclos por segundo, es decir que quedan relegadas a los usos en audiofrecuencias. La ventaja de las células de gas es su mayor sensibilidad, ya que la ionización aumenta la emisión primaria.

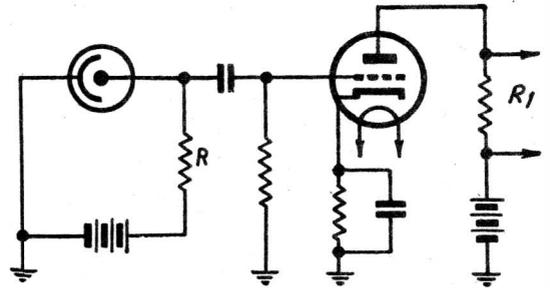


FIG. 202.— Esquema de conexiones de una célula fotoeléctrica aplicada a una válvula amplificadora.

La figura 201 muestra algunos aspectos constructivos de una célula al vacío, que está constituida por un bulbo de vidrio dentro del cual están los dos electrodos. El cátodo fotosensible es una película de plata recubierta con la sustancia activa, generalmente cesio. La plata permite el contacto eléctrico y la unión al borne exterior: El ánodo está construido en forma de rejilla para permitir el paso de la luz, y está conectado a un borne externo. Otros ánodos tienen forma de anillo con el mismo fin.

Dado, que el ánodo resulta de escasa superficie, y que no puede colocarse muy cerca del cátodo para evitar que proyecte sombra sobre el mismo, la emisión electrónica de estas células no es grande. Así por ejemplo, es común que con tensiones anódicas del orden de 100 Volt la sensibilidad de la célula tenga cifras de 10 microamper por lúmen. Es decir que si incide una cantidad de luz o flujo luminoso de un lúmen, se obtiene una corriente en el circuito de unos 10 microamper. Resulta evidente la necesidad de emplear amplificadores para tener variaciones aprovechables en las magnitudes eléctricas.

La figura 202 muestra la manera de conectar una célula a un amplificador a válvula termiónica. Las variaciones de corriente se aprove-

chan colocando una resistencia R de valor elevado, de manera de tener entre sus extremos una tensión que se aplica mediante un acoplamiento a resistencia-capacidad a la grilla de la válvula amplificadora. En el circuito anódico de ésta se coloca la resistencia de carga, en la cual se tendrán variaciones de tensión mayores que en R , en virtud de las propiedades amplificadoras de tensión de la válvula. No es el caso de entrar aquí en detalles del funcionamiento de un amplificador de tensión, de modo que no insistiremos sobre el particular.

La célula debe presentar constancia en su sensibilidad con la edad, para lo cual se la *debe* someter a un proceso de envejecimiento artificial al construirla. Una vez hecho esto se consigue que la sensibilidad de la célula se mantenga con el uso y con el tiempo. En otras palabras, la cifra de microamper por lúmen de luz incidente debe ser constante en cualquier época para una célula dada.

Un detalle interesante se refiere a las recomendaciones de la fábrica sobre la temperatura de trabajo de las células. Generalmente se especifica un máximo de 50° C, perdiéndose la seguridad sobre la constancia de la sensibilidad al exceder tal temperatura. También se debe cuidar no sobrepasar el máximo de corriente a través de la célula, que especifique la fábrica en cada caso, por los mismos motivos. Y finalmente se fija una intensidad luminosa límite que no debe ser superada, de manera que debe cuidarse la fuente luminosa a emplear. Si se aplica sobre la célula la luz solar directa, es evi-



FIG. 203. — Aspecto constructivo de una célula fotoconductiva tipo ORP90.

dente que la intensidad luminosa será enorme, pues se alcanzan fácilmente cifras de centenares de miles de lux, en la intensidad de iluminación solar. Recordemos que *el lux es el nombre de la unidad de iluminación sobre una superficie*, y que *equivale a la que produce una intensidad luminosa de una bujía a un metro de distancia*. A distancia mayor, la intensidad de iluminación decrece con el cuadrado de aquélla.

En los últimos tiempos se han desarrollado otros tipos de células fotorresistentes, basadas en los principios de los semiconductores, a las que

llamaremos *fotoconductoras* para diferenciarlas de las anteriores. Veamos su teoría y funcionamiento:

Células fotoconductoras. LDR

El selenio tiene la propiedad de aumentar su conductibilidad eléctrica al recibir luz, o sea que su resistencia eléctrica se reduce bajo los efectos de la recepción luminosa. A este fenómeno se lo llamó fotoconductividad, y el mismo se ve afectado por la coloración de la luz incidente y por la temperatura a que se halla la sustancia. Posteriormente se encontró que otros cuerpos eran fotosensibles, como el germanio, silicio, etc., y combinaciones de otros más.

Con ese principio se construyen células fotoconductoras o sea elementos que varían su resistencia al variar la iluminación que reciben. Interesa aprovechar al máximo el efecto men-

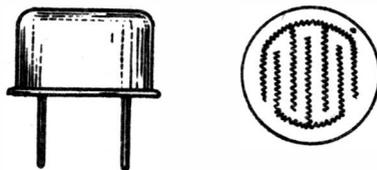


FIG. 204. — Aspecto de una célula tipo LDR.

cionado, de modo que esas células tengan la sustancia sensible dispuesta de manera de ofrecer gran superficie, para aprovechar la incidencia de la luz. La figura 203 nos muestra una célula tipo ORP90 de FAPESA y más recientemente disponemos de las pequeñas células tipo LDR (iniciales de las palabras inglesas que significan: resistores dependientes de la luz). La figura 204 nos muestra una célula de este tipo, que tiene 15 mm de diámetro y 9 mm de altura del cuerpo cilíndrico, y la figura 205 da las variaciones de resistencia ante las de iluminación recibidas. Sus datos técnicos son:

Resistencia en oscuridad total: 10 Megohm.

Resistencia recibiendo iluminación de 1.000

Lux: 75-300 Ohm.

Tiempo de recuperación al suprimir la incidencia de luz: 200 Kilohm/seg.

Tensión permisible: 110 Volt.

Temperatura de trabajo: $-20/+60^{\circ}$ C.

Potencia máxima a disipar: 0,2 Watt.

Constructivamente, las LDR son pequeñas células encapsuladas en una resina sintética solidificada y transparente, de la que emergen los dos terminales para su conexión. Estos datos

constructivos y condiciones de funcionamiento dados precedentemente son de FAPESA, fabricante de las LDR. Es interesante destacar que

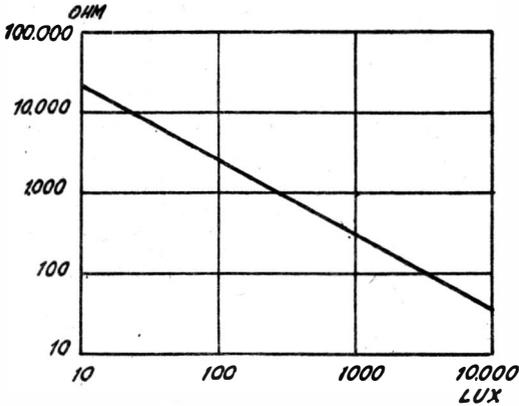


FIG. 205. — Variación de la resistencia de una LDR al variar la luz.

esta fábrica ha postulado la utilización de las LDR para circuitos de control automático de brillo y de contraste en televisores, con los que se logra que la iluminación media de la pantalla se regule según la iluminación de la sala donde ella se encuentra.

Como una de las aplicaciones más interesantes para las células fotoconductoras podemos mencionar los interruptores automáticos de luz para el crepúsculo, o sea dispositivos capaces de encender o apagar la luz artificial de un recinto o un conjunto de ellos, cuando la luz natural baja de un cierto valor prefijado o sube de él, en el caso de apagado. El circuito utilizado depende del tipo de elemento y de la potencia de

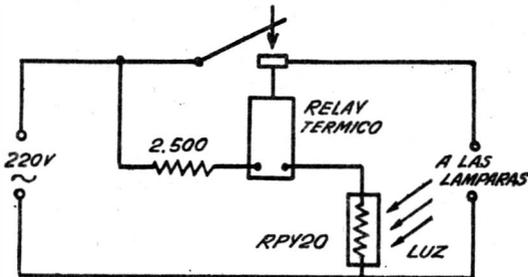


FIG. 206. — Circuito de un conmutador automático de iluminación para crepúsculo.

la instalación, pero en la figura 206 mostramos uno de los comunes. Tiene una célula fotoconductiva tipo RPY20 asociada a un relay térmico que funciona directamente con corriente

alternada. Para limitar la corriente a través de la célula se coloca un resistor de 2.500 Ohm en esa rama. El relay está graduado para que cuando la luz natural baje de un cierto valor, actúe y cierre el circuito de iluminación artificial; viceversa, cuando la luz natural vuelva y pase de otro valor considerado tipo, el relay se abra, y se corte la luz artificial. La célula mencionada tiene las siguientes características:

- Resistencia en oscuridad: 120 Megohm
- Resistencia con 50 Lux : 1,5 Kilohm
- Máxima disipación : 1 Watt
- Máxima corriente : 0,5 Amper

Los foto-diodos

Veamos ahora cómo puede hacerse un elemento fotosensible con un diodo PN. Tomemos un disco de cristal de germanio, ahuecado en forma esférica, de modo que en el centro nos quede un espesor de un décimo de milímetro y apoyemos en ese centro una espiga metálica que

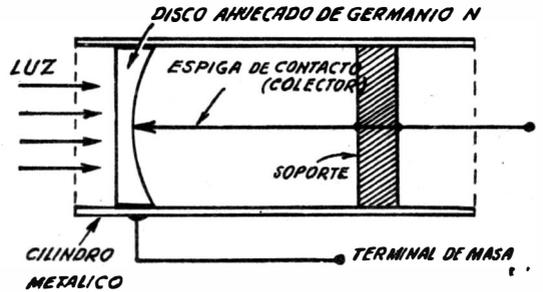


FIG. 207. — Principio constructivo del foto-diodo de contacto puntual.

haga contacto, según lo muestra la figura 207. El germanio es tipo N, y tendrá, por consiguiente, electrones libres. El conjunto se coloca a presión dentro de un tubo metálico, que sirve de terminal de masa; el alambre o espiga se llama colector y es el otro terminal. Por la base abierta de la izquierda del cilindro puede entrar la luz.

Constructivamente, este conjunto es similar al diodo de contacto puntual que vimos en la figura 168, y por consiguiente, polarizado en sentido directo permitirá fácilmente el paso de la corriente, y en sentido inverso dejará pasar una corriente muy pequeña, la corriente inversa; todo esto ya lo hemos estudiado.

Para el funcionamiento como *foto-diodo*, debemos polarizarlo en sentido inverso, es decir con el polo positivo de la pila conectado al ci-

lindro metálico y el negativo al alambre colector. La corriente que circulará será muy pequeña; pero al incidir un rayo de luz sobre el germanio, éste absorbe energía luminosa, muchos electrones rompen sus ligaduras y quedan en libertad y la polaridad positiva aplicada al germanio los impulsa a abandonar el disco por el alambre colector, o sea que se produce una corriente inversa mayor que la propia del diodo. La intensidad de esa corriente depende de la absorción de energía luminosa en el germanio, más precisamente, del flujo luminoso del rayo incidente.

Evidentemente, hemos construido una especie de fotocélula, pero con la ventaja de su mayor sensibilidad; en efecto, las fotocélulas generadoras de corriente dan unos pocos microamperes:

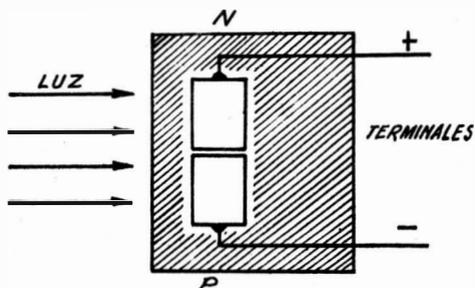


FIG. 208. — Principio constructivo del foto-diodo de juntura.

de corriente, mientras que el fotodiodo suministra corrientes del orden de los miliamperes, lo que permite ahorrar el amplificador que era un elemento imprescindible en las fotocélulas.

El tipo descrito en la figura 207 puede llamarse de contacto puntual, pero también pueden hacerse fotodiodos de juntura; la figura 208 nos muestra un modelo, que consiste en una juntura PN dentro de un bloque aislante y transparente, para permitir a la luz llegar a la juntura. Los dos terminales corresponden a los contactos de salida, y el polo positivo de la pila debe conectarse al terminal que corresponde al germanio tipo N, para tener la polarización inversa que se ha estipulado.

Veamos ahora las características de corriente de un fotodiodo. El circuito para tomar los valores y trazar las curvas se ve en la figura 209; el amperímetro que nos medirá la corriente inversa I se conecta en serie con la resistencia de carga R_c y el voltímetro que nos medirá la tensión que tenemos entre terminales del fotodiodo lo conectamos a sus bornes. Si no permitimos que incida luz, tendremos el punto de ten-

sión y corriente cero en el gráfico de la figura 210. La curva hacia la zona de tensión y co-

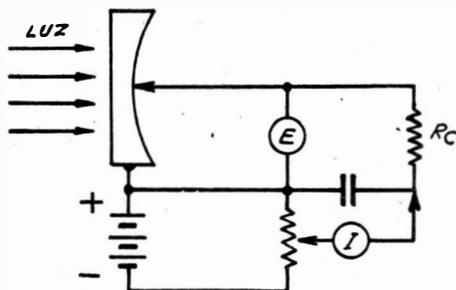


FIG. 209. — Circuito para tomar las características de un foto-diodo.

riente positiva, parte derecha del gráfico, no nos interesa, pues es la corriente directa, y en tal caso el fotodiodo funciona como un diodo común.

A partir del punto 0, sin luz incidente, variamos la tensión aplicada mediante la resistencia variable y obtendremos distintos valores de la corriente, que nos dan la curva de intensidad luminosa cero, o sea en condiciones de trabajo oscuro. Si aplicamos rayos de luz de diferente intensidad, la cual la medimos en mililumen, que es una medida del flujo luminoso, tendremos distintas curvas. A medida que incide más

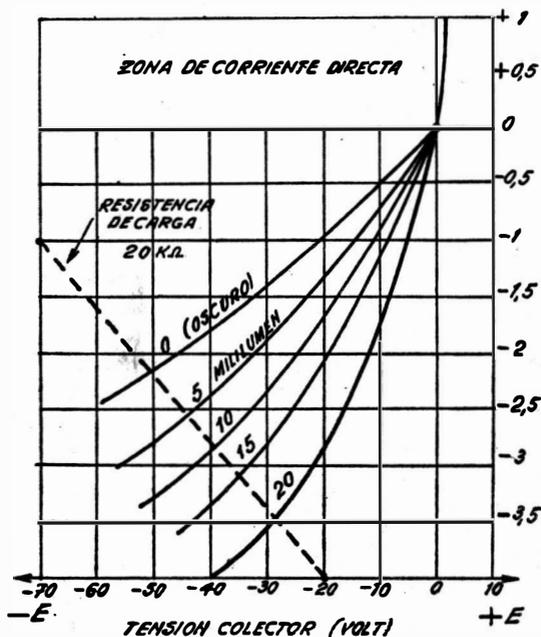


FIG. 210. — Curvas características de un foto-diodo. La escala vertical da las corrientes de colector en mA.

luz en el fotodiodo, mayor será la corriente para un valor dado de la tensión de la batería. Por ejemplo, para una tensión de -30 Volt, la corriente será de $1,8$ mA si la luz tiene 5 mililumen, de $2,3$ mA para 10 mililumen, y así siguiendo. Obsérvese, de paso, que la resistencia de carga R_c queda representada en el gráfico, haciendo el cociente entre la tensión 20 V y la corriente $0,001$ A, que resulta 20.000 Ohm.

Es de hacer notar que la sensibilidad luminosa del fotodiodo es mayor en la parte central del disco de germanio, por lo que, para evitar que la luz se distribuya en toda la superficie del disco, se coloca en el extremo del cilindro una lente concentradora, que hace incidir a la luz en el centro del disco.

El foto-transistor

En el subtítulo anterior hemos descripto el fotodiodo, en el cual una pastilla de germanio recibía el rayo luminoso y alteraba sus cargas eléctricas. Se construyen también fototransistores, sobre la base de un tipo NPN, en el cual la pastilla central tipo *P* es fotosensible. La figura 211 muestra el principio de funcionamiento; vemos que se aplica una tensión entre

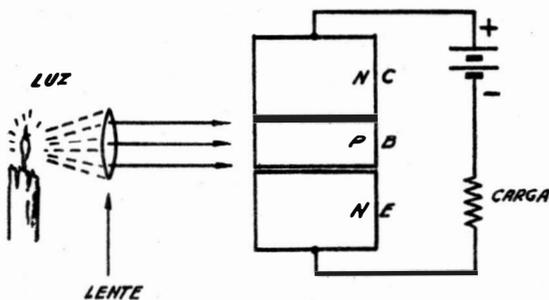


FIG. 211. — Principio del fototransistor.

los dos extremos, de tal modo que la pastilla superior es el colector y la inferior es el emisor, pero la base, pastilla central, no lleva conexión alguna. En el circuito este transistor se parece más a un diodo, pero la base actúa en cuanto recibe luz. Mientras eso no ocurre, es decir, estando la base sin polarización eléctrica, la barrera que ella significa no permite el paso de corriente a través del transistor.

Cuando incide un rayo luminoso en la pastilla central, se forman cargas positivas o lagunas en suficiente cantidad como para que los electrones del emisor salten la barrera y se establezca una corriente de algunos miliamper. En la práctica se busca dar a la sección *P* el mínimo espesor y a las acciones *N* la mínima

resistencia, para conseguir una corriente mayor a través del circuito y poder accionar relays y otros dispositivos.

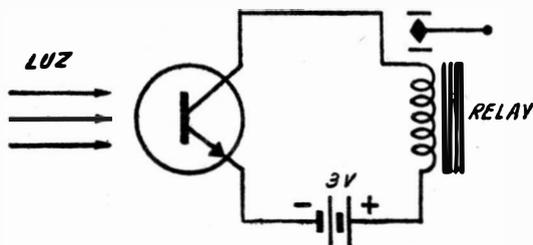


FIG. 212. — Aplicación de un fototransistor para accionar un relay.

La figura 212 nos muestra un circuito simple de aplicación de un fototransistor para accionar un relay de cierre. Una batería de 3 Volt se conecta con la polaridad adecuada y la corriente sólo circulará cuando la base sea activada por el rayo de luz. Este dispositivo sirve para un abrepuertas si el relay cierra el circuito de un electroimán; para un avisador de intrusos, si el relay se reemplaza por una campanilla que funciona cuando se corta la corriente, o sea cuando el intruso interrumpe el rayo luminoso al pasar entre la fuente luminosa y el fototransistor, etc.

Veamos ahora un fototransistor que ha hecho su aparición en plaza, el OCP70, de FAPESA, cuyas características se apoyan en parte en la descripción anterior. La figura 213 nos muestra el aspecto constructivo, con indicación de sus dimensiones en milímetros; se hace la aclaración de que un punto rojo indica el colector, y que la dirección preferida para la incidencia del rayo luminoso es la del plano perpendicular a los conductores, estos últimos colocados paralelamente a la cara donde está el código indicado. Nótese que en este caso la base lleva conexión eléctrica.

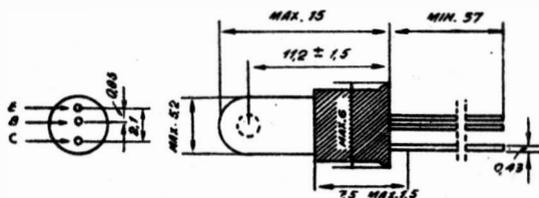


FIG. 213. — Aspecto constructivo de un fototransistor de FAPESA.

Las curvas características típicas de trabajo dan la corriente de colector en función de la

tensión en el mismo electrodo, para distintas intensidades de iluminación en la cara sensible del fototransistor. De todas las curvas que se obtienen, la figura 214 muestra las correspon-

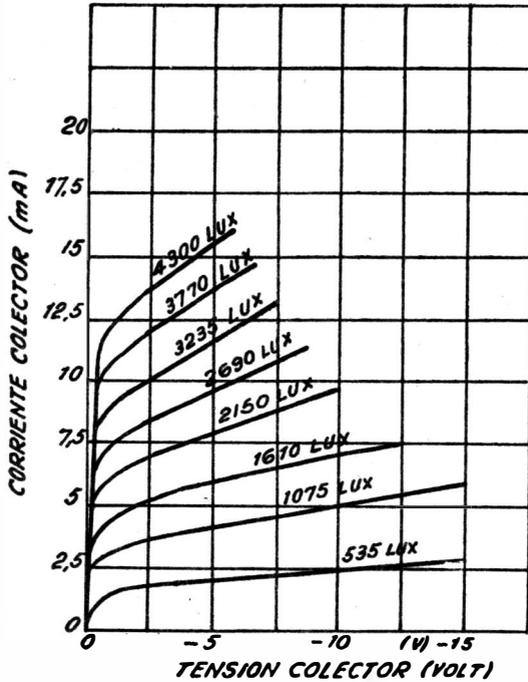


FIG. 214. — Características del fototransistor de la figura 213.

dicentes a tensión nula en la base, y temperatura ambiente 25° C. Es importante destacar que la temperatura ambiente influye de una manera decisiva en las condiciones de trabajo de este fototransistor, porque la sensibilidad a la luz depende de dicha temperatura; por ese motivo, siempre se dan las curvas características para una temperatura dada. Las intensidades de iluminación se dan, en este gráfico, en la unidad lux, porque es la cifra que marcan los luxómetros, aparatos que se emplean para medir la intensidad de iluminación sobre la superficie en que ellos están colocados.

La fábrica suministra la información de sus cifras máximas y normales. De entre ellas, destacamos las siguientes:

- Temperatura máxima tolerada: 65° C
- Tensión máxima de colector : 15 V
- Corriente máxima de colector : 20 mA
- Tensión y corriente de trabajo, ver Fig. 214.

Veamos ahora un circuito de utilización de este fototransistor, que propone la misma fabri-

ca. La figura 215 da el esquema y los valores respectivos. Los bornes a usar son los marcados salida y masa, este último es además el polo positivo de la fuente. Se usa una tensión de 12 Volt y los valores son válidos para esa cifra. Hay dos valores que dependen de la frecuencia y son la impedancia de la bobina L , que debe ser por lo menos de 20 Kiloohm, y la capacidad del capacitor C , que debe tener una impedancia que sea como máximo 10 veces menor que la resistencia de emisor a la frecuencia de trabajo. En la figura, por consiguiente, no se dan esos dos valores.

El fototransistor mencionado, a título ilustrativo, tiene otras aplicaciones, las cuales deben diseñarse de acuerdo con la sensibilidad a la luz que acusa en sus características. Si la incidencia de la luz no es perpendicular al plano que se ha indicado, habrá que afectarla de un coeficiente de reducción; la fábrica suministra también información sobre las variaciones de fotosensibilidad de acuerdo con el ángulo de incidencia de la luz.

ELEMENTOS SENSIBLES AL CALOR

Si los elementos sensibles a la luz han resultado interesantes, no lo serán menos los que reaccionan ante las variaciones de temperatura, es decir a la variación del calor recibido. Ellos son los *termistores*, suerte de resistores especiales cuya resistencia aumenta o disminuye al variar su temperatura.

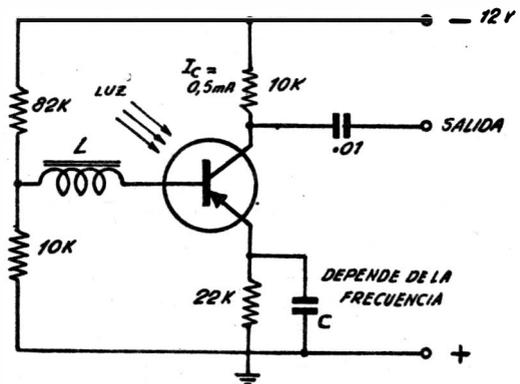


FIG. 215. — Circuito de aplicación del fototransistor de la figura 213.

Termistores

El termistor es un elemento especial que puede ser considerado como un semiconductor y

como una resistencia, aunque difiera de ambas cosas y se use como alguna de ellas. Está formado por aleaciones especiales que presentan

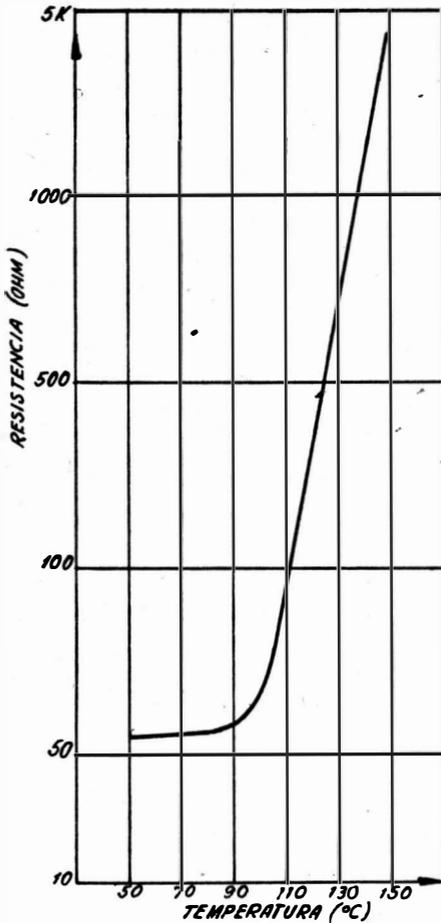


FIG. 216. — Curva característica de la resistencia PTC

resistencia al paso de la corriente, pero esa resistencia no tiene un valor fijo, sino que varía con la temperatura de la substancia de que están hechos. Constructivamente adoptan la forma de pequeños cilindros o de discos, con dos terminales para conectarlos al circuito.

Hay dos tipos fundamentales de termistores, atendiendo a la variación de resistencia con la temperatura: aquellos de coeficiente positivo, en los que la resistencia aumenta al calentarse (PTC) y aquellos en los que la resistencia se reduce cuando se calientan (NTC), o sea que son de coeficiente negativo. Las siglas que los caracterizan son las iniciales de las expresiones inglesas "Positive Temperature Coefficient" y

"Negative Temperature Coefficient". Es de destacar que la variación de temperatura puede producirse en el ambiente donde se encuentran o en el cuerpo mismo del termistor, por pasaje de la corriente eléctrica.

Veamos un poco cómo es la variación de resistencia con la temperatura. La figura 216 nos muestra la variación de resistencia de un termistor tipo PTC de la Carborundum Co., el cual tiene un poco más de 20 Ohm a 50° C y esa resistencia sube hasta 1.000 Ohm a 135° C. No hace falta destacar las posibilidades prácticas de un dispositivo que reacciona en tal grado ante variaciones de la temperatura.

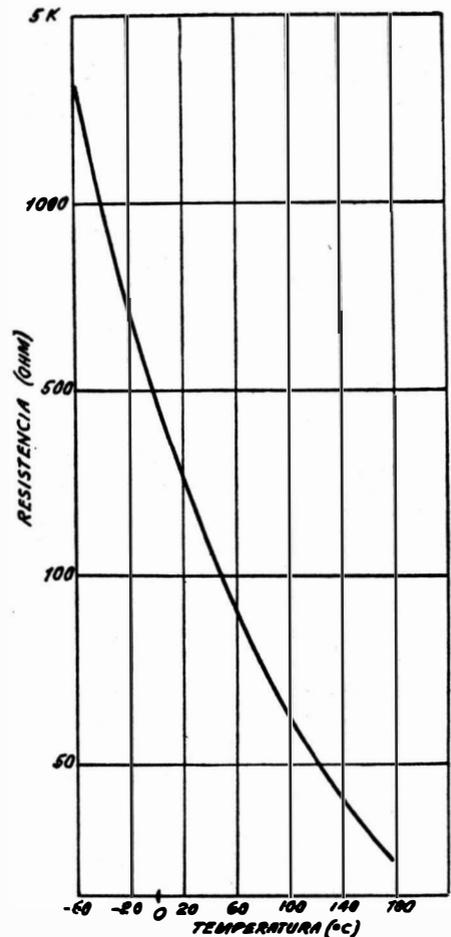


FIG. 217. — Curva característica de la resistencia NTC.

En la figura 217 podemos ver el mismo tipo de curva, pero para un termistor tipo NTC, es decir con coeficiente negativo de temperatura. Se nota que la resistencia que tiene un valor de

100 Ohm a 0° C baja hasta 4 Ohm a 100° C. En límites extremos, tenemos una reducción de resistencia de 2.000:1 para un aumento de temperatura de 210° C.

Del examen de las curvas de variación de resistencia con la temperatura se desprende que si esa variación es ocasionada por el pasaje de corriente por el termistor, los dos tipos de ellos, PTC y NTC se comportan de manera opuesta ante la elevación de temperatura. En el PTC, al aumentar la corriente, aumenta la resistencia, y, por consiguiente, el termistor trata de impedir los aumentos de corriente. En el NTC al aumentar la corriente, se calienta más y se reduce la resistencia, con lo que la corriente tiende a aumentar más aún.

Veamos una aplicación del termistor en circuitos a transistores. La figura 218 muestra la etapa de salida de un receptor, cuyo circuito completo será estudiado más adelante. Hay dos transistores tipo OC74 con emisor a masa, pese a que una pequeña resistencia limitadora se encuentra intercalada en la unión a masa de ambos emisores. La entrada de señal es por base y la polarización básica se hace mediante un conjunto en paralelo formado por la resistencia fija de 68 Ohm y el termistor de 50 Ohm tipo NTC. A ese paralelo se agrega la resistencia de 2.000 Ohm, ajustable, para dar la exacta polarización para mínima distorsión. Veamos su acción.

La corriente de base es prácticamente independiente de la temperatura pero no ocurre lo mismo con la tensión de base a emisor, la cual

concordancia con las variaciones de la temperatura ambiente, y mantener el funcionamiento a mínima distorsión del amplificador, se necesita

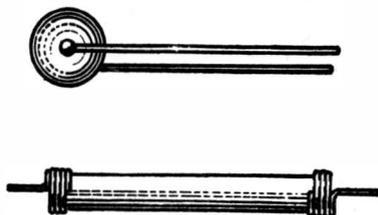


FIG. 219. — Aspectos típicos de los resistores NTC a disco y de barra. Los PTC son similares.

alterar proporcionalmente la tensión de base, y ella está dada por el producto de la corriente que pasa por el termistor y su valor de resistencia. Esta última se va reduciendo con la temperatura, luego la polarización de base sufrirá reducciones proporcionales y automáticamente se irá corrigiendo en la medida necesaria para mantener el funcionamiento normal del amplificador, a corriente constante de emisor.

Datos prácticos sobre termistores

Los termistores que se encuentran en plaza responden a las denominaciones de resistores NTC y sus aspectos constructivos son los que muestra la figura 219. Es decir que los hay de dos modelos, el de disco y el de barra. Los de disco se los encuentra con valores de resistencia de 4, 8, 50, 130, 500 y 1300 Ohm en disipaciones de 1 Watt solamente. Están contruidos para soportar temperaturas máximas de 120° C, y su tamaño es igual en todos los valores, de unos 9 milímetros de diámetro.

Los de barra se fabrican con valores de 150, 470, 1500, 4700, 15000, 47000 y 150000 Ohm, con tolerancia de 20 % y para disipaciones 0,6, 1,8 y 2,6 Watt en todos esos valores.

Los PTC son de aspecto similar a los anteriores, pero sus valores son dados para sus límites inferior y superior, y así tenemos los de 35—65 Ohm, 15—45 Ohm, y 25—55 Ohm. Las variaciones de resistencia de los mismos se expresan en % y por grado, y son de cuatro cifras diferentes: 7, 15, 30 y 60 % y por grado. Para todos esos modelos se especifica una tensión máxima de 70 Volt y una disipación de 10 miliwatt por grado centígrado.

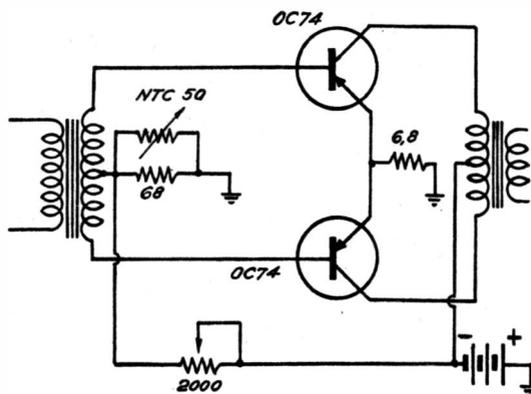


FIG. 218. — Aplicación de la resistencia NTC en un amplificador a transistores.

se altera en una proporción de unos 2,5 milivolt por grado centígrado. En consecuencia, para poder ir alterando la tensión de base en

Aplicaciones de los termistores NTC

Un resistor capaz de alterar su valor ante las

variaciones de su temperatura tiene que tener numerosas aplicaciones en la electrónica y en otras actividades; resulta imposible tratar todas ellas, pero daremos algunos ejemplos típicos:

La aplicación que surge como más simple y lógica es para medir temperaturas, ya que si el calor altera su valor, la variación de una corriente que lo recorre o de la caída de tensión entre sus bornes servirá para saber cuál es su temperatura de trabajo. Todo lo que hay que hacer es determinar la variación de resistencia y acudir a la curva de la figura 216 para leer la temperatura que corresponde. La figura 220 nos muestra las dos posibilidades de conexión, en un caso, con un miliamperímetro, y en el

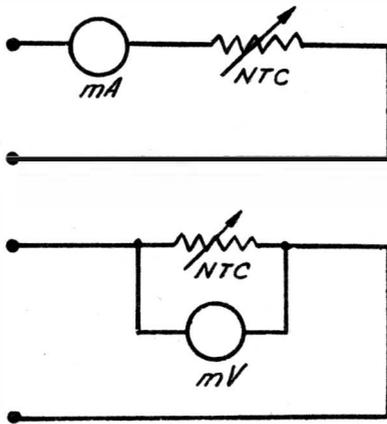


FIG. 220. — Circuitos para medición de temperatura con resistores NTC.

otro, con un milivoltímetro. El termistor estará colocado en el recinto cuya temperatura se desea medir. Para casos especiales se usa un circuito-puente. Las lecturas en la escala del instrumento permiten determinar la temperatura.

La figura 221 nos muestra otra aplicación interesante, que es la de proteger el filamento de una válvula especial o de un tubo de imagen en los casos en que los filamentos de todo el equipo se conectan en serie. El tubo de imagen de un televisor, por ejemplo, por ser su filamento el de menor capacidad térmica de todos los que se hallan en serie, puede perjudicarse por recibir mayor corriente que la especificada. Para evitarlo se conecta en serie con los filamentos y, derivado sobre un resistor común, un termistor NTC. En frío, el termistor tiene alta resistencia y al calentarse los filamentos de todo el equipo la reducción de la resistencia del NTC normaliza la situación, habiéndose evitado que

la corriente sobrepase el valor nominal especificado por la fábrica.

Hay infinidad de aplicaciones de los resistores NTC, y el lector los encontrará en los circuitos. Conociendo su principio de acción no habrá ninguna dificultad en interpretarlos.

Aplicaciones de los termistores PTC

En todos los casos en que un circuito debe reaccionar ante aumentos de temperatura pueden utilizarse los PTC. Por ejemplo, cuando se conecta un PTC en serie con un circuito, si aumenta la corriente circulante aumentará la temperatura del PTC y con ello su resistencia, lo que producirá una reducción automática de la corriente. Esta aplicación se denomina *regulador de corriente* y en ella reemplaza a las viejas válvulas reguladoras que se empleaban en los circuitos de radio.

Si se desea evitar que el bobinado de un motor alcance una temperatura peligrosa para la seguridad de su material aislante, se puede usar un resistor PTC para protegerlo. El circuito se da en la figura 222 y en él vemos un motor eléctrico, adosado a cuyo bobinado hemos colocado un PTC. En serie con la alimentación del motor hay un relevador de desconexión, que se mantiene normalmente cerrado. El PTC se alimenta con una fuente auxiliar, pues sólo admite tensiones del orden de los 70 Volt; se conecta en serie con el bobinado del relevador y cuando aumenta la temperatura del bobinado su resistencia aumenta también, reduciéndose la corriente en el circuito auxiliar y desactivándose el relevador, con lo que se interrumpe el circuito principal y el motor se desconecta. Cuando se ha enfriado, vuelve a cerrarse el circuito principal y así siguiendo.

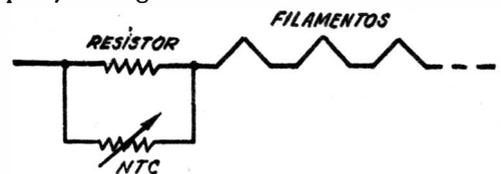


FIG. 221. — El NTC usado como protector del filamento de una válvula o de un tubo de imagen.

Mediante sistemas similares se pueden diseñar toda clase de protectores térmicos para instalaciones de cualquier naturaleza. Los termostatos de tantas aplicaciones en la industria eléctrica ya pueden construirse utilizando este tipo de termistores. En pocas palabras, los termisto-

res, sean del tipo NTC como del PTC, tienen enormes posibilidades dentro de las aplicaciones electrónicas y en las que la electrónica acude en ayuda de otras ramas de la industria. El lector que vea en un circuito el símbolo de un

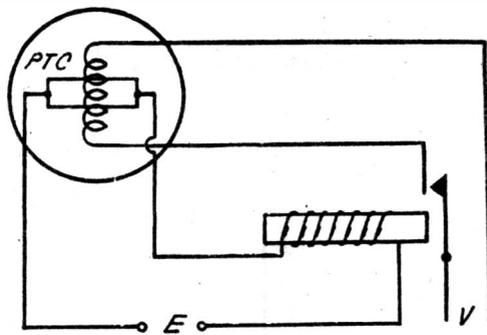


Fig. 222. — Uso del resistor PTC como protector térmico de un motor.

resistor al lado del cual aparezcan las siglas que corresponden a los termistores ya sabe a que atenerse y comprenderá fácilmente el funcionamiento de esa parte del circuito que los utiliza.

ELEMENTOS SENSIBLES A LA TENSION

Varistores o resistores VDR

La investigación de nuevos materiales ha permitido encontrar algunos que presentan curiosas propiedades; ya hemos visto que hay resistores que alteran su valor con la luz o con el calor, y ahora nos ocuparemos de otros que experimentan una variación de resistencia al variar la tensión que tienen aplicada. Tales resistores se denominan *varistores* o directamente *resistores VDR*, letras que vienen del inglés (Voltage dependent resistors).

Constructivamente, los VDR se asemejan a los NTC, ya que presentan dos formas comunes: la de disco y la de varilla que vimos en la figura 219, de modo que nos resultan conocidos. Se fabrican con carburo de silicio, cuyo cristales no hacen estrecho contacto entre sí, sino que a bajas tensiones esos contactos son deficientes y al aumentar la tensión mejoran paulatinamente; de modo que un VDR presenta una resistencia que disminuye al aumentar la tensión entre sus bornes. La figura 223 nos muestra esto, ya que si al aumentar la tensión la intensidad de corriente crece, es porque la resistencia disminuye. Esta particularidad hace que si se aplica una

tensión alterna senoidal a un VDR, la corriente circulante deja de ser senoidal, porque al variar la tensión instantánea se producen variaciones de la resistencia y, por ende, de la corriente instantánea. La forma de onda resulta redondeada, como si la senoide se hubiera aplastado.

Entre las muchas aplicaciones de los varistores, la más importante es la de estabilizar la tensión de una rama de circuito. La figura 224 nos muestra el esquema básico para tal objetivo; hay una tensión de entrada y un circuito de consumo que requiere una tensión estabilizada, además de un resistor común R y un varistor VDR. Si la tensión de entrada aumenta, aumentará la corriente a través de R y por consiguiente también a través de la VDR. El aumento de la tensión hace disminuir la resistencia de la VDR y entonces pasará más corriente por ella, lo que hace que aumente la caída de tensión en el resistor R . No es difícil imaginar que dando a ambos elementos los valores adecuados se consigue que la tensión de salida sea prácticamente constante. Similares consideraciones haríamos para el caso de que el

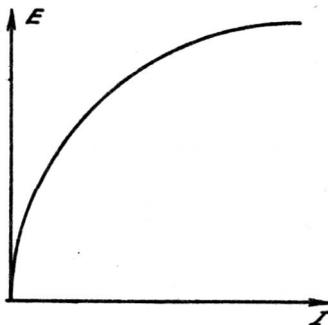


Fig. 223. — Característica de variación de resistencia de un varistor.

consumo sea variable; si el consumo de corriente aumenta, se produce un aumento de la caída de tensión en R , con lo que bajará la tensión en la VDR y, consecuentemente, aumentará su resistencia. Eso provocará una disminución de la corriente que fluye por ella y luego se reducirá la caída de tensión que pasa por R , reduciéndose la caída de tensión en la misma y compensándose el aumento que se había producido. Como se ve, aquí también la VDR trabaja como estabilizador de tensión, pero no ante variaciones de tensión de línea sino ante alteraciones del consumo en la carga. En el capítulo próximo veremos este tema con mayores detalles.

El diodo varicap

Ahora tratemos otro elemento especial, capaz de presentar propiedades cambiantes al alterarse la tensión a que está sometido. Nos referimos al diodo *varicap*, el cual presenta una capacidad propia que no es constante sino que varía al alterarse la tensión entre sus bornes. Para estudiar este elemento tenemos que recordar algo de lo que estudiamos en el capítulo 4, referente a los semiconductores.

Recordemos el estado de cargas en una juntura PN, cosa que vimos en la figura 81, que nos muestra el enfrentamiento de cargas eléctricas de los dos signos, y luego la figura 184, que demuestra cómo puede romperse en parte la barrera de potencial y alterar ese estado de cargas mediante un potencial externo. Recordemos también que tal estado de cargas modificado dependía del potencial que se aplicara, de

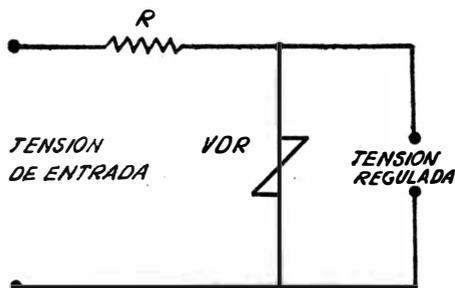


FIG. 224. — Principio del regulador de tensión con VDR.

modo que a potencial variable también será variable el equilibrio de las cargas de ambos signos enfrentadas en la juntura.

Si recordamos ahora lo que estudiamos en Electricidad, referente al capacitor, y pensamos en la figura de las dos placas enfrentadas, con cargas eléctricas de ambos signos, uno para cada placa, tendremos que convenir que la juntura PN se parece mucho a un capacitor. En efecto, un diodo tiene capacidad propia, ya lo dijimos al hablar del diodo túnel. Pero en un capacitor, para variar la capacidad debemos alterar la distancia entre chapas, y en un diodo no podemos variar esa distancia, ya que debemos mantener arrimados los dos cristales de germanio. Lo que ocurre es que la distancia entre las cargas de signo contrario es ficticia, es la misma barrera de potencial la que la provoca. Y todavía hay más: si variamos la tensión aplicada al diodo, se altera el potencial de la barrera y también el estado de cargas, o sea el espesor de la capa

ficticia separadora. Es como si alteráramos el espesor de la sustancia que hay entre las chapas de un capacitor.

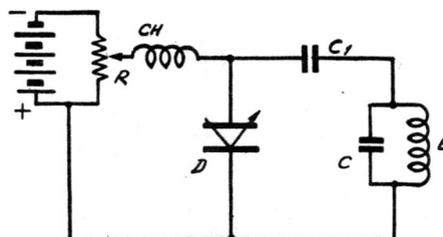


FIG. 225. — Aplicación de un diodo varicap a un circuito sintonizado.

Bueno, la industria construye diodos en los que se aprovecha al máximo esa propiedad de alterar la capacidad propia del diodo ante variaciones de la tensión entre terminales. Los ha denominado *varicap*, y permiten obtener variaciones de capacidad en relación 1:3, que ya es una buena variación. Como el estado de cargas es tal que sin tensión externa hay un máximo de cargas enfrentadas, la capacidad del diodo será máxima sin tensión aplicada y disminuirá a medida que aplicamos tensiones crecientes.

Veamos en la figura 225 una de las aplicaciones de estos interesantes dispositivos. Se trata de un sintonizador por variación de tensión. El circuito sintonizado LC es fijo, pero en paralelo con el mismo hay un diodo varicap D . La batería o fuente de tensión está derivada sobre una resistencia variable R , que permite aplicar al diodo tensiones inversas desde cero hasta el máximo de la fuente. Y deben ser inversas porque no se busca la conducción de corriente directa a través del diodo sino el efecto capacitivo del mismo. Al estar el varicap en paralelo con el circuito sintonizado, la capacidad total del mismo, suma de la de C y del diodo, es variable, y altera la frecuencia de sintonía entre dos límites. El capacitor C_1 tiene por misión impedir la descarga de la batería sobre la bobina, y se le da una capacidad grande en relación con C para que no intervenga en la resonancia. El bobinado CH es un choque de R.F., o sea de alta inductancia, para impedir que la señal de alta frecuencia del circuito sintonizado se descargue en la batería. Como la presente, hay otras aplicaciones del varicap, allí donde se necesita un elemento que varíe la capacidad al variar la tensión aplicada.

Día 11

Hemos visto una cantidad de nuevos dispositivos de brillante concepción técnica y de grandes posibilidades en la electrónica, algunos de los cuales nos eran conocidos y otros, por qué no decirlo, resultaron sorprendidos, y nos enteramos que existían recién cuando leímos las páginas precedentes. Es que la electrónica avanza a pasos agigantados y nos depara a cada rato soluciones a viejos problemas; otras veces reemplaza un accesorio voluminoso, de vida precaria, caro, por otro pequeño, eterno y barato. Los elementos que hemos tratado serán aplicados en circuitos que estudiaremos en lo que resta del libro, en algunos casos, mientras que en otros nos conformaremos con haber facilitado el camino para que se pueda entender un nuevo circuito que aparezca en una revista o en un libro modernos.

En la presente jornada nos ocuparemos de la estabilización y conversión de tensiones, es decir, del problema que se presenta para mantener constante la tensión en un circuito o para alimentar con corriente alterna un aparato que la requiere cuando disponemos únicamente de corriente continua. Por ejemplo, sabemos lo que ocurre cuando la tensión de la línea está muy baja y los aparatos que deben conectarse a ella no funcionan; otro caso sería el de usar en el automóvil una afeitadora eléctrica o algo por el estilo. Los problemas son conocidos y las soluciones las veremos de inmediato.

ESTABILIZACION Y CONVERSION DE TENSIONES

Hay una aparente mezcla de temas en este capítulo, debido a que tenemos dos asuntos diferentes a tratar, pero ambos se refieren en cierto modo a la alimentación de aparatos y por ello están vinculados. Las fuentes reciben energía de un tipo y la entregan de otro y muchas veces se pide de ellas que lo que entregan sea mejor que lo que reciben. Comenzaremos con la estabilización, que también puede llamarse regulación, aunque generalmente la primera es una función automática y la segunda puede ser manual o automática. En la segunda parte estudiaremos la conversión de corriente continua en alternada y la de continua de una cierta tensión en otra continua de tensión diferente; la conversión de alterna en continua ya ha sido estudiada en el capítulo 8, pues ello se hace con rectificadores.

Estabilización de tensión con varistores

Si bien la potencia que pueden manejar los varistores o resistores VDR es pequeña, del orden de pocos Watt (el de 40 mm de diámetro maneja 3 Watt), se emplean en muchos circuitos en los que se requiere estabilizar la tensión, cuidando, por supuesto, el detalle de la di-

sipación máxima; como se trata de circuitos parciales y no de mantener la tensión de todo el equipo, las VDR pueden usarse en muchas aplicaciones.

El montaje básico, que ya conocemos por haberlo mencionado en el capítulo anterior, se ve en la figura 236. El consumo o carga está representado por Z y la tensión que alimenta a ese sector del circuito es E ; la tensión sobre la carga sabemos que se calcula fácilmente multiplicando el valor óhmico de Z por la intensidad de corriente circulante I . Si varía el consumo no podría mantenerse constante esa tensión, salvo que provoquemos alteraciones de la caída de tensión en R . Eso es precisamente lo que hace la VDR, puesto que al aumentar la corriente I se produce una disminución de la tensión en los bornes de la carga y de la VDR; ella aumenta rápidamente su resistencia y por ende se reduce la corriente que la atraviesa, cosa que ocasiona una disminución de la caída de tensión en R y, consecuentemente, un aumento compensatorio de la tensión en la carga. Si el consumo disminuye, el proceso es inverso y siempre tendremos una estabilización de la tensión en la carga.

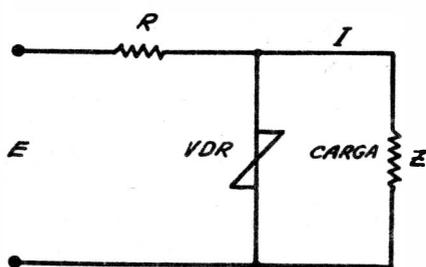


FIG. 236. — Circuito básico de estabilización de tensión con VDR.

Hay casos en que la VDR se emplea conectada en serie con el consumo en lugar de derivada sobre el mismo, tal como se ve en la figura 237. El hecho de que la resistencia del varistor aumenta cuando aumenta la tensión entre bornes, pero los aumentos de tensión y de corriente no siguen una variación lineal sino que, observando la figura 223, comprobamos que a grandes aumentos de I corresponden leves aumentos de V ; esto se traduce en que al aumentar la carga disminuye la resistencia y viceversa. Luego, el VDR conectado en serie obra como una caída de tensión que se reduce al aumentar el consumo, o sea que es un estabilizador de tensión sobre la carga. En todos los casos deberá tenerse en cuenta la máxima disipación recomendada por la fábrica, la cual se calcula, para una VDR determinada, multiplicando el valor de la resistencia por el cuadrado de la intensidad que la recorre.

Un circuito más elaborado, que tiene una mayor propiedad estabilizadora, es el montaje en puente que vemos en la figura 238. Se trata de conectar dos VDR y dos resistores fijos comunes. El grado de regulación que se obtiene con el puente es mayor que con el circuito simple de la figura 236 y se recurre al mismo cuando el costo de los elementos lo justifica. Es un montaje especialmente apto para estabilizar la tensión de salida cuando es variable la tensión de entrada E .

En otras ramas de la electrónica se emplean también las VDR para estabilizar la tensión de una parte de un circuito. Por ejemplo en tele-

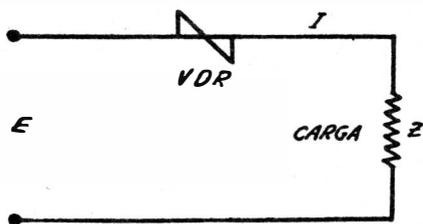


FIG. 237. — Circuito estabilizador con VDR en serie.

visión han encontrado amplio uso en diversas secciones del circuito de los televisores. Algunos ejemplos serán ilustrativos, aunque no se mencionen todos porque, como es lógico, constantemente se están incorporando nuevas aplicaciones.

Véase por ejemplo la figura 239, que muestra la aplicación de una VDR para estabilizar el ancho de imagen en un televisor. Se trata de colocar un triodo como rectificador de impulsos de barrido horizontal, al cual se le coloca una VDR como resistor de cátodo. Si aumenta la amplitud de los pulsos tanto como para que la tensión en placa del triodo supere a la tensión en cátodo, la válvula conduce y se produce una disminución de tales pulsos por aumento de la caída de tensión en resistores que se encuentran en el circuito. La VDR se encarga de que la tensión en ese cátodo se mantenga constante aun frente a variaciones grandes de la tensión $+B$.

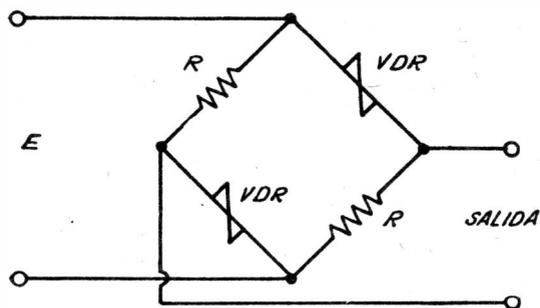


FIG. 238. — Circuito estabilizador a puente con resistores VDR.

En la figura 240 tenemos otra aplicación de la VDR. Se trata de conectarla derivada sobre el primario del transformador de salida del circuito de barrido vertical, donde suelen producirse sobretensiones y oscilaciones que conspiran contra la secuencia de los cuadros en la imagen. Siendo la VDR un estabilizador de tensión por excelencia, su acción impide que la tensión presente en el transformador altere su valor, con lo que, consecuentemente, se impide la aparición de sobretensiones; en este sentido la VDR es superior a la acción de un resistor común que se usaba siempre en ese circuito.

Elevadores de tensión

El problema de las fluctuaciones de la tensión en un circuito, cuando las variaciones son en aumento, o en leves disminuciones, se resuelve de la manera como se ha visto en párrafos anteriores, pero cuando la tensión de la línea baja en forma alarmante, no hay regulador de tipo

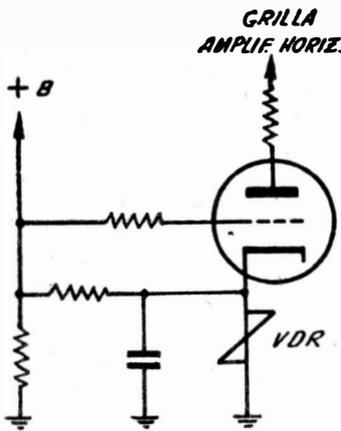


FIG. 239. — Aplicación de una VDR para estabilizar el ancho de imagen en televisores.

común que se preste para resolver la cuestión. Hay que actuar directamente en la línea, y a la entrada de la instalación, o por lo menos en la conexión del aparato que deba funcionar con tensión normal.

La solución más económica para elevar la tensión de entrada es el empleo de transformadores elevadores, o mejor aún, autotransformadores. Veamos, por ejemplo, la figura 241 que nos muestra la conexión de un transformador elevador; en realidad no se emplean transformadores, pero se prestan mejor para entender el funcionamiento del sistema. El primario se conecta directamente a la toma de la línea de canalización donde se va a conectar el aparato a usar. Este bobinado tiene varias derivaciones, calculadas de modo que cada una de ellas corresponda a 5 ó a 10 Volt. En la figura se han colocado para 20 Volt para simplificarla, pero eso no modifica la teoría. El secundario se conecta directamente al aparato de consumo, y lleva conectado en forma permanente un voltímetro.

Resulta evidente que si la tensión de la línea es, en un cierto momento, de 220 Volt, debemos

correr la selectora al punto en el cual la cantidad de espiras del primario es igual a la del secundario, obteniéndose entonces 220 Volt en el secundario. Si la tensión de línea baja, corremos la selectora hasta que el voltímetro secundario marque la tensión normal y eso ocurrirá cuando hagamos coincidir la tensión que hay en la línea en ese momento con la cifra que corresponde a la derivación tomada por la selectora.

Analizando el aspecto económico del problema, es clásico admitir que cuando la relación de transformación se acerca a la unidad, el autotransformador resulta más barato que el transformador. Por este motivo, en todos los elevadores de tensión se emplean autotransformadores, según el esquema de la figura 242. La única diferencia con el esquema anterior es que, por haber un solo bobinado, el aparato o carga se

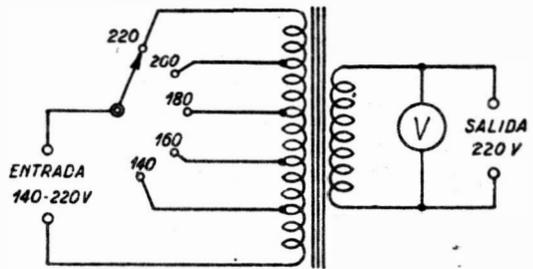


FIG. 241. — Disposición de un transformador con primario a topes para regular la tensión secundaria.

conecta directamente a los extremos del bobinado. La línea se aplica a través de la llave selectora, igual que en el caso anterior.

Estabilizadores automáticos

El problema que crean los elevadores de tensión es que cuando la tensión de la línea aumenta por sobre el valor bajo a que había descendido, si el usuario no está atento se aplica a los artefactos conectados una tensión excesiva que puede dañarlos. Una de las soluciones, cuando no se puede estar vigilando constantemente al elevador, fue la de conectar una chicharra que está graduada para que funcione cuando la tensión supera un poco los 220 Volt, de modo que cuando se oye la chicharra debe rebajarse uno o más puntos de la llave selectora. Claro que esta solución es viable cuando hay gente cerca del elevador y no sirve cuando quedan aparatos conectados en ausencia de los moradores de la casa.

Debido a esa razón y a la comodidad que representa la regulación automática o estabiliza-

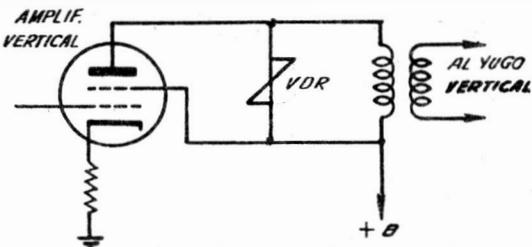


FIG. 240. — Aplicación de la VDR para evitar sobretensiones en el barrido vertical de un televisor.

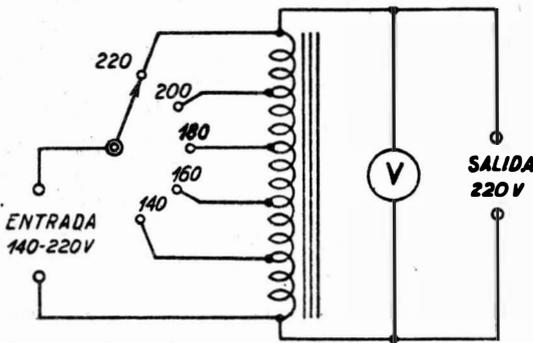


FIG. 242. — Disposición de un autotransformador con toques en el bobinado para regular la tensión entre sus extremos.

ción de la tensión de línea, se han diseñado estabilizadores completamente automáticos de tensión. La mayoría de los existentes funciona bajo uno de los dos principios siguientes: a transformador saturado o a válvulas. Otros tipos son menos frecuentes y no nos ocuparemos de ellos.

Comencemos por conocer el tipo más simple que es el de transformador saturado, cuyo esquema se muestra en la figura 243. En particular, el modelo elegido es del tipo de resonancia, lo que explica la inclusión del capacitor C en el circuito. El bobinado del transformador T_2 tiene dos derivaciones y su inductancia total está en resonancia para la frecuencia de la línea con la capacidad de C . El transformador T_1 tiene dos secciones o bobinados independientes. Las conexiones muestran que la línea aplica su tensión de entrada al bobinado N_1 y a parte del bobinado del otro transformador, la parte ab . La tensión de salida se toma en N_2 con la parte ac de T_2 .

La teoría de funcionamiento de este transformador es bastante compleja, pues intervienen fenómenos de saturación magnética, resonancia eléctrica, suma vectorial de tensiones alternas, etcétera. Para que el lector aproveche la men-

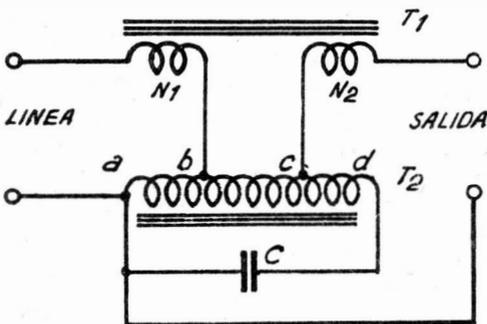


FIG. 243. — Esquema de un estabilizador automático de tensión a transformador saturado.

ción que hemos hecho le daremos un ejemplo práctico. Supongamos que se desea un estabilizador para una carga de 150 Watt con una regulación de tensión del 25 % o sea que la tensión de línea puede bajar hasta 165 Volt. Los datos resultantes son:

Núcleo de T_2 : 15 cm² (3 x 5).

Núcleo de T_1 : 15 cm².

Capacidad C : 10 mfd (2 de 20 mfd en serie).

Espiras de T_2 : 800 (derivaciones a 235 y 410).

Alambre para T_2 : 1.2 mm diámetro.

Espiras para T_1 :

N_1 : 518 espiras, alambre de 1,3 mm.

N_2 : 128 espiras, alambre de 0,7 mm.

Fuente estabilizada para amplificadores

Algunos amplificadores de audio a transistores trabajan en condiciones tales que requieren una tensión de alimentación muy estable, con una constancia en las cifras del orden del 1 %. Como el consumo de corriente sobre la fuente varía en esos equipos según el nivel de salida, se requiere algún dispositivo estabilizador de tensión. De entre los muchos elementos aptos para conseguir tal estabilización se elige en este caso al diodo Zener; en un ejemplo práctico podremos ver la solución.

La figura 244 nos muestra el circuito de una fuente estabilizada al 1 % que suministra 30 Volt a un consumo de 2 Amper. Consta de un transformador que tiene un primario para la tensión de línea y dos secundarios: uno de 33 Volt a 2 Amper y otro de 35 Volt a 0,05 Amper. Al primer secundario se le aplica un rectificador en puente formado por cuatro silicenos (D_1 a D_4) de 100 VPI a 2A (Siemens B40C2200). Al puente sigue un resistor de protección contra transitorios y luego viene el transistor Q_1 que actúa como resistor variable en serie con el consumo.

Para conseguir el efecto regulador se utiliza un segundo transistor Q_2 cuya tensión de base está controlada por 2 diodos Zener D_6 y D_7 , los que reciben una tensión continua tomada desde el secundario inferior de T , el diodo D_5 y el filtro subsiguiente. Se utilizan dos Zener por razones prácticas que atienden a la existencia en el mercado. El conjunto Q_2 , D_6 y D_7 actúan bajo el efecto de un régimen de carga variable y afectan a la tensión de base de Q_1 cambiando la resistencia interna del mismo en sentido contrario al del aumento de la corriente de consumo. Con los valores indicados en el esquema se logra la estabilidad antes especificada.

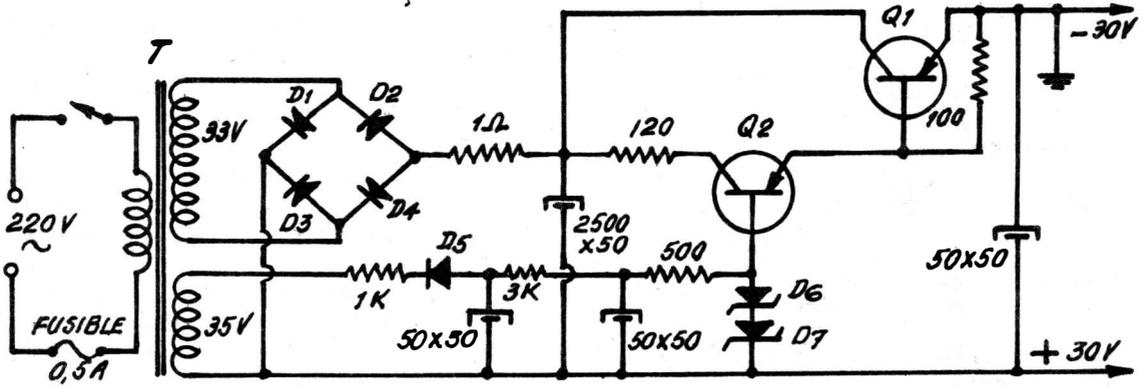


FIG. 244. — Esquema de una fuente estabilizada que suministra una tensión de 30 V a una corriente de 2 A.

Para el diodo D_5 se puede usar cualquiera de 100 VPI a 0,5 A. Los diodos Zener son de 15 V 0,3 W; el transistor Q_1 puede ser el AUY21-III, el AD163 o el AD131-IV; el transistor Q_2 puede ser el ASY48 en sus versiones IV 6 V.

Dobladores de tensión

La conversión de una tensión alterna en una continua ha sido estudiada en el capítulo 8, y vimos que tal cosa se lograba mediante los rectificadores. Un rectificador entrega una tensión continua de valor similar (no igual) a la tensión alterna que le aplicamos, y si queremos disponer de un valor distinto acudimos a insertar un transformador entre la línea y el rectificador. Pero hay casos en que se desea simplemente duplicar o triplicar la tensión alterna para tener una continua dos o tres veces mayor, y entonces el transformador resulta antieconómico. Excepcionalmente se usan cuadruplicadores de este tipo, pero para mayores aumentos de tensión ya conviene usar un transformador, tal como se estudió en el capítulo 8. Veamos entonces ahora los montajes de rectificadores multiplicadores de tensión, de los cuales sólo trataremos el doblador, el triplicador y el cuadruplicador.

El doblador de tensión de onda completa puede verse en la figura 245. Emplea dos diodos a válvula o mejor aún, dos silicónes, y la tensión de entrada se aplica entre el punto de unión entre ellas y el de los dos capacitores que hay a la salida y que cumplen una función importantísima.

La tensión de entrada es alterna y durante su semiciclo (1) positivo conduce el diodo superior por ser positiva su placa, con lo que se cargará el capacitor C_1 . Durante el medio ciclo negativo (2), conduce el diodo inferior por ser negativo el cátodo y se carga el capacitor C_2 .

De este modo, las tensiones de carga de C_1 y C_2 se suman por quedar en serie, y a la salida habrá el doble de la tensión de entrada. Los gráficos indican las formas de onda a la entrada y a la salida. La carga se conecta entre los bornes positivo y negativo marcados en la figura. Las capacidades deben ser muy elevadas para posibilitar la alimentación del circuito de carga, cuya tensión tendrá la forma que muestra el gráfico de salida. Un filtro adicional terminará de enderezar la forma de onda y se tendrá continua pura o por lo menos casi pura. Los resistores R se colocan para polarizar los electrolíticos.

Veamos las características que deben tener los diodos y los capacitores a usar: Los capacitores deben ser de por lo menos 100 mfd cada uno y su tensión de aislación no será inferior a 400 Volt, para cubrir el valor de pico de la tensión alterna aplicada, que para 220 Volt eficaces es de unos 314 V. Los diodos deben ser de la capacidad de corriente igual o mayor que el consumo que se haga a la salida y su máxima tensión inversa, de acuerdo con las normas dadas en el capítulo 8, será de 3 veces la tensión alterna, por lo que se colocarán silicónes de 750 V. Los resistores R son de 250 Kiloohm, a 1 Watt de disipación.

El inconveniente práctico del doblador de onda completa es que no puede tenerse un retorno de masa común para los circuitos de en-

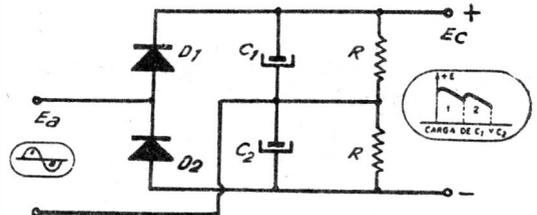


FIG. 245. — Esquema básico de un doblador de tensión de onda completa.

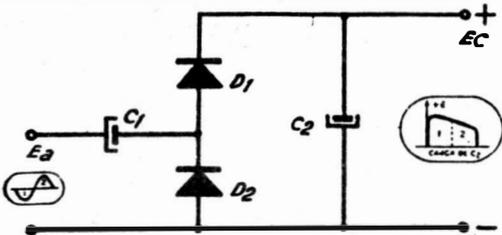


FIG. 246. — Esquema básico de un doblador de tensión de media onda.

trada y de salida. Debe conectarse sólo uno de ellos a masa, lo que restringe las posibilidades de aplicaciones en muchos casos. Para solucionarlo se emplea el circuito que describimos de inmediato.

El doblador de tensión de media onda puede verse en la figura 246, y tiene también dos diodos a válvula o dos silicenos, pero los dos capacitores no están en serie sino que uno, de gran capacidad, queda en serie con los bornes de entrada y el otro, de menor capacidad pero de doble aislación, queda derivado sobre los bornes de salida. Aquí puede conectarse a masa un borne de la entrada y uno de la salida, ventaja muy apreciable.

Durante el semiciclo negativo (1), y comenzamos así por razones didácticas, conduce el diodo D_2 por ser negativo al cátodo y carga el capacitor C_1 . Durante el semiciclo positivo (2) conduce el diodo D_1 , estando sometido a doble tensión pues se suma la de la línea y la de carga de C_1 , de modo que C_2 se cargará a doble tensión. La diferencia con el circuito anterior es que antes la carga de los capacitores ocurría dos veces por ciclo y ahora una sola vez por ciclo. Esto se ve en los gráficos de la forma de onda de la tensión de salida y da los nombres de onda completa y media onda a los dos dobladores descriptos. A la salida del segundo circuito puede disponerse también un filtro convencional.

En la práctica las capacidades a emplear están relacionadas con los consumos. Así, para cargas de hasta 100 mA bastan capacitores de 100 mfd, pero esa capacidad aumenta para ci-

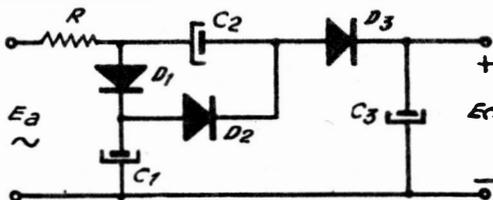


FIG. 247. — Esquema básico de un triplicador de tensión.

fias mayores. Puede estimarse, en cifras redondas, que el valor de esas capacidades es del orden de 1 mfd por miliamper de consumo como mínimo. Se usa doble capacidad para C_1 que para C_2 .

En cuanto a las tensiones de trabajo de diodos y capacitores, valen las consideraciones hechas para el doblador anterior. El capacitor C_1 está sometido únicamente al pico de tensión alterna de entrada, por lo que podrá ser del tipo de 400 Volt, pero el de salida, C_2 deberá ser de por lo menos 600 Volt, pero de una calidad que asegure esa cifra; en caso de duda se colocarán dos de 400 V. en serie, polarizándolos con resistores en la forma como se ve en la figura 245; la capacidad, en ese caso, será de 200 mfd cada uno. Los diodos son iguales que para el doblador anterior.

Triplificadores y cuadruplicadores

El estudio de los dobladores de tensión que hemos hecho nos permitirá entender fácilmente el funcionamiento de los triplicadores y cuadruplicadores de tensión que también se utilizan comúnmente. Comencemos con el triplicador, cuyo circuito básico vemos en la figura 247 y veamos su funcionamiento:

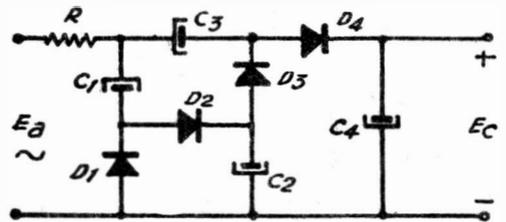


FIG. 248. — Esquema básico de un cuadruplicador de tensión.

Durante el primer medio ciclo de la tensión alterna aplicada conduce el diodo D_1 , y el capacitor C_1 se carga a la tensión de entrada E_a ; durante el otro medio ciclo el conjunto formado por el diodo D_2 y el capacitor C_2 se cargan al doble de la tensión E_a por estar cargado C_1 y su carga se suma a la de la tensión de entrada. Entonces encontramos al diodo D_3 que conduce pero que recibe el total de tensión de los capacitores cargados, que es el triple de la tensión de entrada E_a , y que es la tensión a la cual se cargará el capacitor C_3 . Obsérvese que el punto negativo del circuito puede ponerse a masa pues es común para la entrada de alterna y la salida de continua.

Analicemos las tensiones de trabajo; el capacitor C_1 debe tener no menos de 150 mfd a

una tensión igual a la de cresta de E_n , por lo que se toma 400 Volt para redes de 220 V. El capacitor C_2 debe tener no menos de 100 mfd y su tensión es el doble de la cresta de entrada, tomándose por lo menos 600 V. Y el capacitor C_3 debe tener no menos de 100 mfd a una tensión de trabajo de 900 Volt. Como no son comunes electrolíticos de esa cifra se pueden poner dos en serie del tipo de 450 V cada uno, los que deberán tener el doble de capacidad; no debemos olvidar colocarles en paralelo a los electrolíticos que están en serie entre sí, resistores de polarización de 500 Kiloohm cada uno. Veamos ahora los diodos. Cada diodo debe tener una tensión inversa de cresta igual al triple del valor eficaz de entrada, o sea no menos de 750 Volt, para dar una cifra existente en plaza, y de acuerdo a lo que especificamos en el capítulo 8. Las corrientes deben ser las que corresponden al consumo que se haga sobre los bornes de salida.

Y ahora pasemos a analizar el cuadruplicador de tensión cuyo esquema vemos en la figura 248. Durante el semiciclo negativo el capacitor C_1 se carga a través del diodo D_1 y durante el semiciclo positivo C_2 se carga a través del diodo D_2 , pero al doble de tensión, por estar C_1 cargado sumándose a la tensión de entrada. Además, en el semiciclo negativo C_3 se carga a través de D_3 al triple de tensión y en el semiciclo positivo C_4 se carga a través de D_4 al cuádruple de la tensión de entrada. En resumen, que a la salida tenemos una tensión igual a cuatro veces la de entrada E_n , como se quería.

Respecto de la facilidad de conectar el negativo general a masa, también sirve en este caso, como en el triplicador anterior. Veamos ahora

los valores de tensiones de aislación de los elementos. En general, si tomamos como tensión de entrada una cifra igual al valor eficaz, 220 Volt, puede adoptarse una regla práctica. Esa cifra es 300 y cada capacitor debe tener una tensión de trabajo igual a 300 multiplicado por las veces que resulta multiplicada esa carga; así el primer capacitor es para 300 V; C_2 es para 600 V; C_3 debe ser para 900 V y C_4 para 1200 Volt. Como se dijo anteriormente esas aislaciones se pueden lograr combinando series de doble capacidad o de triple capacidad si van tres en serie. Las capacidades deben ser 200 mfd para el primero, 150, 150 y 100 mfd respectivamente para los restantes. Y con respecto a los diodos, cada uno de ellos debe ser para 750 V. de tensión inversa y de una corriente que esté de acuerdo con el consumo.

Convertidor de continua a continua

Cada vez que se deben alimentar válvulas termoiónicas con fuentes de baja tensión se plantea el problema de elevar esa baja tensión continua, generalmente proveniente de una batería de acumuladores. Siempre se usaron para esa finalidad los vibradores combinados con una rectificadora o los tipos sincrónicos que daban directamente continua a la salida; pero la reducida duración de los contactos móviles de los vibradores hizo que esos sistemas fueran hoy día tendiendo a ser reemplazados por los convertidores electrónicos y los más modernos emplean transistores y no válvulas.

Para describir estos circuitos de convertidores de continua a continua tomaremos un ejemplo clásico, ya que la mayoría de las baterías de plaza son de 12 Volt y la tensión continua que

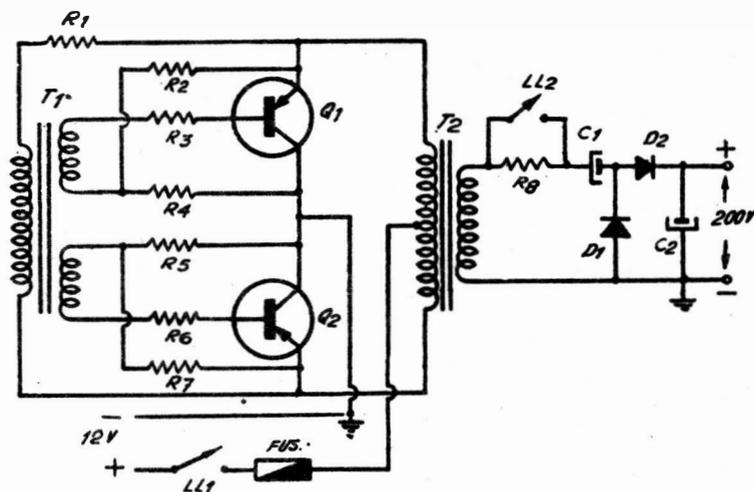


FIG. 256. — Esquema de un convertidor electrónico de continua a continua, 12/200 Volt con una potencia de 40 Watt. La llave LL_1 permanece abierta al conectar el convertidor y se cierra inmediatamente que éste funciona.

se necesita es de unos 200 Volt. Veamos entonces un convertidor de 12 a 200 Volt de continua, con una potencia de 40 Watt, cuyo esquema se muestra en la figura 256. Se trata de un diseño de FAPESA, firma que fabrica los transistores y diodos utilizados. Emplea un oscilador simétrico fuertemente realimentado, que emplea dos transistores en esa función y que rectifica la tensión alterna obtenida mediante un montaje doblador de tensión de media onda, tal como el que vimos en la figura 246.

La clave de este circuito la constituyen los dos transformadores, cuyas características son: T_1 es de baja potencia, unos 2 Watt, por lo que se usa un núcleo de $0,4 \text{ cm}^2$ de sección. El bobinado único primario tiene 270 espiras de alambre de $0,25 \text{ mm}$ de diámetro; los dos secundarios son de 90 espiras con alambre de $0,4 \text{ mm}$ de diámetro cada uno. T_2 es el transformador de potencia y lleva un núcleo de 4 cm^2 de sección; el bobinado primario es de 75 espiras en cada rama, con alambre de 1 mm de diámetro y el secundario tiene 750 espiras de alambre de $0,3 \text{ mm}$.

Completan el circuito los siguientes materiales:

R_1 : 180 Ohm, 10 Watt
 R_2 ; R_7 : 1,5 Ohm, alambre de $0,15 \text{ mm}$
 R_3 ; R_6 : 5 Ohm $\frac{1}{4}$ Watt
 R_4 ; R_5 : 1 Kilohm 1 Watt
 R_8 : 47 Kilohm 1 Watt

C_1 : 50 x 350 V.
 C_2 : 200 x 350 V.
 Q_1 ; Q_2 : ASZ 15
 D_1 ; D_2 : OA 210
 Fusible 5 Amper
 LL_1 : llave 10 Amper
 LL_2 : llave 1 Amper que se cierra después del arranque.

Conversión de continua en alterna

Cuando se dispone de una tensión continua, y ello es frecuente en el caso de baterías de acumuladores, puede obtenerse una tensión alterna del valor deseado utilizando un convertidor electrónico similar al que mostramos en la figura 256, pero no conectando el rectificador que aparece en el secundario de T_2 . O sea que en el secundario de tal transformador obtenemos una tensión alterna. La relación de transformación de T_2 se calcula tomando la mitad de espiras del primario, o sea la que corresponde a una rama del mismo. Para tener una idea, si colocamos la misma cantidad de espiras en el secundario que en cada mitad del primario, la tensión alterna secundaria será algo menor que la que da la batería, en este caso 12 Volt. El valor de alterna es el de cresta, de modo que el eficaz será el 70% del mencionado. Lo mismo que en el caso de la figura 256, debe tenerse en cuenta la potencia absorbida en el secundario pues la misma proviene del circuito primario, o sea del convertidor.

Día 12

No podemos negar que el tema que acabamos de tratar es interesante, pues su conocimiento nos permite pasar de un valor cualquiera de tensión, a otro mayor o menor, no importando que se tenga continua y se quiera alterna o viceversa; es decir que si tenemos un aparato que debe ser conectado a una clase y valor de tensión especificados podemos alimentarlo partiendo de otro valor y otra clase, si fuera preciso. Y todavía podemos cumplir con la exigencia que hubiera acerca de la constancia de esa tensión. Pero eso ya lo hemos estudiado y tenemos que seguir adelante con nuestra tarea.

Abordaremos ahora un nuevo tema tanto o más interesante que los anteriores: el calor electrónico; no debe confundirse esta denominación con el calor eléctrico, vastamente difundido hace muchísimos años, que es el que se produce mediante el paso de la corriente por una resistencia de alambre; las planchas, cocinas, calentadores y estufas eléctricas funcionan con calor eléctrico. Ahora trataremos el calor electrónico producido por corrientes de alta frecuencia, que en los últimos años se ha impuesto para ciertas tareas industriales en reemplazo de otras fuentes de calor que no son tan fácilmente controlables. Para citar una sola de sus aplicaciones diremos que la costura de materiales plásticos por vía electrónica ha sido la solución que impulsó realmente la industria de esos materiales. Con lo dicho podemos entrar en materia, pues ya tenemos fijado el tema de la jornada.

CALOR ELECTRONICO

Cuando tocamos el núcleo de un transformador y sentimos que está caliente y hacemos lo mismo en un capacitor que está en malas condiciones y comprobamos que se ha elevado su temperatura, estamos descubriendo una fuente de calor, un sistema de producir calentamiento de materiales por vía electrónica; en el primer caso tenemos el calor por vía inductiva y en el segundo por vía capacitiva. Entonces, como introducción, podemos decir que para calentar materiales metálicos usamos la inducción, colocando el metal dentro de una bobina; y para calentar materiales no metálicos, que son aislantes, usamos un capacitor y el material lo colocamos como dieléctrico. Estas dos clases de calor electrónico son las fundamentales, y lo dicho es muy poco como para que podamos comprender la teoría, pero nos dice ya que el principio es sencillo, que hay dos grandes grupos de aparatos de calor electrónico según el tipo de material a calentar, y que los equipos productores de calor serán bobinas o capacitores, uno para cada tipo antes mencionado.

CALOR INDUCTIVO

Desde que conocemos los transformadores, las inductancias, las impedancias de filtro y en general todo elemento que tenga núcleo de hierro, hemos oído que los mismos son buenos o que trabajan descansados si sus respectivos núcleos no calientan y en cambio se les atribuye mala calidad o condiciones de trabajo sobrecargado cuando calientan en exceso. Más todavía, cuando se habla de transformadores, y nosotros lo hemos hecho en el capítulo 6, se afirma que el núcleo no puede ser macizo porque al inducirse en él corrientes parásitas, se calentaría en exceso.

Claro que si colocamos un material conductor dentro de una bobina recorrida por corriente alternada, el campo magnético que genera esa bobina será también alternado, es decir variable, y por ende se producirán en la pieza metálica corrientes inducidas que la recorrerán en todas direcciones. Como esa pieza tiene baja resistencia eléctrica, las corrientes alcanzarán intensidades grandes y se producirá una gran canti-

dad de calor. Si esa pieza debe ser el núcleo de un transformador o de una impedancia, para evitar ese calentamiento excesivo se recurre a formar el núcleo con pilas de chapas (véase figura 121), con lo que cada una de ellas tiene mucha mayor resistencia eléctrica y la corriente inducida adquirirá valores menores.

Pero si lo que queremos es producir calor ex-profeso, no haremos la pila de chapas sino que dejaremos el núcleo macizo. También sabemos que si la frecuencia de la corriente alternada

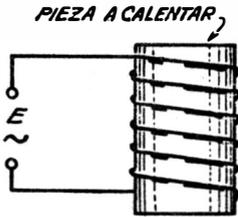


FIG. 257. — Principio del calentamiento por inducción.

que recorre la bobina es mayor, las corrientes parásitas serán de mayor intensidad; luego, para producir calentamiento por este sistema, se usarán corrientes de alta frecuencia y no la corriente tomada de la línea de canalización.

Y ya llegamos a la esencia del sistema de calentamiento por inducción o *calor inductivo* del que queremos hablar. En esencia el sistema está ilustrado en la figura 257. Una bobina de gran diámetro, conectada a una fuente de tensión E de alta frecuencia, generalmente unos 400 Kilociclos por segundo, dentro de la cual se coloca la pieza metálica a calentar. Véase que en este caso se aprovecha lo que en los transformadores se consideraba un defecto, es decir se utilizan las corrientes parásitas para producir calor y no se trata de reducir ese calor. Falta saber para qué queremos calentar la pieza que colocamos dentro de la bobina.

Bueno, una pieza de metal necesita ser calentada para templarla, si es un acero susceptible de tal operación, para soldarla a otra pieza, para fundirla. En el caso de querer fundir un metal, dentro de la bobina no se coloca directamente el metal sólido sino un *crisol*, que es un recipiente hecho con un material refractario, muy resistente al calor; dentro del crisol van los trozos sólidos del metal a fundir y el calor producido por inducción produce la fusión del metal. Es evidente que este sistema se usará preferentemente con metales de baja temperatura de fusión, como son los metales llamados

blandos (plomo, estaño, etc.), pero existen los llamados hornos de inducción en los que se funden metales más duros.

Calentamiento superficial

Merece una mención aparte el caso del endurecimiento o templado superficial de piezas de acero, operación que suele llamarse *cementación*. Son piezas que deben presentar gran dureza exterior, pero conservar sus condiciones de elasticidad en su seno. Ordinariamente, esa operación se hacía cubriendo la pieza de acero con un material carbonoso y sometiendo al conjunto a una temperatura de rojo vivo durante un tiempo prolongado, a veces muchas horas. Si el proceso se realiza por calor inductivo, las cosas se simplifican notablemente, como veremos.

Para comprender ese proceso, digamos antes algo sobre lo que se entiende por *efecto pelicular*; ocurre que si una corriente alternada recorre un conductor se forman algo así como filetes o venas de conducción en la masa metálica del conductor, de tal forma que ese conductor pareciera formado por multitud de delgados cables prensados en un todo sólido. Pero, en realidad, son los mismos electrones los que

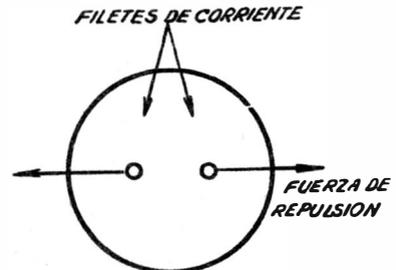


FIG. 258. — Los filetes de corriente se repelen entre sí.

forman, en su veloz carrera, hilas multifilares. Esas venas son, entonces, hilos de corriente alternada, y no nos preocuparían sino por el hecho de que al ser alternada, esta corriente crea campos magnéticos en su alrededor; tales campos son también alternados y se originan fenómenos electromagnéticos con fuerzas de repulsión entre cada filete de corriente (ver figura 258), fuerzas que son las que hacen funcionar los motores eléctricos, sin ir más lejos. Claro que mientras la frecuencia de la corriente alternada es baja, ese fenómeno pasa inadvertido y no se manifiesta por ningún efecto particular.

Pero si aumentamos la frecuencia, digamos que llegamos a los millares de ciclos por segundo, esas fuerzas de repulsión entre filetes

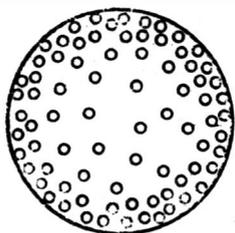


FIG. 259. — La repulsión empuja hacia la superficie externa del conductor a los filetes de corriente.

de corriente los empujan hacia afuera y comienza a producirse lo que se llama *conducción superficial o efecto pelicular*. Quiere decir que a medida que aumenta la frecuencia, la corriente tiende más y más a circular por las capas superficiales del conductor y menos por su interior o parte central, tal como lo quiere representar la figura 259.

En la práctica, el efecto pelicular tiene una cierta profundidad o penetración, que es la medida desde la superficie externa del conductor hasta su punto interior, donde todavía hay filetes de corriente en cantidad o densidad apreciable; la figura 260 nos muestra ese concepto de penetración. Si representamos

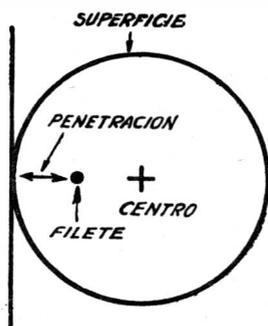


FIG. 260. — Se llama *penetración* a la distancia desde la superficie externa hasta el punto donde todavía se encuentran filetes de corriente.

gráficamente las variaciones de la densidad de corriente en función de la penetración, tendríamos el gráfico de la figura 261. Se ve que a cierta penetración la densidad de corriente adquiere valores muy bajos y puede considerarse que la circulación es despreciable; claro que este gráfico vale para una cierta frecuencia, pues si la aumentamos, la penetración será menor.

Veamos ahora como podemos aplicar el efecto pelicular para cementar trozos de acero. La figura 262 nos muestra el esquema sintético de la operación. La pieza a cementar se coloca dentro de una bobina, la cual está recorrida por corrientes de alta frecuencia; ya hemos dicho que se usan cifras del orden de los 400 Kc/s. Esa bobina la hacemos con caño conductor, ya que por el mismo efecto pelicular que acabamos de mencionar, no tendría objeto de que fuera de cobre macizo: el caño de cobre permite un mejor enfriamiento de la bobina mediante una corriente de agua. Claro que no nos interesa producir calor en la bobina sino en la pieza. En la pieza de acero se produce el calentamiento por inducción, pero el efecto

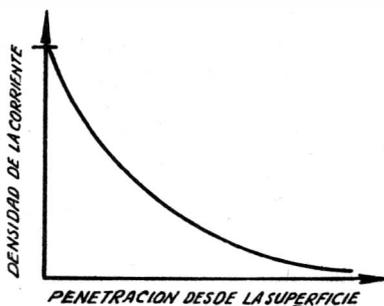


FIG. 261. — El efecto pelicular reduce la densidad de corriente en el interior de la pieza.

pelicular hace que ese calentamiento sea grande en una zona superficial y pequeño en el centro de la pieza, tal como lo quiere indicar la figura. En la práctica, la operación de cementación se hace a una penetración de más o menos un milímetro y dura solamente unos 5 a 10 segundos.

Además de cementar aceros por este sistema, se realiza el *recocido* de bronces, latones y otros metales similares; ello se debe a que, cuando se los ha trabajado en frío, esos metales se vuelven tan quebradizos que no pueden ser some-



FIG. 262. — La acción térmica se produce en una zona superficial de poca profundidad.

tidos a procesos mecánicos sin que se rompan. Entonces, se los somete a un recocido; por el método clásico, en horno, el recocido se hacía a una temperatura de 600°C durante dos horas. Por inducción se llega a 750°C en una operación que dura un minuto.

Soldadura por inducción

En los procesos de soldadura hay una importante distinción entre la que se denomina autógena y la no autógena. La segunda consiste en adosar dos piezas metálicas, colocando en la unión un fundente adecuado y el material soldante; el conjunto se calienta suficientemente para fundir el soldante, el que se cuele entre las dos piezas a soldar rellenando bien la unión de ellas. Es la llamada soldadura fuerte, con plata, cobre o con aleaciones de esos mismos metales.

Esa operación puede hacerse con el método de inducción, introduciendo las piezas a soldar con el fundente y el soldante en el interior de la bobina de calentamiento. Luego, se da corriente a la bobina y se produce la soldadura en forma más rápida y más uniforme que con los métodos clásicos. Idéntico sistema se usa para soldadura autógena y aún para secado de pinturas, esto último con temperaturas mucho menores, por supuesto; también se emplea el método inductivo para forjar cabezas de remaches.

El generador de R.F.

Desde que necesitamos una corriente de alta frecuencia que recorra la bobina de calentamiento, tenemos que disponer de un generador de tales corrientes, que en el capítulo 5 llamamos *oscilador*. Dadas las condiciones de trabajo, pues funcionan en talleres industriales expuestos al polvo y al tratamiento rudo, estos osciladores deben construirse de manera que soporten tales condiciones de trabajo. Las frecuencias necesarias son de orden de los 400 Kilociclos por segundo, pero para piezas livianas suelen usarse frecuencias mayores que llegan hasta los 30 Mc/s en algunos casos.

En la figura 263 vemos el circuito típico de un oscilador a válvula destinado a un equipo de calentamiento por inducción; no figuran en él elementos variables porque se trabaja con frecuencia fija. Es un oscilador a placa sintonizada con realimentación a grilla por vía inductiva; veamos sus componentes: La válvula

V es un triodo de potencia que tiene tres elementos, el cátodo —que es en la mayoría de los casos el mismo filamento—, la grilla y la placa. La grilla lleva su resistencia de polarización R_g derivada por el capacitor C_g ; la placa se alimenta a través de un bobinado o choque CH que impide que la R.F. vaya hacia la fuente, mientras que el capacitor C impide que la corriente continua vaya hacia el circuito-tanque. Este tanque está formado por la bobina B_p y el capacitor C_p que en conjunto resuenan a la frecuencia de trabajo. Sobre la bobina del tanque se arrolla otra bobina de acoplamiento B_a que permite conectar, mediante dos cables relativa-

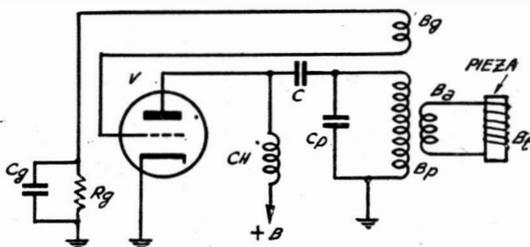


FIG. 263. — Circuito básico de un oscilador de R.F. para aplicar calor por inducción a una pieza.

mente largos la bobina de trabajo B_t , que es la que sirve para colocar en su interior la pieza a templar o el crisol para fundir metales.

En el esquema de la figura 263 falta los elementos para alimentar la válvula, y para esa finalidad hay que hablar de potencias a fin de darse una idea de la magnitud en juego. Para calentamiento por inducción se emplean siempre potencias grandes, del orden de los Kilowatt, de modo que en el oscilador se colocan válvulas de gran potencia. Son comunes tensiones de placa de algunos miles de Volt con consumos del orden de 1 Amper, de modo que la fuente de alimentación lleva un transformador para el filamento del triodo oscilador y otro para suministrar la alta tensión de placa, la cual debe ser rectificadora mediante una válvula rectificadora de alta potencia. Los diseños de estos equipos no están generalmente al alcance del no experto, pero en la segunda parte de este capítulo daremos un ejemplo con valores de un oscilador, a fin de que el lector tenga una idea de los elementos que intervienen. La recomendación de carácter general que se hace sobre estos equipos es que, como generalmente serán manejados por personal no experto en electrónica, deben dotarse de toda clase de dispositivos de protección contra errores en el uso, y montarse de modo que soporten el trato brusco.

CALOR DIELECTRICO

El segundo sistema de calor electrónico que habíamos mencionado es el denominado calor por pérdida dieléctrica y al comienzo del capítulo hicimos una breve explicación sobre él.

En primer lugar, este sistema es apto para materiales no metálicos, es decir para materiales que son malos conductores de la electricidad, como ser los plásticos, el caucho, las maderas, algunos productos químicos y los alimentos en general; como se ve, el campo de posibilidades es sumamente amplio. Con el calor dieléctrico pueden soldarse materiales plásticos (todos hemos visto las carteras de tela plástica soldada, las bolsitas de polietileno, etc.), pueden precalentarse productos de caucho sintético, pueden someterse a un calentamiento suave ciertos alimentos (caso de la pasteurización), puede producirse la esterilización de material quirúrgico, puede encolarse la madera para formar terciadas de todo tipo, etc.

Veamos ahora el principio de acción de este tipo de calor. Recordemos que hablamos de los capacitores que calentaban; en efecto, cuando tenemos un capacitor que calienta decimos que el dieléctrico del mismo está en malas condiciones y reemplazamos la unidad. En realidad todo capacitor tiene siempre una pequeña corriente de fuga a través del dieléctrico, pero esa corriente se mantiene en cifras bajas.

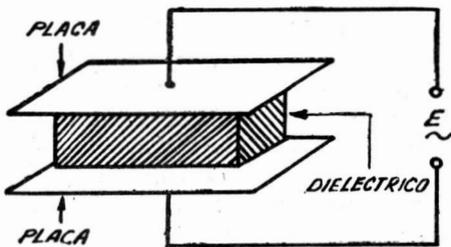


FIG. 264. — Principio de la producción de calor dieléctrico.

Si construimos un capacitor y le colocamos como dieléctrico un material aislante pero no completamente apto para esa función, como lo muestra la figura 264, y la tensión que le aplicamos es de alta frecuencia, la corriente de fuga será mayor que la normal de un capacitor perfecto, y el material calentará. No es necesario que el material colocado entre las placas quede perfectamente arrimado a ellas, pues en la figura 265 se muestra un caso en que el material apoya en la placa inferior sin tocar la superior;

sería el caso de usar una cinta transportadora de material que pasa entre las dos placas del gran capacitor deslizándose sobre la placa de abajo, sin que el material toque la placa superior.

El calor dieléctrico se produce entonces por un defecto de funcionamiento del capacitor que formamos con dos placas y con el material a calentar. Las ventajas evidentes son: primero, se puede controlar a voluntad la cantidad de

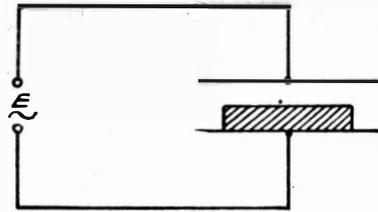


FIG. 265. — El material que actúa como dieléctrico no necesita tocar en ambas placas.

calor que se aplica a la substancia dieléctrica regulando la tensión que conectamos entre las placas, y segundo, el equipo generador es simple, de fácil manejo y admite cualquier tipo de electrodos de aplicación. Ejemplo típico de esto último es la máquina de soldar telas plásticas, que tiene una rueda conectada a uno de los polos y una placa metálica que sirve de mesa; haciendo pasar las dos telas juntas, la ruedita las va soldando, por lo que podría llamarse soldadura autógena plástica. Para otras aplicaciones, los electrodos de aplicación toman las formas que resulten más adecuadas.

Resumen de aplicaciones

Las máquinas de calentamiento dieléctrico tienen infinidad de aplicaciones, y sus diseños se ajustan a las mismas; daremos unos ejemplos para que se tenga una idea de las diferencias en los diseños y de la complejidad del problema para el proyectista de tales máquinas.

Para precalentar *biscochos* plásticos se usan máquinas que aplican el calor mediante dos electrodos planos de dimensiones no muy grandes. Esos trozos de material plástico se someten en la industria a un precalentamiento para curar el material y evitar que luego pierda su elasticidad y se haga excesivamente blando.

Para encolar maderas este sistema es óptimo, porque debido a las peores condiciones dieléctricas de la cola con respecto a la madera, la mayor cantidad de calor se desarrolla en la pri-

mera y casi nada en la madera. Se pueden encolar láminas planas colocadas paralelas (terciadas) o listones encolados de canto (placas). Las colas utilizadas son especiales y el endurecimiento es prácticamente instantáneo, de modo que cuando la placa de madera pasa por la máquina queda encolada y lista para el proceso siguiente.

Para coser láminas plásticas, como el pliofilm, polietileno, koroseal e infinidad de otros más, usados para hacer carteras, bolsas, impermeables, cortinas, etc., antes se usaba la máquina de coser a hilo, pero el material se debilitaba

nes, son otras tantas aplicaciones del calor dieléctrico. No podemos seguir citando posibilidades de estos modernos sistemas de calentamiento porque no es nuestro objetivo; lo que sí debemos señalar es que el diseño de las máquinas para utilizar el procedimiento no es simple y queda a cargo de los expertos.

Diseño de una máquina de calor dieléctrico

A fin de que el lector se forme una idea de los circuitos empleados en las máquinas que aprovechan el calor desarrollado en el dieléct-

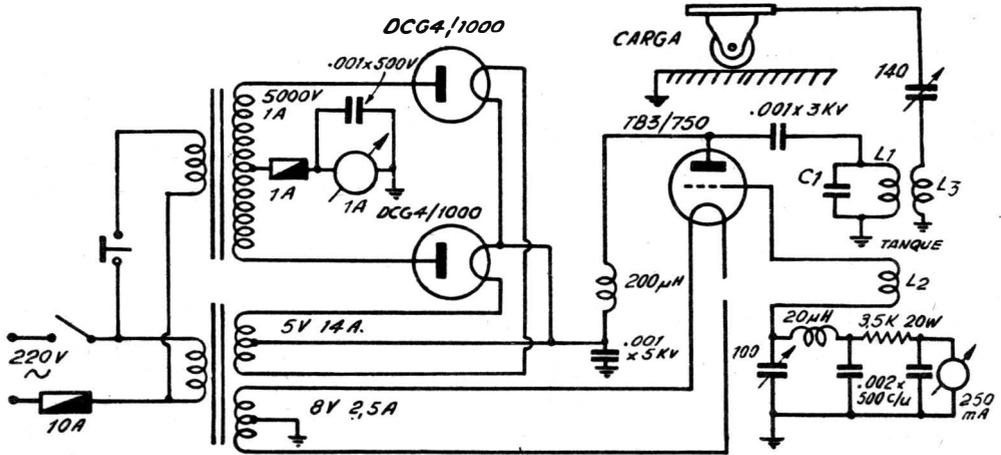


FIG. 266. — Circuito de una máquina para producir calor dieléctrico, usada para soldar plásticos.

por los agujeros de la costura, de modo que actualmente se emplea el cosido electrónico casi exclusivamente. Las láminas pasan juntas entre dos rueditas o una rueda y una placa, ambos elementos conectados a los extremos del tanque del oscilador; como consecuencia, los electrodos permanecen fríos y el plástico se calienta por calor dieléctrico, con lo que se suelda sin deformarse. Más adelante daremos la descripción de un generador de R.F. aplicable a esta finalidad por ser la más difundida entre los sistemas de calor electrónico.

La pasteurización de la leche y la cerveza puede hacerse, mediante el sistema descrito, dentro de las botellas, lo que habla bien claro de las ventajas del método. En la industria de la alimentación no es la única aplicación, pues hasta se ha utilizado para descongelar alimentos, con la ventaja de la uniformidad de calor en la masa congelada. El cocimiento de legumbres envasadas, la esterilización, la cocción de productos que deben expendirse en tales condicio-

trico, haremos una descripción de uno de ellos destinado a la soldadura de plásticos mediante costura electrónica continua. En este caso se trata de un equipo que trabaja en una frecuencia de 27,1 Megaciclos por segundo y desarrolla una potencia de 500 Watt sobre la carga.

Uno de los principales factores que debe tenerse en cuenta al diseñar estas máquinas es la variación que se produce en la frecuencia de trabajo por el hecho de que las diferencias de espesor y de composición de los plásticos a coser producen alteraciones en la impedancia cargada sobre el tanque del oscilador; el remedio consiste en usar tanques grandes, para que aquellas variaciones afecten poco sus características. En este caso se describe un circuito-tanque especial que está exento de las alteraciones nombradas.

El circuito de la unidad se muestra en la figura 266 y emplea como oscilador un triodo TB3/750 de fabricación nacional, que trabaja con una tensión anódica de 2.500 Volt a 400

mA de corriente; en grilla la tensión negativa de polarización es de -210 V. a un drenaje máximo de 95 mA. Para alimentar esta válvula se usa una fuente que consta de dos transformadores y dos rectificadoras DCG4/1000. Los transformadores tienen sus datos en el esquema, incluidos los de los elementos del filtro. También se indican los valores y tensiones de aislamiento de los capacitores y los valores y disipaciones de los resistores.

Veamos las bobinas que aparecen en el esquema. La bobina de realimentación para grilla L_2 está formada por dos espiras de 12 centímetros de diámetro, hechas con alambre de cobre de 3 mm de diámetro. La bobina de toma L_3 es una sola espira, arrimada al tanque de placa, de 12 cm de diámetro y hecha con alambre de 3 mm de diámetro. Hay dos inductancias de filtro, una en la fuente, que tiene 200 microhenry y otra en el circuito de grilla, de 20 microhenry.

En el primario del transformador superior de la fuente hay un contactor R , que es una llave relay, para comando a distancia; generalmente, esta llave se coloca en un pedal para accionamiento con el pie. Otras veces se asocia a un circuito de control remoto llamado *timer*, propio de las máquinas de diseño industrial que se encuentran en plaza. La carga que aparece conectada a la salida final del oscilador no es otra cosa que los dos electrodos de aplicación de la energía de R.F. a la lámina plástica a soldar. La protección contra posibles sobrecargas la constituyen dos fusibles, uno en el primario del transformador, que es de 10 Amper y otro en el punto medio del bobinado de A.T., que es de 1 Amper.

Un detalle muy singular en este equipo es el tanque de salida del oscilador, que en el esquema figura como el conjunto $L_1 C_1$; en lugar de estar formado por una bobina y un capacitor, independientes, es una aplicación de los tanques laminados que se están usando mucho actualmente. Se trata de una combinación de capacitor de chapas paralelas, pero que están

recortadas de forma especial como para formar espiras de una bobina. La figura 267 muestra el aspecto de tales chapas.

Constructivamente, se hace con aluminio de $1,5$ mm de espesor, y se las recorta tal como indica la figura, colocando 18 chapas en la posición marcada y otras 18 en posición invertida, es decir con el corte hacia arriba. Con estas

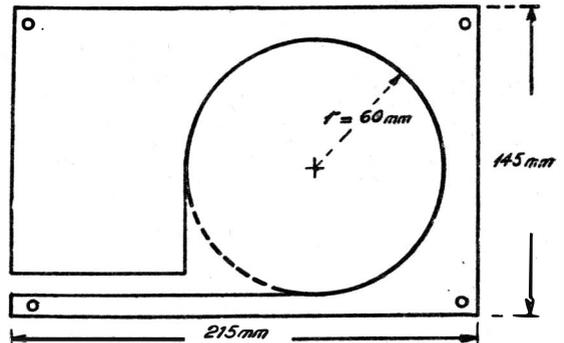


FIG. 267. — Una de las chapas que forma el tanque del oscilador de la figura 266.

chapas se forman dos paquetes, como si fuera un capacitor variable, mediante espaciadores de $10,3$ mm de espesor y pasando pernos roscados que fijan cada conjunto. Al armarlo, un juego de chapas se intercala en el otro juego, de modo que los agujeros grandes queden enfrentados. Habrá que hacer recortes semicirculares para permitir el paso de los pernos sin que toquen las chapas del otro juego.

Estos tanques laminados se comportan muy bien en osciladores para aplicaciones industriales, y sus dimensiones deben estar de acuerdo con las potencias en juego. La aislación de masa no es necesaria, ya que no están sometidos a tensiones continuas elevadas debido al capacitor de $0,001 \times 3$ KV que lo aísla de la placa del triodo; pero hay tensión de R.F., de modo que se montan sobre pilares de porcelana, conectando a masa solamente uno de los paquetes de chapas.

Día 13

Las aplicaciones electrónicas en la solución de numerosos problemas que requerían complejos dispositivos no pueden ser enumeradas por aparecer constantemente nuevas, muchas de las cuales no son simples mejoras a métodos antiguos sino que representan la finalización de una larga espera; claro, el problema existía y ahora la electrónica da el dispositivo que termina con la cuestión mediante un circuito o un montaje que los técnicos proyectan contando con ese elemento nuevo. Otras veces nos conformamos con perfeccionar una técnica, logrando economizar tiempo, esfuerzos o simplemente materiales; el reemplazo de una válvula rectificadora de 20 centímetros de alto por un silicón de solamente 15 milímetros es uno de los tantos ejemplos que hablan por sí solos.

Ya hemos descrito la mayoría de los dispositivos electrónicos en las jornadas precedentes, dando en algunos casos los circuitos de aplicación de los mismos. En esta oportunidad nos ocuparemos de nuevos aparatos que utilizan los elementos conocidos, describiendo circuitos que no pueden ser proyectados sin contar con tales elementos. El control eléctrico de aparatos existía antes del avance de la electrónica, pero era rudimentario; hoy se realiza cada vez más el control electrónico, el manejo a distancia y hasta sin cables. En esta materia estamos muy lejos de decir la última palabra, pero es hora que digamos las necesarias para ilustrar al lector.

CONTROL ELECTRONICO

Para entrar en materia debemos definir en primer término al título de este capítulo. Entenderemos por control electrónico a todo sistema que permita gobernar, limitar o vigilar una magnitud o un fenómeno capaz de variar, siempre que la acción se realice por medio de dispositivos electrónicos. El gobierno o comando puede ser realizado en el mismo lugar donde se produce el hecho que se desea calibrar o en un lugar distante; el control será entonces *local* o *remoto*. No podemos dar la nómina de las magnitudes y aparatos que pueden ser comandados o regulados por medio de dispositivos electrónicos porque la misma sería interminable; por tal motivo nos limitaremos a dar unos cuantos ejemplos que servirán de ilustración primero, y de guía para poder proyectar otra clase de dispositivos de comando, después. Deben incluirse entre los casos a tratar todos aquellos que aparecen en los capítulos anteriores, tratados como ejemplos de aplicación de los dispositivos que allí se explicaron; se incluyeron

en los temas anteriores para facilitar la comprensión del funcionamiento de los dispositivos mencionados.

Interruptores instantáneos

En el manejo de circuitos que deben ser interrumpidos con frecuencia se presenta el problema de la velocidad de maniobra, es decir, la duración de la interrupción. Las llaves mecánicas son muchas veces inservibles pues aún las más perfeccionadas tardan unas cuantas décimas de segundo en actuar y en muchas aplicaciones modernas de la electrónica se necesitan tiempos de interrupción o de cierre del orden de los centésimos y aun de los milésimos de segundo. Es evidente que la falta de inercia de los electrones ha permitido solucionar un problema que de otro modo hubiera requerido mucho tiempo y tal vez no se hubiera logrado.

Básicamente, el interruptor electrónico instantáneo se muestra en la figura 268. Se em-

plean dos rectificadores controlados, sean thyratrones o tiristores, conectados en paralelo pero con polaridades invertidas; suele llamarse co-

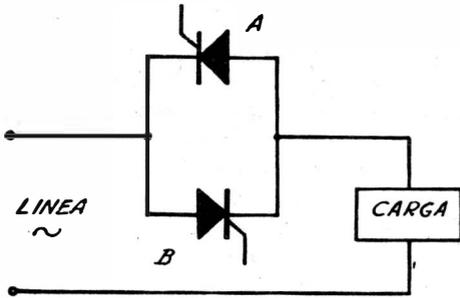


FIG. 268. — Principio de aplicación del interruptor instantáneo.

nexión *antiparalelo* a este montaje. Para la corriente alternada que debe circular por el circuito hacia la carga no hay problema, ya que en los dos sentidos de circulación encuentra vía expedita, por ofrecer uno de los rectificadores libre paso hacia la derecha y el otro hacia la izquierda. Luego, la carga estará correctamente alimentada.

La pregunta lógica del lector es ahora: ¿Cómo actúa el dispositivo mencionado como interruptor? Bueno, no debemos olvidar que los rectificadores controlados tienen un electrodo auxiliar o de encendido, que en la figura 268 hemos dejado sin conectar; sabemos, por haberlo explicado en el capítulo 9, que para que el rectificador deje pasar corriente debe haberse aplicado a ese electrodo la tensión de encendido. Luego, los dos rectificadores *A* y *B* tienen sus electrodos de control, los cuales se conectan al

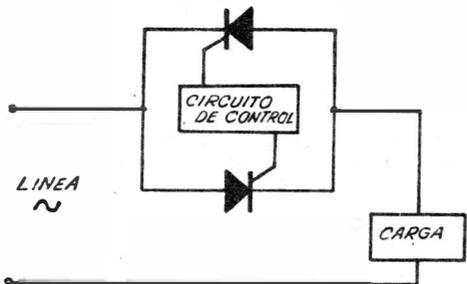


FIG. 269. — El circuito de control pone en funcionamiento al interruptor electrónico.

circuito de control, tal como se muestra, en forma simbólica, en la figura 269. Ese circuito tendrá modalidades propias para cada aplicación del interruptor electrónico.

Pero veamos ahora una importante diferencia entre los interruptores mecánicos y los electrónicos, de acuerdo con lo que nos muestra la figura 270. La corriente alternada que circula por la carga, y lógicamente por el resto del circuito, tiene los valores variables durante el ciclo que pasan desde cero a los picos y así siguiendo. Cuando usamos un interruptor mecánico convencional, no podemos elegir el instante en que accionamos el interruptor y puede ocurrir casualmente que ello ocurra en el instante peor, cuando la corriente pasa por su valor máximo; lógicamente, las dimensiones del interruptor serán adecuadas a esa situación, por lo que será más robusto que lo que se necesitaría si se pudiera acertar en hacer el corte del circuito en los instantes mejores, en los que la corriente pasa por cero. El interruptor electrónico actúa naturalmente de modo que el corte se produce en el instante de valor nulo de la

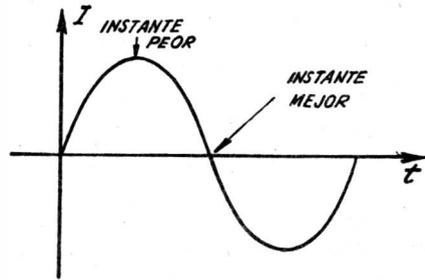


FIG. 270. — La corriente alternada tiene valores variables durante el ciclo y hay instantes adecuados para producir el corte del circuito.

corriente, es decir en el instante mejor que indica la figura 270, porque el silicón interrumpe el circuito al anularse la tensión entre ánodo y cátodo.

El circuito de control puede ser directamente un interruptor manual que aplique una cierta tensión a los rectificadores controlados en su electrodo de arranque, un circuito que aplique esa tensión durante un cierto tiempo, con accionamiento inicial manual o un cronómetro (*tímer*) que se encargue de accionar el interruptor electrónico en los momentos y durante los lapsos convenientes para la aplicación que corresponde.

Control manual del interruptor

Una de las aplicaciones de los interruptores electrónicos es en las máquinas de soldadura eléctrica por resistencia, en las cuales las piezas

a soldar se hacen pasar por dos electrodos y el calor se produce al ser atravesadas las piezas por la corriente eléctrica; hay máquinas para soldadura por puntos y por costura, cuyos detalles técnicos no corresponde tratar aquí. El hecho es que la aplicación de corriente debe durar lapsos cortos o sea que el circuito debe permanecer cerrado solamente en el instante en que se apoya el electrodo sobre las piezas a

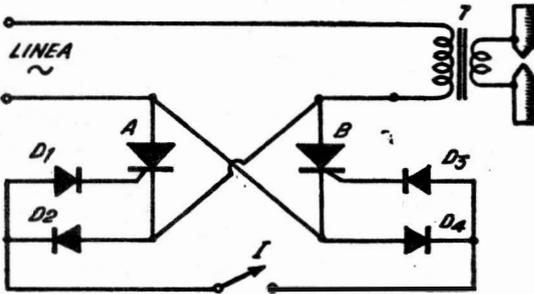


Fig. 271. — Circuito de control manual del interruptor electrónico aplicado a un equipo de soldadura eléctrica.

soldar, y la interrupción debe hacerse cuando la corriente es mínima, punto mejor de la figura 270.

Para tal aplicación se usan entonces los interruptores electrónicos, y el circuito común se ve en la figura 271. Se usan dos rectificadores controlados y cuatro diodos comunes, en combinación con un interruptor manual I , todo ello conectado en el circuito del primario del transformador T de la máquina de soldar. Veamos el funcionamiento:

Supongamos que se cierra el interruptor I en el instante en que la tensión de línea esté en su semiciclo positivo. La corriente circula por el primario de T , por los diodos D_2 y D_3 , con lo que el rectificador controlado B conduce corriente por tener tensión en su electrodo de disparo y la máquina suelda. Al terminar el semiciclo positivo, B deja de conducir por hacerse negativo su ánodo, pero la circulación se cumple a través de los diodos D_1 y D_4 y el rectificador A , que a través de ellos recibe el disparo. El circuito mantiene su funcionamiento mientras el operador mantiene cerrado el interruptor I que es generalmente accionado con un pedal.

Cronometradores o timers

En muchas aplicaciones de la electrónica se necesita cerrar un circuito en un instante deter-

minado y mantenerlo cerrado durante un lapso también prefijado, y no puede dejarse esa tarea a cargo de un operador porque resultaría irregular y fatigosa. Para seguir con el ejemplo de las máquinas de soldar, ya que son los casos más comunes de aplicación, diremos que hay que unir dos chapas mediante soldadura a puntos y que se quiere espaciar uniformemente los puntos y que todos tengan la misma apariencia y textura; en ese caso se debe confiar la apertura y cierre del circuito a un dispositivo automático como el *timer* o cronometrador. Entendemos que el timer tiene la misión de gobernar la acción del interruptor electrónico que hemos descrito antes, es decir, regular la duración de sus periodos de cierre y elegir los instantes convenientes para ese cierre y para la apertura. Otro ejemplo práctico de uso de timer sería el de la fotografía, pues la apertura del diafragma de las máquinas fotográficas debe hacerse en un instante determinado y el tiempo que permanece abierto también debe ser cuidadosamente controlado.

Veamos ahora el principio de acción de un cronometrador electrónico, con ayuda de la figura 272. Todos conocemos al capacitor y sabemos que si se lo conecta a una fuente de tensión, se cargará; a medida que se carga, la

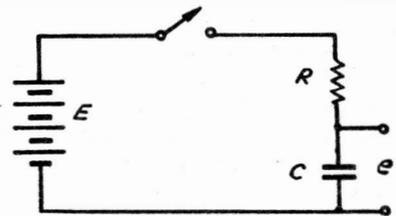


Fig. 272. — Circuito básico de un cronometrador o timer.

tensión entre sus placas va aumentando hasta que alcanza prácticamente el mismo valor que la de la fuente. Lo que es importante destacar es que el tiempo que dura la carga depende de la capacidad del capacitor y del valor de la resistencia que se halla conectada en el circuito, valores de C y R en la figura. Se habla de la *constante de tiempo*, cifra que se determina multiplicando el valor de C por el de R ; si se toma el valor de C en microfarad y el de R en Megohm, la constante de tiempo resulta en segundos.

Hay que aclarar que al transcurrir un período igual a la constante de tiempo, la tensión en el capacitor no alcanza el valor de la fuente, sino que es más o menos sus dos terceras partes, pero

en la práctica se acepta como que el circuito ha funcionado en ese lapso.

Veamos ahora el sentido práctico de lo que hemos dicho, si lo aplicamos al circuito de la figura 272. Supongamos que el capacitor C tiene 0,1 mfd y que el resistor R tiene 200 Kilohm. Para calcular la constante de tiempo pasamos el valor de R a Mcgohms, y sale 0,2 Mcgohm; ahora multiplicamos las dos cifras entre sí y nos resulta:

$$0,1 \times 0,2 = 0,02 \text{ segundos}$$

es decir que cuando transcurran dos centésimos de segundo se considera cargado el capacitor y la tensión entre sus bornes alcanzará un valor de dos tercios de la de la fuente: $e = 0,66 E$.

Ya tenemos el principio por el cual puede funcionar un cronometrador, puesto que la tensión e puede ser la que se use para disparar a un rectificador controlado, y ese hecho se producirá en un instante que no es el de cierre del circuito, sino dos centésimas de segundo más tarde. En otros casos se usa el mismo dispositivo pero con efecto contrario, es decir que cuando se acciona el interruptor para abrir el circuito, un timer se encarga de demorar ese hecho durante un lapso igual a la constante de tiempo de un conjunto RC que se ha conectado ex profeso.

Veamos ahora cómo aplicamos lo dicho a un circuito práctico de un timer. Hay infinidad de esquemas y aplicaciones, que el lector encontrará en libros y revistas especializadas, pero el principio de actuación es siempre similar, por lo que hemos tomado como modelo un circuito básico para accionar un relevador, y lo mostramos en la figura 273.

Es común que los cronometradores se empleen para gobernar rectificadores controlados, como ser thyratrones, ignitrones o tiristores. En efecto, sabemos que esos dispositivos cierran un circuito, o sea dejan pasar corriente, cuando su placa es positiva, pero además se requiere que su electrodo de control produzca el disparo o arranque, tal como ha sido explicado en el capítulo 9.

Examinando entonces el circuito de la figura 301, tenemos allí una thyatrón en cuyo circuito de placa aparece un relevador que es el que se quiere gobernar. En virtud de la acción rectificadora de la válvula, puede aplicarse al circuito una tensión alternada sin inconvenientes, y esa tensión se aplica entre placa y cátodo, pero dejando insertado el relay entre la línea y la placa, de modo que cuando pase corriente

ese relay funcione, cerrando su armadura y con ello el circuito controlado. Claro que para que tal cosa ocurra se requieren dos condiciones; la primera es que esté cerrado el interruptor principal o de arranque de la operación, y la segunda es que la thyatrón accione, o sea que

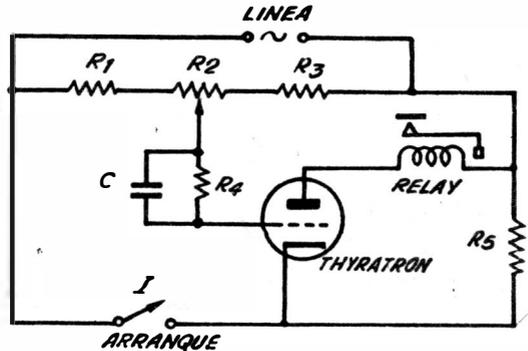


Fig. 273. — Circuito de un timer para corriente alternada.

se aplique a su grilla o electrodo de control la tensión necesaria de disparo. Para eso está el conjunto de resistores R_1 a R_4 y el capacitor C . Veamos cómo funciona ese conjunto:

Cuando la tensión alterna aplicada tiene su semiciclo positivo, aparece una tensión positiva entre el cursor de R_2 y el cátodo, y comienza a cargarse C pero no en forma completa, porque se ha elegido su valor de modo que la constante de tiempo sea grande; en unos cuantos ciclos termina la carga de C , con su polo negativo hacia la grilla. Durante todo este tiempo I ha estado abierto. Al cerrar ese interruptor, se producen las coincidencias necesarias para el cierre del relay, pues hay tensión entre placa y cátodo de la thyatrón y, además, C se descarga lentamente sobre R_4 ; cuando la tensión negativa de grilla, provocada por la carga de C cae lo suficiente, la thyatrón dispara y el circuito actúa. Se gobierna fácilmente el lapso de encendido variando la posición del cursor de R_2 .

Como el explicado, hay otros circuitos de cronometradores para distintas aplicaciones electrónicas. Sin ir más lejos, en la máquina de soldar descripta en la figura 266 suele aplicarse un timer, tal como se dijo en esa oportunidad, y su circuito no difiere mucho, en esencia, del que explicamos más arriba. En cada caso habrá un esquema y sus elementos serán thyratrones o tiristores; la tendencia actual es usar estos últimos por las ventajas que ya hemos mencionado.

Disyuntores de corriente máxima

Se designa con el nombre de disyuntor a un interruptor automático que mantiene cerrado un circuito mientras no se excedan las condiciones prefijadas; un disyuntor de corriente máxima será aquel que corta el circuito cuando la corriente excede un valor prefijado. Hay numerosos disyuntores de funcionamiento mecánico, con accionamiento térmico o magnético,

la tensión conveniente a través del conjunto R_2 R_3 y resto de la serie. Cuando la carga aumenta y excede la cifra máxima de 2 A., se produce conducción a través de los transistores, y cae la tensión del electrodo de control de 2N3228, con lo que ese silicón cesa de conducir y el circuito de carga se interrumpe. La carga de C_1 mantiene la situación hasta que se interrumpa el circuito de alimentación con un interruptor o desenchufando la línea; descargado

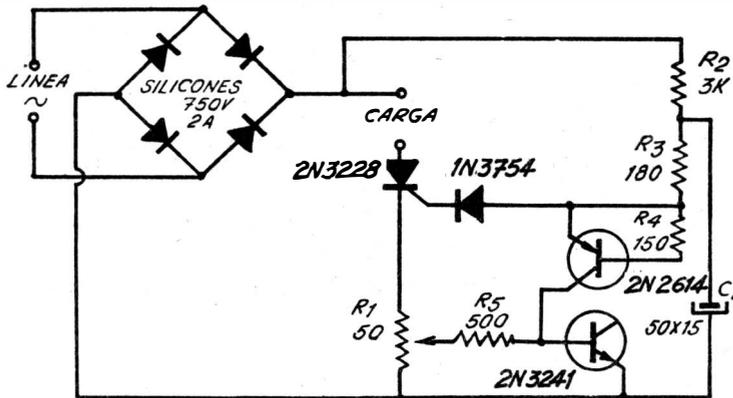


FIG. 274.. -- Circuito de un disyuntor de corriente máxima.

pero ahora nos ocuparemos de la aplicación de la electrónica a este tipo de dispositivos, con un ejemplo concreto para mostrar el principio de acción. Los demás modelos existentes o posibles serán reconocidos por el lector cuando se enfrente al circuito de cualquiera de ellos.

Veamos un caso concreto como el que muestra la figura 274. Se trata de un disyuntor electrónico de corriente máxima, que debe interrumpir el circuito de carga cuando la intensidad de la corriente supera la cifra de 2 Amper. El elemento básico es un silicón controlado tipo 2N3228 que queda conectado en serie con la carga, la cual puede ser cualquier aparato eléctrico que debe ser cuidado en su corriente máxima, en este caso 2 A.

Hay dos transistores complementarios, o sea un PNP y un NPN tipos 2N2614 y 2N3241 en combinación con un diodo 1N3754 que forman el circuito de control de encendido del silicón. El rectificador-puente se usa porque el aparato conectado como carga requiere continua, aunque sea pulsante.

Cuando la corriente en la carga está por debajo de 2 A., la tensión que se toma con el cursor del potenciómetro R_1 es insuficiente para que conduzca corriente el transistor 2N3241, y entonces el silicón 2N3228 permite el paso de corriente porque su electrodo de control recibe

C_1 el circuito queda en condiciones de funcionar nuevamente, siempre que la corriente en la carga no exceda el valor prefijado.

Es evidente que este ejemplo muestra un caso muy particular, tanto en su aplicación como en sus cifras de trabajo, pero téngase en cuenta que se ha puesto un modelo para poder explicar concretamente el principio de funcionamiento de los disyuntores de corriente máxima. Cualquier otro circuito que aparezca ante los ojos del lector será comprendido fácilmente porque funcionará bajo un principio similar al descrito. El diseño presentado pertenece a la R.C.A., lo mismo que los diodos y transistores mencionados en aquél.

Relevadores de R.F.

Hay infinidad de casos en que se debe efectuar un control remoto de un dispositivo cualquiera, como, por ejemplo, abrir desde el coche la puerta de un garaje, conectar un circuito muy distante, etc. Se recurre, entonces, al uso de señales de R.F. por la ventaja de poder emitirlas a distancia sin necesidad de cables entre el emisor y el receptor. En el emisor hay un simple oscilador que se pone en funcionamiento mediante un botón o interruptor, y el receptor,

sintonizado a la misma frecuencia de emisión, recibe esa señal y la aplica a un dispositivo de cierre cualquiera. Interesa especialmente ver el receptor, el cual en este caso se usará para cerrar un relay con el que se comandará cualquier elemento que deba ser accionado, ya que ese elemento puede estar conectado a la línea, pero en serie con su alimentación quedan los contactos abiertos del relay anterior; al recibirse la señal, el relay cierra los contactos y el elemento principal queda conectado.

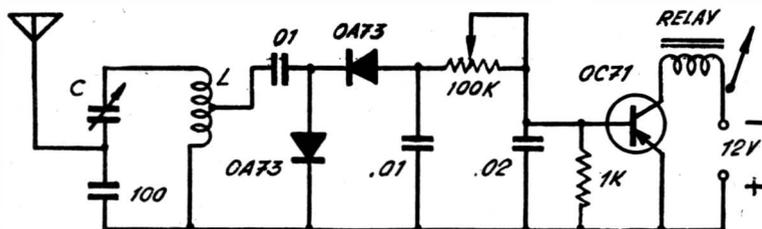
Un circuito de relay de R.F. sencillo se muestra en la figura 275. Está proyectado para recibir señales de 500 a 1200 Kc/s, pero es lógico

mente. En caso de querer usarse otro valor de frecuencia, siempre habrá que colocar conjuntos LC iguales en el emisor y en el receptor. Es de hacer notar que similares sistemas se usan para control remoto de modelos de aviones, barcos y automóviles, sólo que en ese caso los circuitos son más complejos.

Destelladores electrónicos

Hay una cantidad de dispositivos que necesitan producir un destello luminoso de corta duración a intervalos regulares o aun un solo des-

FIG. 275. — Circuito de un relay de R.F. para diversas aplicaciones.



que, cambiando la bobina L , puede diseñarse para cualquier frecuencia. Para las cifras dadas, la bobina se hará con 220 espiras sobre foma de 20 mm; la toma o derivación se hace a 24 espiras a contar desde abajo. El capacitor C es uno variable de 400 mfd, aproximadamente, para poder sintonizar correctamente la emisión, en la frecuencia que se produzca dentro de la banda que hemos mencionado.

El circuito es muy simple. La señal recibida se aplica a un sistema doblador de tensión, que nos es conocido, con los diodos OA73 y el resultado de la rectificación se aplica a la base del transistor OC71. Cuando hay suficiente tensión en la base, el transistor conduce corriente y se excita el relay insertado en el circuito de colector. Al cerrar el mismo sus contactos, puede poner directamente en funcionamiento un aparato eléctrico cualquiera o, simplemente, cerrar el circuito de un relevador de mayor potencia, si ese aparato fuera de fuerte corriente y los contactos del relay de la figura no fueran capaces de manejar directamente al circuito grande.

El emisor que es capaz de accionar este dispositivo es un simple oscilador, de los cuales nos ocupamos en el capítulo 5. Cualquiera de los adecuados para R.F., si se le coloca un juego de bobina y capacitor iguales a L y C de la figura 275, emitirán en la frecuencia adecuada para que el conjunto funcione correcta-

tello (*flash*) como en el caso de la fotografía. Otras veces se necesitan pulsos de tensión a intervalos regulares (metrónomos); en fin, en todos los casos que se requiere un circuito capaz de actuar durante lapsos breves que se suceden en forma periódica, puede usarse un destellador electrónico como el que vamos a describir. Usaremos como modelo, un circuito de la R.C.A. que usa elementos de esa misma fábrica, y que ya hemos visto al ocuparnos de la figura 274, si bien aquí el esquema cambia.

La figura 276 nos muestra el circuito, que contiene un rectificador en puente que alimenta a la carga con corriente pulsante; esa carga puede ser una lámpara o cualquier otro artefacto que reciba los impulsos de corriente o destellos. En serie con la carga tenemos un silicón controlado 2N3228 que no conduce corriente mientras no se aplica a su disparador la tensión de disparo. Quiere decir que al aplicar tensión de línea al puente, por la carga no pasará corriente todavía.

Pero debe observarse que la tensión del puente queda aplicada también a un conjunto serie formado por R_1 , R_8 , C_2 , retornando por R_5 y R_2 ; luego el capacitor C_2 se carga hasta alcanzar la tensión de encendido de la neón NE83, que es de unos 80 Volt, en cuyo caso circula corriente a través de R_7 y queda aplicada señal a la base del transistor 2N3241. Esos dos transistores están conectados como un amplificador

en cascada, de modo que al tener señal de entrada habrá una tensión a la salida de las dos etapas, o sea en el colector del 2N2614; esta tensión es la de disparo del silicón controlado, por lo que el mismo conducirá y habrá corriente a través de la carga.

La descarga de C_2 provoca la extinción de la neón, desapareciendo la señal aplicada al amplificador de dos transistores; el silicón queda

quiere un circuito regulador, de modo que habrá infinidad de disposiciones, sea para motores de corriente continua, alterna o universales, y todavía con variaciones según la potencia del motor y las causas por las que varía la velocidad. De todos los casos posibles tomaremos un circuito de la R.C.A. que emplea los mismos elementos que ya vimos en las figuras 274 y 276 que se aplica para mantener constante la ve-

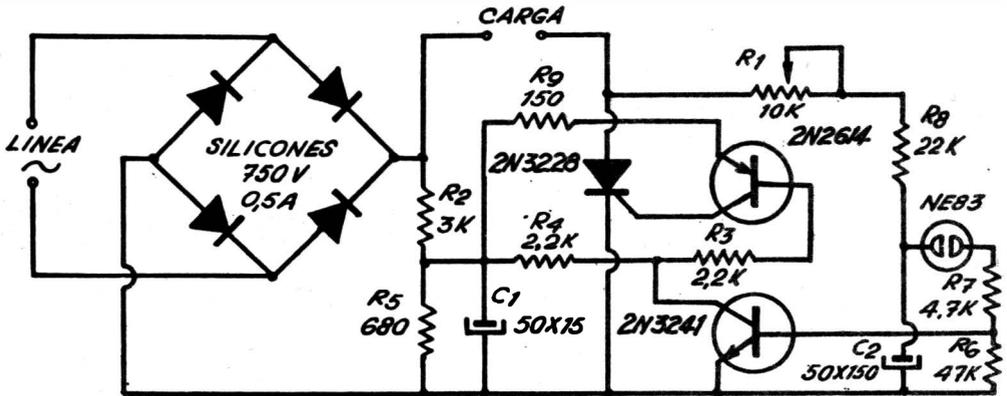


Fig. 276. — Circuito de un destellador electrónico.

sin tensión de disparo, de modo que al terminar el medio ciclo de la tensión pulsante se apagará, por anularse la tensión entre ánodo y cátodo, cesando la corriente a través de la carga. Cuando el medio ciclo siguiente aparece, comienza el proceso nuevamente, se carga C_2 , se dispara el silicón y habrá corriente a través de la carga; pero hay que tener en cuenta la constante de tiempo dada por R_1 , R_8 y C_2 , y como el valor de la primera puede ser ajustado, tendremos que pueden regularse los intervalos del destellador moviendo el cursor de ese potenciómetro. La rama que contiene a C_1 se ocupa, mediante la carga de ese capacitor, de mantener encendido el silicón para los casos en que los intervalos sean de más de medio ciclo de la tensión pulsante aplicada por la fuente.

La descripción precedente es ilustrativa, y el lector podrá, cuando se enfrente con algún otro circuito de destellador, comprender su funcionamiento, pues seguramente será similar al descrito.

Reguladores de velocidad para motores

Una de las aplicaciones del control electrónico está en la regulación automática de velocidad para motores. Cada tipo de motor re-

locidad ante variaciones de la carga en un motor universal, en este caso un motor de consumo normal 2 Amper. Sobre la base de este circuito se encontrarán otros o pueden diseñarse los que se necesiten, de modo que el que presentamos puede considerarse como modelo y nos servirá para explicar el funcionamiento de los reguladores electrónicos de velocidad.

Veamos el funcionamiento del circuito que se ve en la figura 277. Tenemos el motor conectado a la fuente de alterna, pero en serie con el mismo hay un rectificador-puente al que se aplica el dispositivo de regulación; en esencia, ese dispositivo contiene un silicón controlado 2N3228, el par de transistores complementarios 2N2614 y 2N3241 y un diodo adicional 1N3754, acompañados de una red de resistores y capacitores y un potenciómetro que oficia de control manual, y que incrementa la velocidad del motor cuando el cursor corre hacia la derecha, en la figura. Los transistores están conectados de modo que la tensión de disparo del silicón controlado se toma del resistor R_4 .

Según sea el valor que coloquemos en R_1 se gradúa la carga de C_1 y se produce el disparo del silicón más temprano o más tarde en cada semiciclo de la tensión pulsante que entrega el circuito-puente. Si la carga de C_1 es rápida por

estar R_1 al mínimo, la velocidad del motor será máxima, y se reduce a medida que aumentamos el valor de R_1 corriendo el cursor hacia la izquierda, por retardar la carga de C_1 (ver figura 194).

Entonces, en virtud del principio del silicón controlado o tiristor, el potenciómetro R_1 sirve de control manual de velocidad por graduación

ya sobre el conjunto de transistores y provoca un aumento de la corriente a través de R_{11} y una disminución a través de R_3 por la alteración de las polarizaciones y, con ello, de los consumos de ambos transistores. Al aumentar la corriente en el inferior aumenta también la tensión en R_6 y se produce el disparo del tiristor un poco antes en el siguiente medio ciclo de la tensión

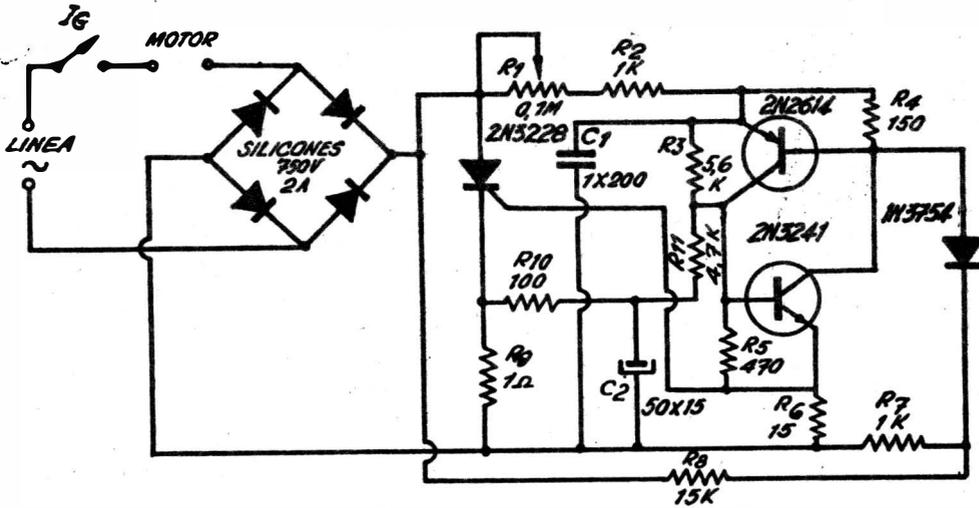


Fig. 277. — Circuito de un regulador de velocidad para un motor universal.

del instante de disparo. Si la carga residual de C_1 no alcanza a los 6 Volt, en el caso de los elementos del ejemplo, no se produce el disparo, de modo que también se presenta la posibilidad de que la velocidad del motor sea reducida de todo hasta la detención. Para prevenir un funcionamiento impropio del circuito por efecto de esa carga residual, aparece el diodo 1N3754 que se descarga a través del resistor R_6 y el transistor superior, ya que el diodo tiene cerrado su camino a la conducción a través de R_7 . Pero veamos el funcionamiento del circuito como regulador automático, que es lo interesante.

Cuando se conecta el motor aplicando la tensión de línea y cerrando el interruptor general IG , comienza a girar. Si se le aplica la carga a vencer se produce una disminución de su velocidad de giro y un consiguiente aumento de la corriente absorbida desde la red, y allí quedarían las cosas de no existir el sistema regulador. Claro que ese aumento de corriente pasa también por el tiristor 2N3228 y por el resistor R_9 , con lo que en los extremos de este último aumenta la tensión y aumentará también la carga del capacitor C_2 . Ese incremento actúa

pulsante, con lo que aumentará la corriente circulante por el tiristor y, por consiguiente, por el motor. Analicemos esto:

Si el motor está funcionando con un consumo dado, debido a su carga, y aumentamos la corriente a su través, es como si hubiéramos aumentado la tensión aplicada, y ello se traduce en un aumento de velocidad; visto de otra manera, al aumentar la corriente a través del motor, aumento no debido a un incremento de la carga, se aumenta la tensión entre sus bornes y eso se traduce en un aumento de la velocidad de giro, que compensa la caída que se produjo al aplicar la carga de arrastre. Lógicamente que el circuito se calibra en sus valores para que la regulación de velocidad sea perfecta y el número de revoluciones puede fijarse en forma manual con el potenciómetro R_1 . En funcionamiento del motor, las variaciones de su carga, o sea la resistencia al giro que crean los mecanismos arrastrados, no alteran la velocidad de funcionamiento por la acción reguladora del sistema explicado. Circuitos similares se emplean con otros tipos de motores y otras potencias de ellos.

Día 14

El control electrónico aplicado a diversos dispositivos nos ha resultado un tema muy interesante y hemos podido, de paso, comprobar que los elementos que hemos descrito en los capítulos anteriores eran necesarios para realizar con ellos numerosos aparatos de control; así utilizamos tiristores, diodos comunes, transistores, thyatrones, etc., encontrándonos que cuando los ubicamos en un circuito ya conocíamos su misión y modo de funcionar. Si ahora nos llega a las manos un hermoso juguete con comando remoto, el cual viene en una cajita cerrada y observamos el folleto que trae con un esquema aparentemente complicado, nosotros comenzaremos a encontrar en ese esquema un montón de accesorios conocidos y hasta podremos arreglarnos para entender cómo funciona aunque no conozcamos el idioma en que está escrito...

Siguiendo con las aplicaciones de dispositivos electrónicos, nos ocuparemos en la presente jornada de los aparatos que se colocan en los edificios, sean éstos destinados a la vivienda, oficina o rurales. Como en el resto del libro, dejaremos de lado los implementos simplemente eléctricos como son los timbres, luces, artefactos de frío o calor, lavarropas, etc. Nuestro tema es la Electrónica y, por lo tanto, describiremos algunos de los accesorios de ese tipo para instalar en las casas, como son los sistemas de alarma contra incendios, robos, etc., controles electrónicos de iluminación, y los tan de moda porteros electrónicos. Como se ve, el tema es extenso y debemos comenzar a desarrollarlo.

LA ELECTRONICA EN LOS EDIFICIOS

Hasta hace algunos años la electrónica sólo entraba en los edificios en forma de aparatos de radio, tocadiscos y después, televisión. Lo demás era electricidad pura, de modo que así como había carpinteros, yeseros, etc., había un gremio de electricistas sin especialización alguna. Hoy en día ya se emplean cada vez más instalaciones electrónicas en las casas, oficinas, edificios públicos y aún en las viviendas rurales. No falta mucho para que este tipo de instalaciones forme un gremio indispensable entre los de la construcción, porque sus trabajos requieren que la obra se adapte a los que se debe colocar; por ejemplo, una instalación de portero eléctrico en una casa de departamentos existente es más costosa por la rotura de paredes, revestimientos de la entrada y otros detalles, que si todo eso se prevé mientras dura la construcción. Los directores de obra deben estar enterados de estos temas para racionalizar y abaratar el trabajo.

Las instalaciones electrónicas en las casas son de diversos tipos y cada vez se van ideando e incorporando nuevas; nos ocuparemos de las que ya están generalizadas y se emplean con frecuencia. Entre ellas podemos encontrar tres grupos bien definidos, que son los sistemas de alarma, los controles de iluminación y los sistemas de comunicación.

Los sistemas de alarma incluyen las llamadas luminosas, los avisadores de presencia de intrusos, los avisos de incendios, etc. Los controles de iluminación abarcan los reguladores de la cantidad de luz y los dispositivos que encienden y apagan las luces automáticamente. Y los sistemas de intercomunicación incluyen prácticamente como ejemplo importante el portero eléctrico que ha reemplazado a los intercomunicadores de portería por sus mayores posibilidades. Analizaremos esos tres grandes grupos ya mencionados en detalle para comprenderlos mejor.

SISTEMAS DE ALARMA

Desde hace mucho tiempo se emplean avisadores eléctricos de cosas anormales, como ser la entrada de intrusos, los principios de incendio, etcétera; pero en los últimos tiempos esos aparatos han entrado en el campo de la electrónica por utilizar dispositivos de los que hemos descrito en los capítulos anteriores, y de ahí la razón de incluirlos en este libro. Cuando se colocaba un alambre tendido delante de una puerta y si un intruso tropezaba con el alambre lo arrancaba de un par de contactos elásticos, lo cual conectaba una campanilla, eso era un sistema eléctrico de alarma. Ese principio simple y rudimentario ha sido perfeccionado hasta los aparatos fotoeléctricos en los cuales el alambre visible es reemplazado por un rayo infrarrojo invisible, lo que aumenta su eficacia. Veamos algunos ejemplos de sistemas de alarma, de protección y de llamadas para mejor ilustrar al lector.

Alarma por circuito abierto

Uno de los inconvenientes del primitivo alambre extendido era que, por ser visible o palpable, podía ser fácilmente descubierto por los intrusos y si lo cortaban, el sistema dejaba de avisar. Por eso, ha sido reemplazado por los sistemas de circuito abierto, en los cuales si se cortan los alambres, se pone en marcha al avisador. Veamos el principio de este sistema.

Si se conecta un transistor de tal modo que su base quede, a circuito cerrado, polarizada

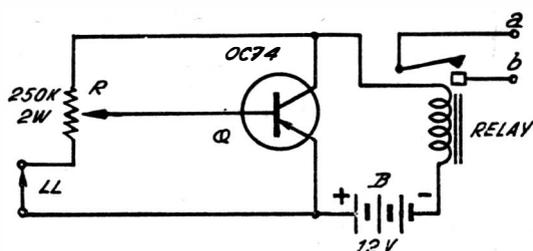


FIG. 278. — Circuito de alarma contra intrusos que actúa al cortar la línea.

convenientemente como para mantener la corriente de colector en un valor bajo o en un valor nulo, si se abre el circuito de base se rompe ese equilibrio y circulará corriente de colector como para excitar a un electroimán y cerrar un circuito de alarma sonora o luminosa.

Veamos un ejemplo concreto que se muestra

en la figura 278. El transistor Q tiene su base polarizada apenas positivamente con respecto al emisor, lo que se consigue graduando el potenciómetro R , y estando cerrada la llave LL en el extremo de los hilos de alarma. En tales condiciones no hay corriente de colector o la

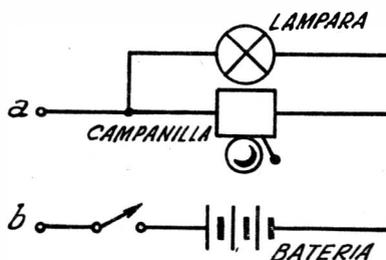


FIG. 279. — Dispositivo que acciona cuando se activa el circuito de la figura 278.

hay muy pequeña, lo que mantiene abiertos los contactos del relay, o sea los terminales ab . Si un intruso se lleva por delante los hilos de alarma ellos se cortan o, por estirado, se abre la llave LL , y entonces la base se hace negativa y el transistor conduce corriente, se excita el relay y se cierran sus contactos entre a y b , lo que pone en marcha el avisador.

Para instalar este sistema de alarma se procurará que quede oculto y convendría que los hilos también se disimulen. Como se trata de un par de conductores, puede emplearse un cable bifilar del más delgado, en color oscuro, que al ser estirado abra una llave a cuchilla que tenga en su extremo; pero no hace falta que eso ocurra, pues si se lo corta, el sistema dará lo mismo la alarma. También puede usarse un solo hilo conductor delgado que dé una vuelta alrededor de la casa formando el circuito cerrado que marca LL ; si se corta ese hilo funcionará la alarma.

El relay a utilizar será del tipo de 4 Kilohm de resistencia con contactos para 2 Amper y con bobinado previsto para 1,8 Amper en consumo máximo. Los datos de los demás elementos figuran en el esquema, de modo que no hacen falta mayores especificaciones. Veamos ahora el avisador que puede emplearse en combinación con el aparato.

La figura 279 muestra uno de los tantos avisadores posibles, siendo éste luminoso y sonoro al mismo tiempo. Consta de una campanilla del tipo para 4 Volt y una lámpara roja para la misma tensión, que se alimentan con una pequeña batería de 4,5 Volt o con tres pilas de linterna. El conjunto se conecta a los bornes

ab del circuito de alarma de la figura 306. Se incluye una llave para cuando se quiera que no funcione. Se decidió la alimentación con pilas para cubrir la posibilidad de que el intruso corte la corriente general de la casa, en cuyo caso, si el avisador fuera de conexión a la red, quedaría inutilizado.

Alarma a rayo luminoso

Hay muchos sistemas de alarma que funcionan mediante un rayo de luz y una fotocélula; los circuitos modernos usan resistores tipo LDR de los que describimos en el capítulo 10. La experiencia aconseja que esos sistemas funcionen cuando se interrumpe un rayo de luz y no cuando lo reciben, para mayor seguridad, pues es preferible una falsa alarma de vez en cuando que un sistema que falle cuando hay motivo para actuar. Entonces, estos sistemas constan de una linterna que emite un rayo de luz, el cual, para ser invisible, puede ser de rayos infrarrojos; ese rayo incide sobre el avisador a través de un pasillo, patio o zona a proteger contra el paso de intrusos.

Al incidir la luz sobre una LDR, ésta mantiene a un circuito en condiciones determinadas de funcionamiento, pero cuando el rayo de luz o infrarrojo cesa por el paso de un cuerpo, el circuito reacciona, alterando su funcionamiento, lo cual puede poner en marcha un avisador de cualquier tipo.

Veamos un ejemplo concreto que se muestra en la figura 280. La LDR forma parte del cir-

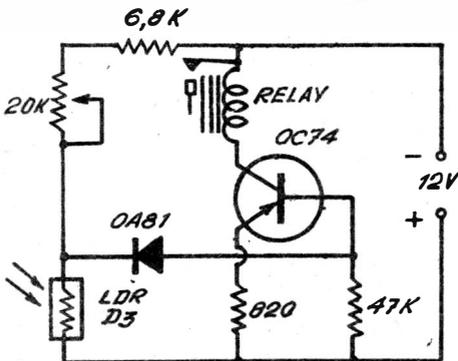


FIG. 280. — Dispositivo de alarma que funciona cuando se interrumpe el rayo de luz sobre la LDR.

cuito de un transistor OC74, el cual tiene su base polarizada de tal modo que para un valor de resistencia dado de la LDR, no hay conducción de corriente de colector y el relay queda inactivo. Al interrumpirse el rayo luminoso sobre la LDR aumenta la resistencia de ella y la base del transistor, conectada a la LDR a través de un diodo, se hace más negativa. En esas condiciones se produce conducción a través del transistor, se excita el relay y se cierran sus contactos. Con ello, si a esos contactos se aplica un sistema como el de la figura 279, se produce el aviso de la presencia de intrusos. El relay debe ser del tipo de enganche que no se abre solo sino que hay que desengancharlo una vez que ha accionado, para que la alarma siga actuando cuando la persona pasó.

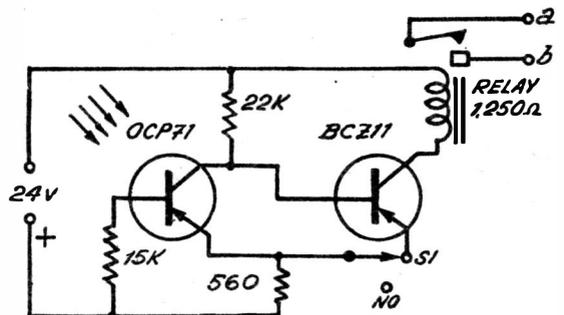


FIG. 281. — Alarma que funciona cuando se interrumpe la radiación luminosa o infrarroja sobre el fototransistor OCP71.

La figura 281 muestra otro circuito de alarma similar al anterior, pero empleando un fototransistor en lugar de la LDR. El OCP71 es sensible a los rayos luminosos y a los infrarrojos, de modo que si se lo polariza de modo que quede en estado de saturación o plena corriente, y se lo acopla al otro transistor, que es un BC211, en estado de corte, no habiendo corriente de colector, queda desexcitado el relay. Si se interrumpe el rayo sobre el OCP71, se altera el equilibrio de potenciales entre el relay y el resistor de 560 Ohm, y el transistor BC211 conduce corriente, se excita el relay y cierra sus contactos a y b con lo cual puede producirse la alarma con un dispositivo como el de la figura 279 u otro similar. El relay es del tipo de enganche.

La radiación luminosa puede obtenerse con una lámpara de automóvil del tipo de 12 Volt y 36 Watt, a la que se le colocará un filtro rojo para que el rayo contenga solamente la gama de luz infrarroja. En las pruebas, cerrando la llave Si-No y con el rayo luminoso actuando, el relay debe mantener abiertos sus contactos, y cortando la luz por interposición de un cuerpo cualquiera, esos contactos deben cerrar; se alterarán las polarizaciones hasta lograr tal situación.

Alarma por aumentos de temperatura o incendios

Cualquier sistema de alarma que sea sensible a los rayos infrarrojos puede servir para detectar incendios, siempre que los mismos se caractericen por producir llamas, pero no siempre ocurre así, de modo que, suponiendo que el aparato des-

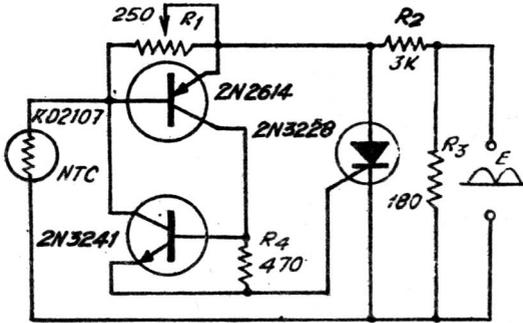


FIG. 282. — Circuito de accionamiento cuando se producen aumentos de temperatura.

cripto en la figura 281 se use como avisador de incendios, ello será posible cuando las llamas cambien la situación de trabajo del fototransistor por los rayos infrarrojos que se producen.

En general, los avisadores de incendios se basan en la elevación desmesurada de la temperatura, que hace actuar a un circuito de aviso, de accionamiento de los aparatos extinguidores, etc. Estos aparatos que reaccionan ante elevaciones de temperatura sirven también para otras aplicaciones, ya que hay productos que pueden alterarse con el calor, y en la fábrica interesa saber de inmediato cuando la temperatura en un recinto pasa de un límite de seguridad establecido.

Veamos un circuito de alarma para elevaciones de temperatura, aplicable a cualquier caso práctico; la figura 282 nos muestra un montaje de la R.C.A. que emplea un tiristor, un termistor NTC y dos transistores de esa marca. El circuito es alimentado con una tensión pulsante, similar a la que teníamos en la figura 276, y en serie con el ánodo del tiristor 2N3228 podemos colocar un relay. A temperatura normal, y de acuerdo con el ajuste que hacemos con el potenciómetro R_1 , la tensión que resulta en la serie R_2 R_1 y el termistor se acomoda de tal modo que no hay conducción en el par de transistores y no se dispara el tiristor. Si la temperatura aumenta, la resistencia del termistor se reduce y llega a producir la conducción en los transistores y, por ende, a aplicar la señal de disparo al electrodo de control del tiristor. Cualquier relay que estuviera en serie con el mismo se excita y actúa sobre su circuito de alarma o de acción. Si la temperatura desciende por debajo del límite fijado, el tiristor se desexcita y al finalizar el semiciclo de la tensión pulsante, deja de conducir corriente y cesa la alarma o la acción iniciada anteriormente.

Otros sistemas de alarma contra incendios se emplean en los casos que el siniestro provoque densas humaredas, colocando una LDR frente a una fuente luminosa y ajustando el circuito de manera que al recibir luz se mantenga un relay inactivo, como en el caso de la figura 280 o en la 281. El humo que se interpone entre la luz y la LDR es capaz de variar la resistencia de ella en tal grado que accione el circuito provocando el cierre del relay y con ello la alarma. Como se ve, el ingenio de los proyectistas es interminable y pueden diseñarse circuitos del más variado tipo para cubrir el objetivo señalado.

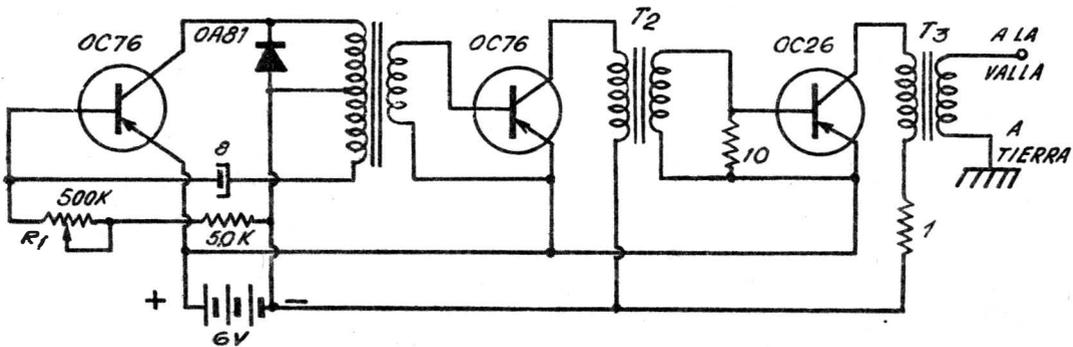


FIG. 283. — Circuito de un electrificador electrónico de alambrado.

Valla electrificada

Una variante de los sistemas de alarma usado en el campo consiste en un alambre o valla a la que se le suministra una tensión alta pero inofensiva, para evitar que el ganado se arrime a ella. Primitivamente esas vallas eran eléctricas puras, con un alambre conectado a

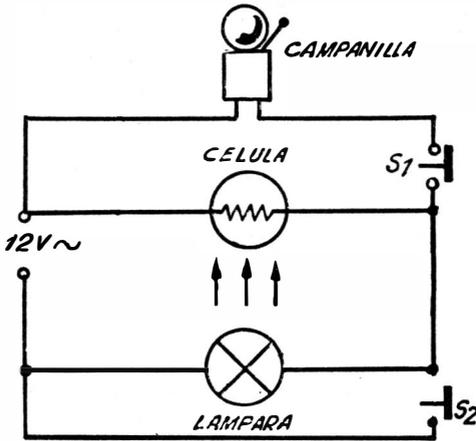


FIG. 284. — Sistema de llamada a fotocélula.

un transformador elevador de tensión, pero la electrónica suministra procedimientos más interesantes, como el que muestra la figura 283.

Veamos allí un oscilador con el transistor OC76 cuya frecuencia puede ser graduada con el potenciómetro R_1 , y saliendo de este oscilador tenemos impulsos que se aplican al segundo OC76 mediante el transformador T_1 , que es de relación 10:1 con derivación central en el primario. Esta segunda etapa es simplemente una amplificadora de tensión, que aumenta la amplitud de los impulsos del oscilador y los aplica a la etapa de potencia por medio del

segundo transformador T_2 , que es de relación 5:1. Llegamos así al transistor OC26, en cuyo circuito de colector hay un transformador elevador, con relación 1:200, el T_3 . Se obtiene en el secundario del mismo pulsos de 3.500 Volt y duración de 10 milisegundos, que en la práctica son suficientes para imponer respeto a la hacienda que se arrime al alambrado, si la longitud de éste no supera un Kilómetro.

Sistemas de llamadas a fotocélula

Entre los sistemas de alarma suelen incluirse los de llamada, aunque esta última sea una acción voluntaria. Los sistemas de llamada a que nos referimos son aquellos en que con un pulsador se cierra el circuito de una campanilla y se enciende una lámpara; al acudir la persona llamada debe apagar la lámpara en el lugar donde esa llamada se produjo. Estos sistemas son de aplicación en hospitales, sanatorios, etc. Se usaban para tal finalidad aparatos con varios relays, pero el excesivo costo y su inseguridad aconseja reemplazarlos por células fotoeléctricas. fotoeléctricas.

La figura 284 nos muestra un sistema sencillo que emplea células del tipo BY731.03 de FAPESA. La célula se coloca junto a la lamparita y cuando se acciona el pulsador S_1 de llamada suena el timbre y se enciende la lámpara, cuya luz subsiste porque la célula reduce su resistencia y mantiene en el circuito un valor de corriente que permite ese mantenimiento hasta que se acciona el botón de anulación S_2 . Cuando esto ocurre se pone en corto la lámpara y la resistencia de la célula aumenta y entonces la lámpara permanece apagada aunque se suelte S_2 .

Un circuito para aplicar el modelo simple presentado, se muestra en la figura 285, llevado

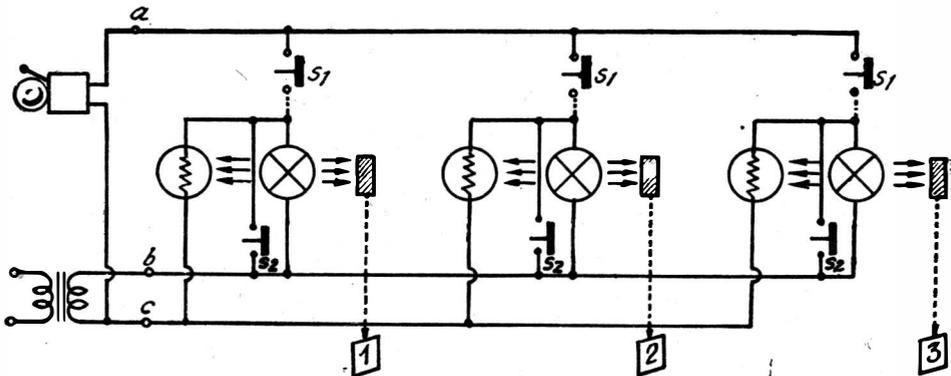


FIG. 285. — Circuito de aplicación del sistema de la figura 284.

a tres lámparas, cada una con su número indicador dibujado sobre láminas plásticas. Si se emplean lámparas pequeñas, de bajo consumo, su resistencia será alta, y puede ocurrir que la resistencia de la célula no permita sonar al timbre. En esos casos se agrega en el circuito

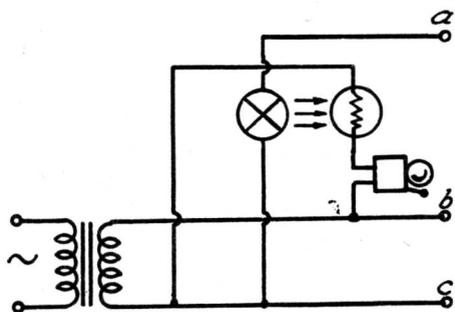


FIG. 286. — Modificación de la figura 285 para sistemas de llamada a fotocélula.

una lámpara incandescente que se enciende mediante el pulsador de llamada y que ilumina a una célula fotoconductora adicional conectada directamente al transformador, cosa que vemos en la figura 286. Este dispositivo se incorpora al circuito general de la figura 285 por los bornes *abc* en reemplazo de lo que en la figura 285 queda a la izquierda de esos bornes, es decir, el transformador y el timbre, pues en su lugar van los elementos indicados en la figura 286.

CONTROL DE ILUMINACION

Otro grupo de instalaciones o aparatos electrónicos en los edificios lo integran los dispositivos que encienden y apagan automáticamente las luces artificiales según haya o no luz natural, por un lado, y los reguladores de la intensidad luminosa de lámparas, por otro lado. Hay, dentro de esas dos posibilidades muchas variantes, pero la mayoría de tales dispositivos emplean fotocélulas para actuar. Un par de ejemplos concretos nos orientarán convenientemente sobre los principios de actuación y con ello estaremos en condiciones de comprender cualquier circuito que aparezca ante nuestra vista.

Llave de luz a fotocélula

Es curioso que la luz gobierne a un interruptor encargado de dar luz, pero entendemos que se encenderá o apagará la luz artificial cuando se acabe y cuando vuelva la luz natural, respectivamente. Además, es muy práctico que

cuando no hay nadie en la casa y anochece, se encienda sola una lámpara eléctrica para dar la sensación de que hay gente. Veamos el circuito:

La figura 287 muestra el esquema de trabajo; la fotocélula *FC* resistente debe ser alimentada con corriente continua, por lo que primero rebajamos la tensión de la línea mediante R_1 , luego la rectificamos con el diodo *D* y filtramos con el capacitor *C*. Del punto de unión entre R_1 y *C* tomamos continua, que pasa a través de R_2 , la fotocélula y el bobinado de un relay. La armadura de éste mantiene abiertos sus contactos o los cierra, y en la primera posición de corriente alterna a los bornes *ab* en los que se conecta la lámpara o grupo de lámparas que se desea controlar. La fotocélula es del tipo de cadmio 5HC2.

La resistencia de la célula es baja cuando recibe luz y alta en la oscuridad; durante el día, con buena luz natural, siendo baja su resistencia hay paso de corriente por ella y por el relay, con lo que los contactos *ab* permanecen abiertos, pero al anochecer aumenta su resistencia y se desexcita el relay, con lo que se cierran esos

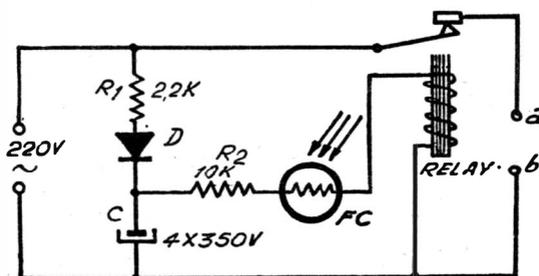


FIG. 287. — Esquema del interruptor de luz a fotocélula.

contactos y se encienden las luces, que se vuelven a apagar al alba. Es lógico que el frente de la fotocélula debe estar colocado de modo que mire hacia afuera, para recibir la luz natural.

Si observamos el circuito y pensamos en los dispositivos que se emplean para abrir la puerta del garaje, cambiemos el relay de contactos de apertura por otro de contactos de cierre, y coloquemos la célula de modo que pueda recibir la luz de los faros del automóvil; cuando llegamos con el coche, iluminamos la célula y se cierra el relay, cosa que nos sirve para cerrar el circuito de un motor que nos abra la puerta del garaje. Esta es una aplicación del mismo circuito, el cual debe ser regulado para que no funcione con luz natural.

Regulador de intensidad luminosa

Otro de los aspectos del problema de la iluminación en edificios dijimos que era el de la regulación de esa iluminación por medios electrónicos. Describiremos un circuito diseñado por la R.C.A. para graduar el brillo de lámparas incandescentes de hasta 250 Watt, que

ristor (recordar figura 194); cada semiciclo tendrá el mismo tiempo de cese y de conducción, y el promedio en un segundo dará la intensidad luminosa de las lámparas, de acuerdo con la posición de R_1 .

El diodo 1N3754 está para evitar un funcionamiento impropio del circuito, pues la carga residual de C_1 puede superar los 6 Volt con

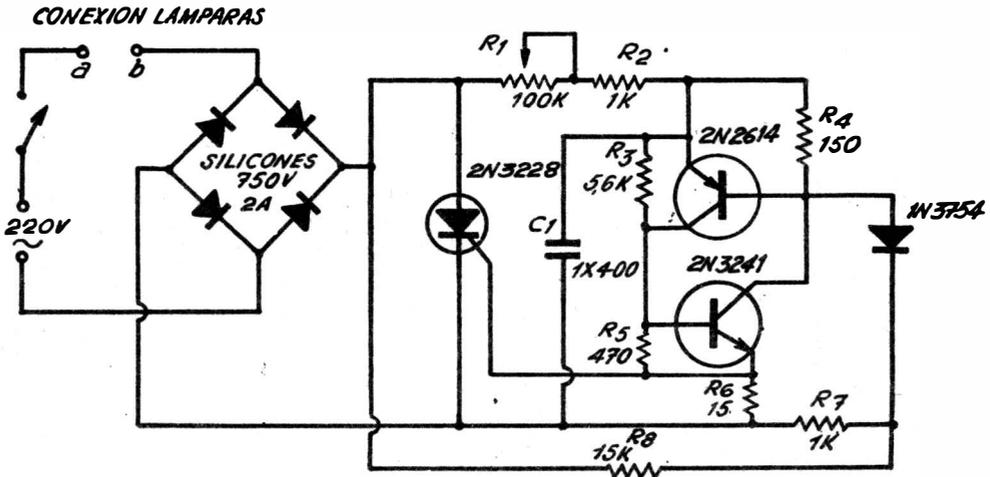


Fig. 288. — Esquema del regulador de intensidad luminosa de lámparas hasta 250 Watt.

emplea los elementos que ya hemos visto en casos anteriores, es decir el silicón controlado o tiristor, dos transistores complementarios, un diodo auxiliar y cuatro silicónes comunes para un rectificador en puente, además de unos cuantos resistores y un capacitor. La figura 288 nos muestra el circuito aludido.

Las lámparas conectadas en los bornes *ab* tendrán una intensidad luminosa que depende de la porción de cada medio ciclo de la fuente pulsante que queda en serie con las mismas, y ello dependerá, a su vez, del tiempo en que trabaje el tiristor 2N3228, que comienza cuando sea disparado y termina al finalizar el semiciclo, y así en los siguientes. Variando la posición del potenciómetro R_1 se altera el tiempo de carga de C_1 y con ello el momento en que los transistores comienzan a conducir corriente; cuando esto último ocurrirá habrá tensión en el resistor R_6 y se aplica la señal de disparo al tiristor, comenzando éste a conducir corriente. Si tomamos un tiempo de un segundo, durante ese lapso tendremos cien semiciclos en la corriente de alimentación de las lámparas, pero esos semiciclos no son completos, sino que la corriente solo circula en parte de ellos, parte que está gobernada por el instante de encendido del ti-

que comienzan a conducir los transistores. Para esa carga residual hay un camino directo que impide el disparo del tiristor.

PORTERO ELECTRICO

Los problemas emanados de la vida en las ciudades populosas, en las que la edificación se hace en altura, con casas de numerosos departamentos, han originado soluciones en las que la electrónica juega un importante papel. La imposibilidad de controlar el acceso al edificio y evitar la entrada de extraños es uno de los problemas a que hacemos mención, y si se agrega el inconveniente que es recibir visitantes después de la hora de cierre de la puerta de calle, se comprenderá que el portero eléctrico goza de una popularidad merecida. Claro, pues una persona llega ante la puerta cerrada de un edificio de departamentos, habla con los moradores de la unidad que le interesa, y desde ese departamento pueden abrirle la puerta si es necesario; se comprende fácilmente que todo eso brinda una comodidad muy apreciable.

En esencia, el abrepuertas eléctrico no es otra cosa que una cerradura electromagnética, con

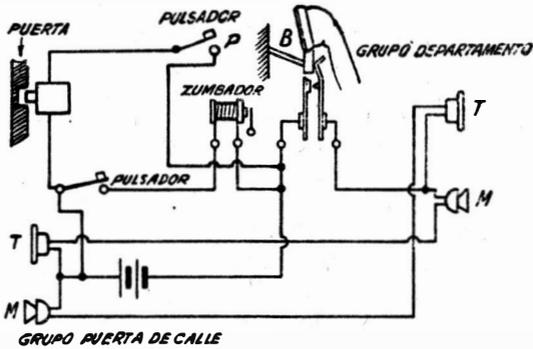


FIG. 289. — Esquema básico del portero eléctrico.

un electroimán que la mantiene cerrada, y cuyo botón de cierre del circuito que la liberará está en cada departamento; al oprimir un botón el electroimán corre el cerrojo y la puerta puede abrirse a mano accionando el picaporte, debiéndosela cerrar a mano, lógicamente.

Ese mecanismo se combina con una especie de teléfono privado que permite la comunicación desde la puerta de calle con cualquiera de los departamentos y, a veces, también con la portería cuando ésta existe. Todo el sistema se alimenta con una fuente de baja tensión y se revisa periódicamente para asegurar el servicio. La cerradura electromagnética y el intercomunicador constituyen en conjunto el llamado *portero eléctrico*. Si en lugar de emplear material telefónico para el intercomunicador usamos transistores y parlantes, tenemos el portero electrónico, derivado del anterior.

Esquema básico del portero eléctrico

Para simplificar la explicación supongamos que tenemos una puerta de calle y un departamento solo, alejado de ella. Los elementos que integran la instalación se ven en la figura 289, y son dos micrófonos, dos teléfonos, un zumbador, dos pulsadores y una horquilla conectora. La batería suministra baja tensión al conjunto, generalmente 12 Volt, pero en las instalaciones modernas se la reemplaza por un rectificador con un transformador y un silicón, de acuerdo a lo que vimos en el capítulo 8.

Hay que aclarar que en el departamento el micrófono y el auricular telefónico están juntos en una pieza similar a la de los teléfonos comunes de línea, conjunto que se llama *microteléfono* o *monofón*. En la unidad a colocar en la calle no puede usarse ese dispositivo porque lo robarían, de modo que se colocan el auricular y el micrófono detrás de una chapa con

perforaciones, a la que hay que arrimarse para hablar y escuchar. En la figura vemos que mientras el manofón está colgado en la horquilla B permanece desconectado, pero si desde la calle se oprime el pulsador, se hace sonar el zumbador y el morador del departamento levanta el manofón y atiende; si la persona debe entrar, oprime el pulsador de apertura de puerta P y el electroimán correrá el cerrojo para que la persona que está en la calle pueda entrar.

Esquema de la instalación

Pasemos ahora a la figura 290 que nos muestra una instalación de portero eléctrico con una central en la calle y tres departamentos, pero los cables continúan hacia arriba para conectar los restantes. Cada grupo de departamentos es igual al de la figura 289, y en la calle hay cuatro botones, tres para los departamentos que aparecen y el restante como modelo para los que faltan. En cada departamento hay un bo-

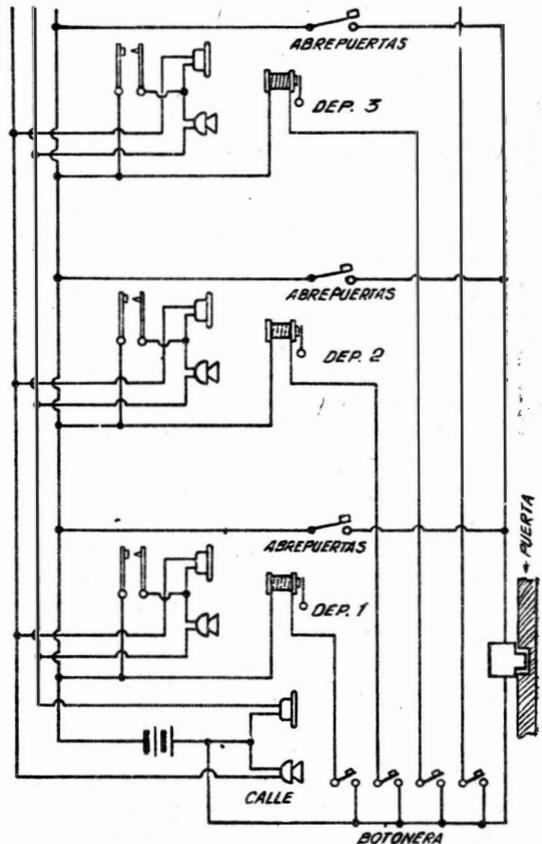


FIG. 290. — Esquema del portero eléctrico diagramado para tres unidades de vivienda.

tón abrepuertas. Como se ve, esta instalación supone que no hay portería o que si la hay, no se la hace intervenir en el portero eléctrico. La batería puede ser reemplazada por un rectificador a silicón que suministre los 12 Volt de continua para el funcionamiento de la instalación.

Obsérvese que los tres cables de la izquierda son comunes a todos los departamentos, así como el último cable de la derecha. Además de los nombrados debe llevarse un cable individual para cada unidad; como resulta ventajoso el uso de cables multifilares, necesitaremos un cable de tantos hilos como la suma de la cantidad de departamentos más cuatro, que son los comunes. Por ejemplo, en un edificio de 16 departamentos colocaremos un cable de $16 + 4 = 20$ hilos. En la práctica, los cables multifilares suelen denominarse por el número de pares de hilos, y el de 20 hilos se llamará de 10 pares.

En casas donde hay portería con presencia permanente del portero suele completarse la instalación con el agregado de una unidad más, cuyo esquema no hacemos porque basta suponer que la unidad N° 1 de la figura 290 es la correspondiente a la portería. Pero lo interesante es la combinación que veremos de inmediato.

Portero eléctrico combinado con intercomunicador de portería

La instalación de portero eléctrico con unidad adicional en portería permite agregar un servicio interesante, como es el de la intercomunicación entre los departamentos y la portería. Veamos el principio de esta combinación cuyo esquema básico, sin incluir el abrepuertas para no complicarlo, vemos en la figura 291. Aparece solamente la unidad de portería y la de un departamento cualquiera, pues luego veremos el circuito de la instalación completa.

La variante empieza en la horquilla del aparato del departamento, que tiene tres lengüetas, en vez de dos, y un botón. En reposo, ese botón está en la posición media, impidiendo que se cierren los contactos *a* con *b*. Al pulsar una persona el pulsador *A* que corresponde al departamento, el morador de éste levanta el manofón, con lo que sube el botón, se cierran esos contactos y se establece el circuito de comunicación entre el departamento y la calle, igual que en el sistema anterior. Si desde el departamento se quiere hablar con la portería se levanta el auricular y se oprime el botón hasta el fondo, con lo que se cierran los contactos *b* con *c*,

quedando el circuito establecido, sonando el zumbador de portería y encendiéndose una lamparita que indica cuál departamento ha llamado.

El portero, para hablar con el departamento debe accionar la llave *LL*, de la siguiente manera: en su posición de reposo esa llave hace que el aparato de portería quede conectado como si fuera una unidad de departamento y al ser oprimida, cambia a poder comunicar con el departamento que llamó. En la calle hay uno de los botones *A* que permite llamar desde allí a la portería, y en la portería hay un botón *B* que permite llamar a un departamento, accionando además la llave *LL*. Si completamos este

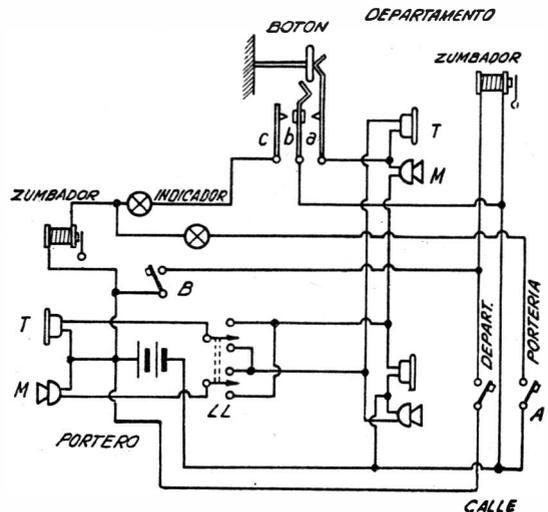


FIG. 291. — Esquema básico de la combinación de portero eléctrico con intercomunicador de portería. La cerradura eléctrica no aparece en esta figura.

conjunto con el circuito del abrepuertas y lo dibujamos para varios departamentos en lugar de uno solo, tendremos la instalación completa que se ve en la figura 292.

Vemos aquí que se ha multiplicado el esquema de la figura 291, y que hay cuatro hilos comunes, tres en la parte central y uno a la derecha, para la cerradura abrepuertas. Además hay dos cables individuales que van a los departamentos; uno a la izquierda, que pasa por las lámparas indicadoras que hay en la portería para identificar al departamento que llama al portero y otro a la derecha, que corresponde a los pulsadores de calle. Luego, para determinar la cantidad de hilos para la instalación tomaremos el doble de la cantidad de departamentos más cuatro. Por ejemplo, para un edi-

ificio con 30 departamentos, deberemos usar un cable multifilar de:

$$30 \times 2 + 4 = 64 \text{ hilos}$$

que, como sabemos, suele denominarse como de 32 pares; si no se encuentra de esa cifra pueden

Portero electrónico

La base de este sistema más moderno que el anterior es el intercomunicador a transistores en lugar del sistema telefónico que hemos visto. En principio, un intercomunicador no es otra cosa que un amplificador con un sistema de

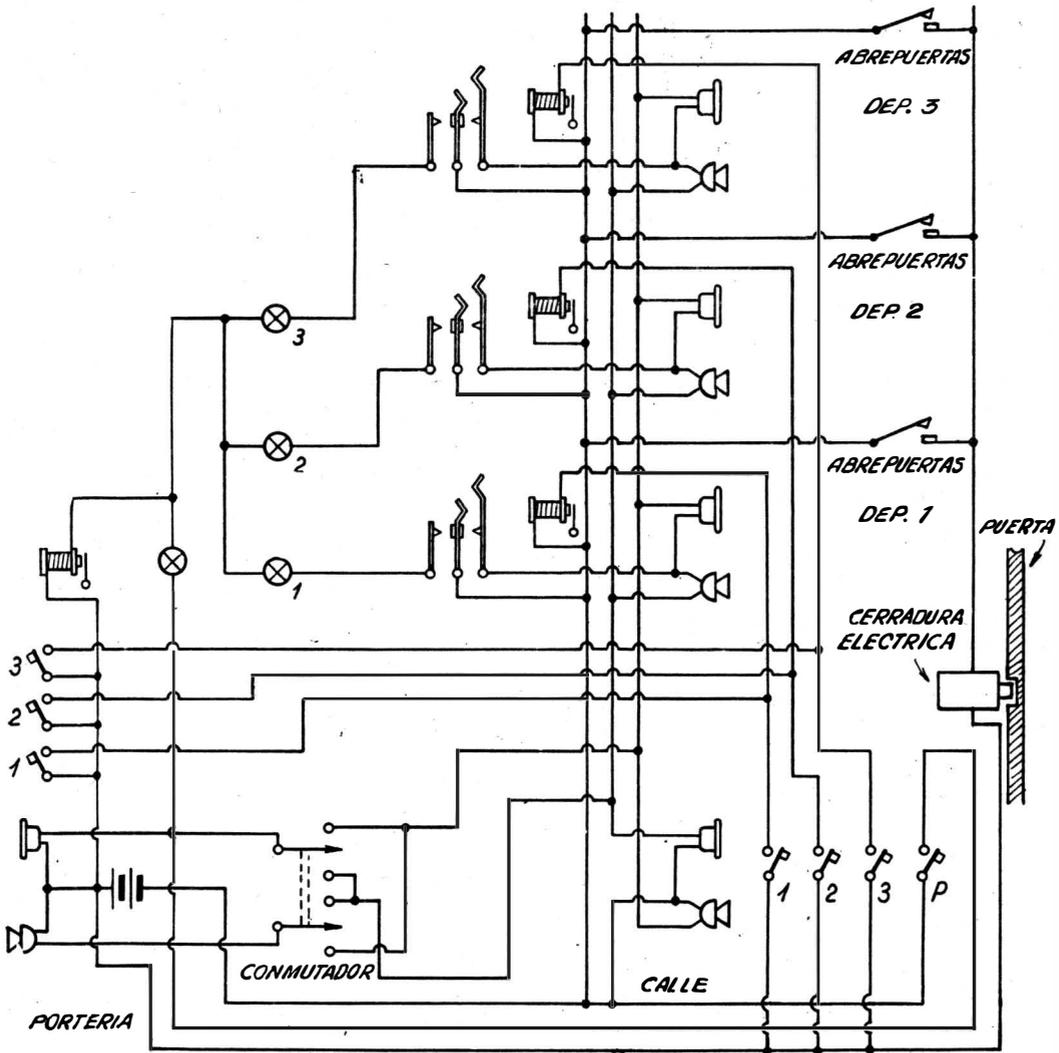


FIG. 292. — Esquema completo del portero eléctrico combinado con intercomunicador de portería para varias unidades de vivienda.

usarse dos, por ejemplo de 12 y 20 ó algo por el estilo. Además hay un cable múltiple de la calle a la portería, que en el caso de la figura es de 8 hilos.

Las cajas de calle y de las unidades remotas las veremos al ocuparnos del tema que sigue inmediatamente, pues son similares.

conmutación de la entrada por la salida, para poder enviar la señal en ambas direcciones, y ello tal como lo representa la figura 293. Hay un amplificador cuyo esquema veremos más adelante, que en lugar de tener un parlante tiene dos, uno a la entrada que oficia de micrófono y otro a la salida que trabaja como

parlante propiamente dicho. El conmutador doble en la posición 1 hace que el parlante de la izquierda, llamado central porque está junto al

que es un interruptor doble, indicado con la letra A. Hay también una fuente de alimentación a silicón y una chicharra o zumbador.

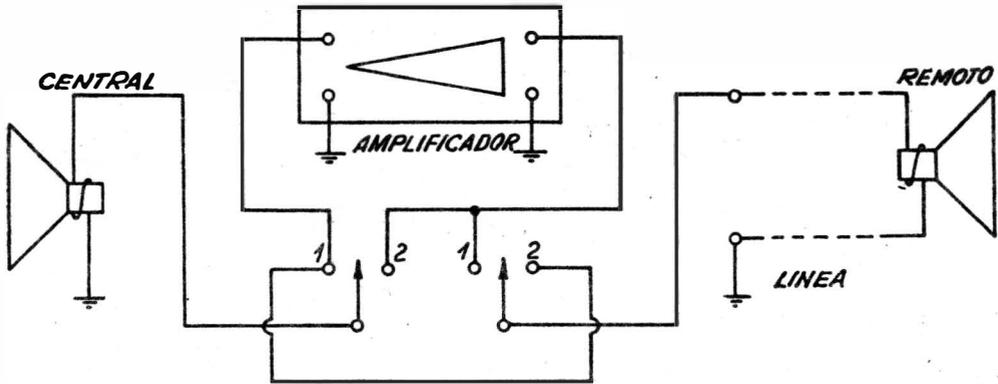


FIG. 293. — Esquema de principio de un intercomunicador.

amplificador, trabaje como micrófono y el de la derecha, que está alejado del amplificador, quede conectado a su salida para emitir el sonido. En la posición 2 se invierten los parlantes y el de la central queda a la salida del amplificador. No es difícil ya imaginarse que dos personas, una colocada frente a un parlante y la otra frente al otro pueden hablar y escucharse recíprocamente, siempre que una de ellas accione sobre la llave conmutadora cuando habla y la suelte cuando escucha; para ello, esa llave tiene un resorte que la lleva a su posición de reposo, que es la N° 2 de la figura 293.

Veamos un esquema de portero electrónico para apreciar el funcionamiento, y la figura 294 nos muestra uno con la central de calle y tres unidades; una de ellas puede ser la portería o no, si no la hay. Tenemos la cerradura electromagnética, un parlante en la placa de calle y los pulsadores de los que aparecen cuatro a pesar de haber dibujado tres unidades para mostrar cómo se pueden ir agregando departamentos en el esquema. Los tres cables de la derecha son comunes y el N° 4 es individual. Cada unidad se conecta mediante una tira de cuatro bornes numerados del 1 al 4. Ahora veremos el esquema interno que corresponde a cada una de las unidades dentro de los rectángulos.

La figura 295 muestra ese esquema interno de cada unidad. Hay un amplificador a transistores de dos etapas, una llave *habla - escucha* indicada con la letra C, un botón abrepuertas, indicado con la letra B y una llave de conexión,

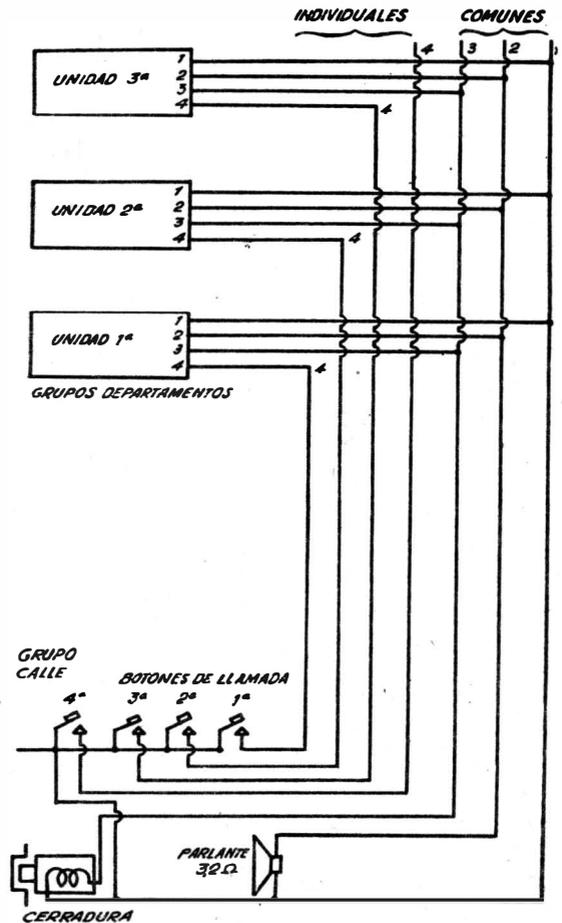


FIG. 294. — Esquema general de una instalación de portero electrónico.

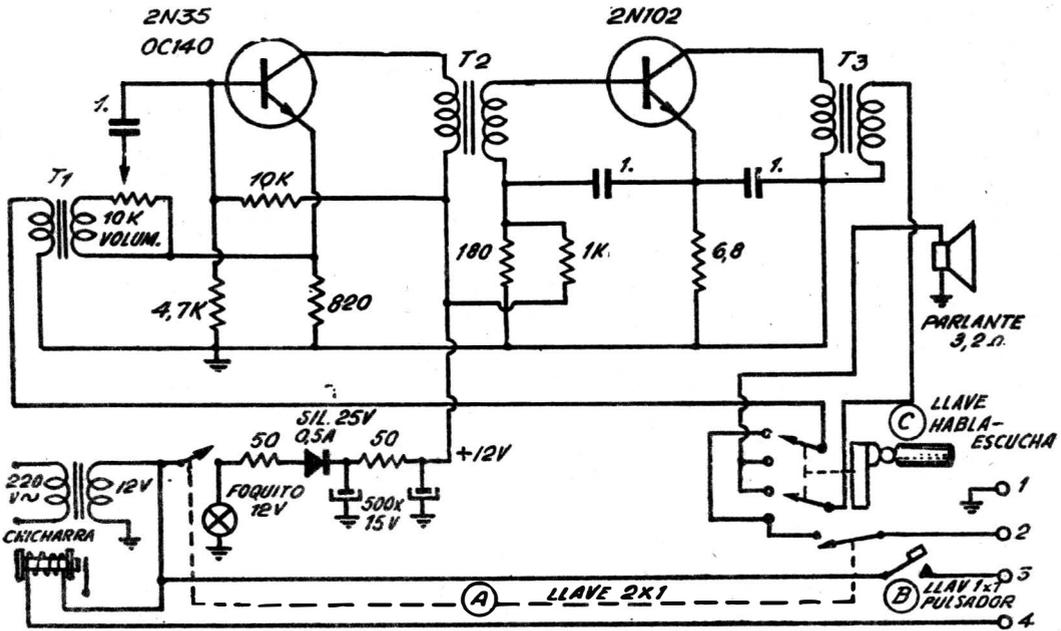
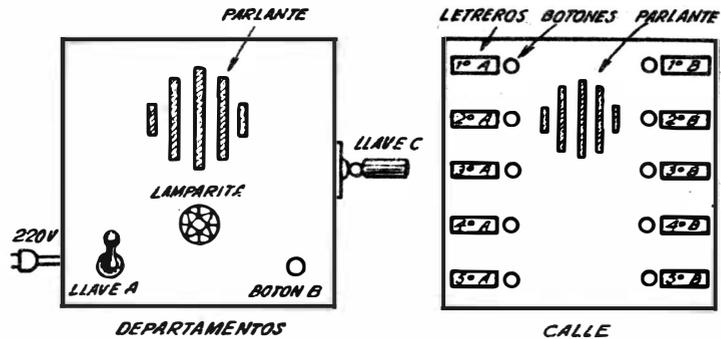


FIG. 295. — Esquema de cada unidad de departamentos de la instalación de portero electrónico.

El funcionamiento es el siguiente: cuando desde la calle alguien oprime el botón de llamada a una unidad, suena la chicharra, estando abiertas las llaves A y B y en reposo la C. El morador, para atender, cierra la llave A y oprimiendo la C inquiere al que llamó, habla con él oprimiendo siempre la llave C y soltándola para escuchar; si debe abrirle la puerta oprime el botón B. Cuando terminó la comuni-

las ranuras de la placa frontal, y a los costados los botones de los departamentos, con leyendas indicativas; esta caja es embutida y la placa queda a ras con la pared. Las cajas de departamentos pueden no ser embutidas y tienen el parlante, una lamparita indicadora de que la unidad está conectada, la llave A, el pulsador abrepuertas B y el conmutador elástico C. Los usuarios se acostumbran rápidamente a ac-

FIG. 296. — Paneles frontales de las unidades de departamentos y del conjunto de calle de la instalación de portero electrónico.



cación abre nuevamente la llave A y todo queda en reposo.

Las cajas de departamentos y de calle pueden verse en la figura 296; debe considerarse a las que allí vemos como modelo, pues pueden hacerse a gusto del interesado. En la de calle hay un parlante en la parte central, detrás de

cionar estas unidades y la ventaja con respecto al sistema eléctrico antes descrito es su mayor volumen sonoro, que permite las comunicaciones aun con fuertes ruidos de calle. Esto lo saben los que han penado para oír lo que le dicen desde arriba cuando pasa un camión ruidoso por una calle empedrada.

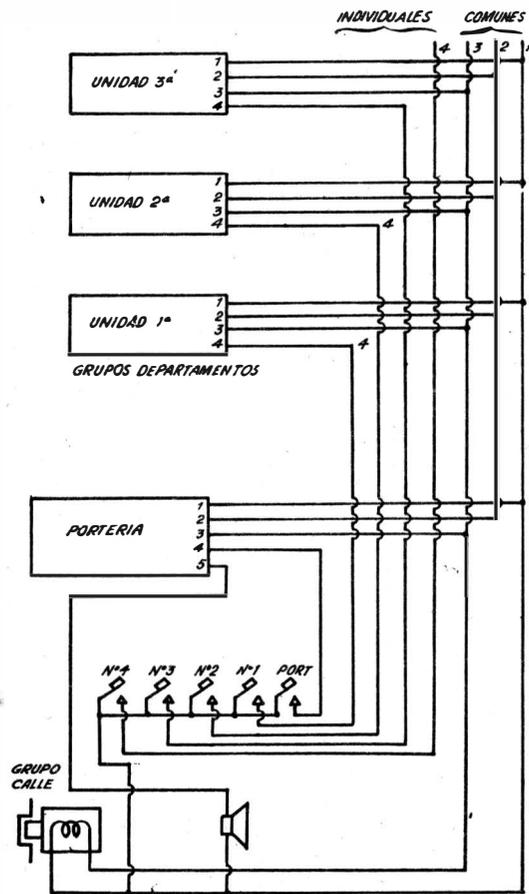
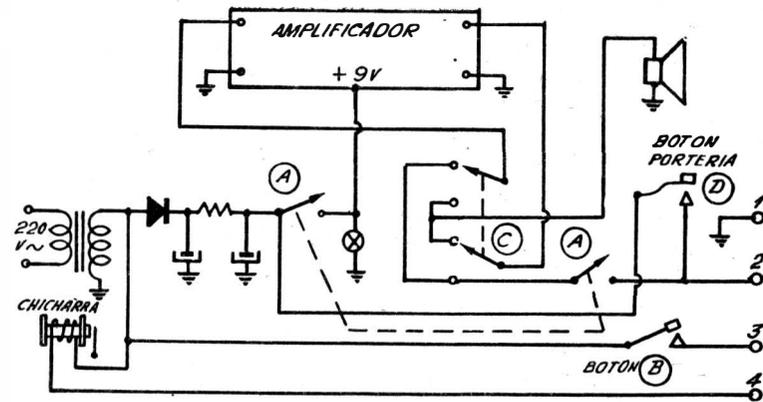
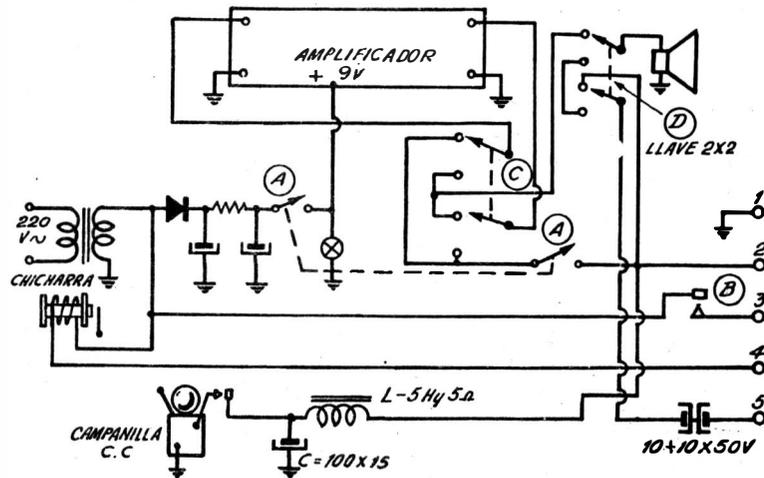


FIG. 297. — Esquema general de una instalación de portero electrónico combinado con intercomunicador de portería.



UNIDAD DEPARTAMENTO



UNIDAD PORTERIA

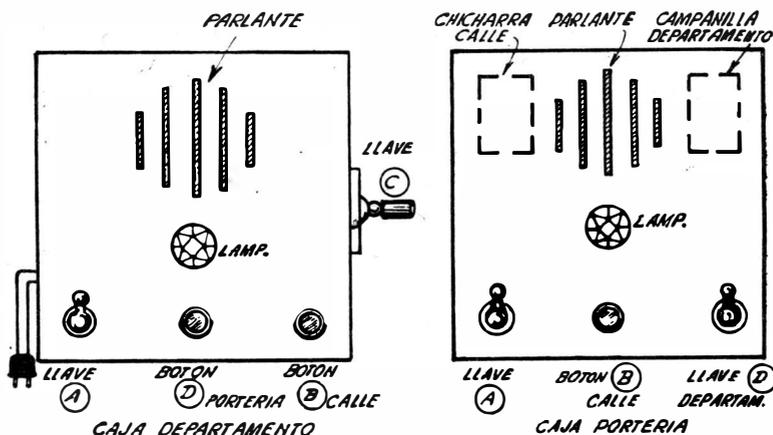
FIG. 298. — Esquema de las unidades de departamentos y de la portería en la instalación de portero electrónico combinado con intercomunicador de portería.

Portero electrónico con intercomunicador de portería

Tal como pudo hacerse esta combinación con el sistema eléctrico con teléfonos y micrófonos, también se puede realizar el sistema combinado con el circuito electrónico. La figura 296 nos muestra el esquema general, donde vemos que las unidades de departamentos tienen, igual que

mado de los departamentos, mientras que la chicharra que aparece a la izquierda recibe los llamados de la calle. Hay en esa campanilla de c.c. un filtro formado por un inductor *L* que tiene una inductancia de 5 Henry y una resistencia de 5 Ohm, complementada por un capacitor electrolítico de 100 mfd; el objeto es poder usar ese hilo de la línea para la comunicación con la calle sin que la señal de audio

FIG. 299: — Paneles frontales de las unidades de departamentos y de la portería en la instalación combinada de portero electrónico e intercomunicador de portería.



antes, una tira de cuatro bornes, pero la de portería tiene cinco bornes. Siempre tenemos tres hilos generales y uno individual para cada departamento, pero la portería tiene dos individuales que vienen de la calle.

Los esquemas internos pueden verse en la figura 298: arriba, el que corresponde a cada departamento, y, abajo, el de la portería. Obsérvese que hay un botón adicional en el esquema superior, el *D*, que sirve para llamar a portería. Lo interesante es que, cuando un departamento llama a portería, acciona sus llaves como si hablara con la calle, pero el portero no debe accionar ninguna llave, salvo una que oprimirá, la *D*, pues sólo interviene su parlante, mediante su llave *D*, que le sirve para hablar y escuchar, pero sin haber encendido su amplificador, por no haberse cerrado la llave *A* de su unidad. La campanilla de tipo especial para corriente continua que aparece en el esquema de portería no es un zumbador, y sirve para recibir el lla-

haga sonar la campanilla, ya que por ser esa señal de alterna no pasa por el filtro que hemos mencionado.

Los paneles de esta instalación pueden verse en la figura 299, que muestra los correspondientes a la portería y a uno de los departamentos; el de calle es similar al de la figura 296, a la derecha, con el agregado del botón con la indicación: *portería*. Claro, la caja de portería tiene una chicharra y un zumbador y hay una llave *D* que el portero debe cerrar cuando lo llaman desde un departamento; por tal motivo conviene que esa llave sea de retorno a reposo en forma automática, para evitar que el portero olvide su desconexión. Las cajas de departamentos presentan el agregado del botón para llamar a portería, que lleva la letra *D* en la figura 299, siendo éste el único agregado con respecto a la caja que vimos en la figura 296 a la izquierda.

Día 15

La Electrónica ha invadido ya todos los campos de las actividades humanas y en las jornadas anteriores hemos visto algunas de las innumerables aplicaciones, ya que sería imposible mencionar a todas y menos aún mantener esa información al día. Uno de los sectores de la industria que ha tardado más en aplicar dispositivos electrónicos es el correspondiente a los automotores, que hasta hace poco tiempo sólo empleaba circuitos eléctricos simples para iluminación, bocina, motor de arranque, generador para carga de la batería y un circuito de encendido a transformador, todo ello muy conocido y con pocas modificaciones a lo largo de muchos años.

Ultimamente han empezado a aplicarse dispositivos electrónicos más modernos en los automotores, y así encontramos el encendido a transistores, la bocina electrónica, el tacómetro electrónico, etc. Como vemos, se justifica que dediquemos una jornada de nuestro estudio a los dispositivos electrónicos del automotor, aunque irán apareciendo otros que no se explicarán aquí; lo esencial es conocer los principios y los elementos básicos, estos últimos ya familiares para nosotros por haberlos tratado en jornadas anteriores. Planteado el tema y la inquietud, pongamos manos a la obra.

LA ELECTRONICA EN EL AUTOMOTOR

El advenimiento de los transistores —elementos mucho más resistentes que las válvulas, ya que por lo pronto no tienen filamento que puede cortarse en una sacudida, no tienen bulbo de vidrio y gozan de otras ventajas, la más importante de las cuales es que trabajan con tensiones del orden de las usuales en las baterías de acumuladores— ha hecho que los fabricantes de automotores comiencen a incorporar dispositivos electrónicos. Y puede decirse que el camino iniciado será largo y frondoso; lo que veremos ahora es una serie de dispositivos que marcan el comienzo y que ya se han popularizado. Comenzaremos por el encendido a transistores por ser el más conocido y el que hasta el momento ha llamado más la atención.

ENCENDIDO A TRANSISTORES

Para explicar el sistema de encendido a transistores aplicable a los automotores, debemos repasar antes un poco sobre el sistema clásico de encendido, entendiéndolo por tal el que se estaba usando y se sigue usando en la actuali-

dad. Es sabido que el sistema de encendido tiene la misión de producir en las bujías de cada cilindro, del motor, en el momento oportuno, exactamente en ese momento, una chispa eléctrica para dar lugar al proceso de la combustión, vulgarmente llamado *explosión*.

Veamos los componentes de un sistema convencional de encendido que nos muestra la figura 300. Tenemos allí la llave de contacto, el balasto, la bobina y el distribuidor. La llave sirve para cerrar el circuito cuando se pone en marcha el automotor, el balasto es un resistor de protección, la bobina es un transformador, pues tiene un bobinado primario y otro secundario de mucha mayor cantidad de espiras, y el distribuidor es una especie de llave selectora rotativa cuyo eje es accionado por el mismo motor al girar su cigüeñal. Dentro de esta última pieza hay un capacitor y un par de contactos elásticos llamados *platinos*. Para comprender el funcionamiento del sistema nos conviene más el esquema eléctrico que vemos en la figura 301 y que contiene los mismos accesorios representados por sus símbolos convencionales; se ha

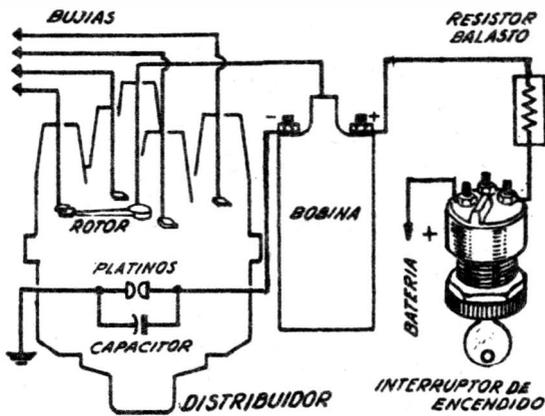


Fig. 300. - Disposición de los elementos en el sistema de encendido convencional.

agregado la batería, de la cual se toma corriente para el funcionamiento del sistema.

Conviene aclarar que los dos platinos se cierran o se abren por acción del mismo eje rotativo del distribuidor, tantas veces por vuelta de éste como cilindros tenga el motor. Vayamos ahora al circuito de la figura 301. Para conseguir una chispa en la bujía, que debe saltar entre sus electrodos, necesitamos una tensión muy elevada, varios miles de Volt, la que se logra de la siguiente manera: Al cerrar la llave de encendido o contacto los platinos están cerrados, luego circulará una corriente por el primario de la bobina hasta que en un momento dado el distribuidor, mediante su brazo interno, abra los platinos; en ese momento se carga rápidamente el capacitor e inmediatamente se descarga a través del primario *P* mediante una corriente breve, de rápida extinción, que da origen a la inducción en el secundario *S* de una tensión muy elevada. Como en ese instante el distribuidor tiene cerrado el circuito hacia una bujía, se produce en la misma la chispa necesaria.

Inconvenientes del sistema convencional

Este sistema de encendido tiene algunas desventajas, pese a lo cual se lo ha utilizado durante muchísimos años. Los principales inconvenientes son:

- a) se produce un desgaste grande de los platinos, puesto que ellos interrumpen constantemente corrientes muy fuertes, de varios Amper; esto obliga a la limpieza frecuente y al recambio periódico.
- b) dado que la tensión producida en la bo-

bina está ligada al tiempo de extinción de la corriente primaria, y ese tiempo será distinto si el rotor del distribuidor gira despacio o ligero, la chispa dependerá de la velocidad del motor y disminuye el rendimiento de la combustión cuando la tensión de ignición es baja.

La solución de estos males se buscaba en lograr que los platinos no cortaran corriente fuerte sino que actuaran solamente como gobierno del sistema y emplear un sistema de corte de la corriente en la bobina que fuera independiente de la velocidad de giro del motor. Había que pensar en dispositivos electrónicos, pero las válvulas, thyatrones, etc., eran inseguras y frágiles.

El sistema a transistores

El advenimiento de los transistores ha permitido resolver los problemas del imperfecto sistema de encendido en uso, ya que son robustos, soportan bien las vibraciones, trabajan con las tensiones bajas que tienen las baterías de los automotores y, en general, presentan las particularidades que se necesitan para la finalidad mencionada. Veamos de qué manera un transistor puede usarse como conmutador para un sistema de encendido.

La figura 302 nos muestra un transistor en una conexión muy simple: La resistencia interna entre colector (*C*) y emisor (*E*) es naturalmente elevada cuando no hay conducción de corriente y se hace muy baja cuando ocurre tal conducción. Para gobernar ese estado de conducción o no conducción sirve la base (*B*), la que, según sea su polarización permite o no la conducción a través del transistor. Si cerramos el interruptor *S* la base toma un potencial cercano al del colector y entonces el transistor conduce corriente, la que circula también a través de lo que hemos denominado *carga* en la figura. Si, en cambio, el interruptor *S* está

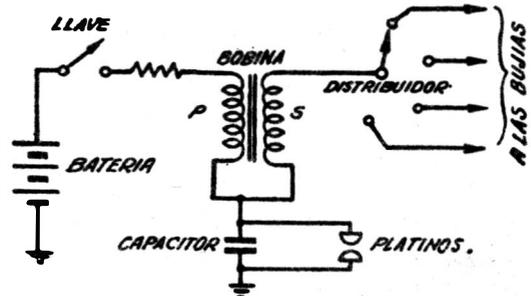


Fig. 301. - Esquema eléctrico del sistema convencional de encendido.

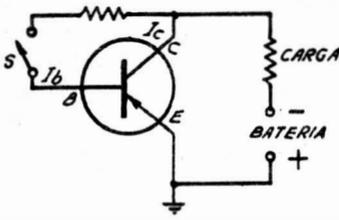


FIG. 302. — El transistor usado como conmutador.

abierto el transistor no conduce y no circula corriente por la carga.

Es de notar que en la figura 302 hemos denominado I_b a la corriente de base e I_c a la corriente de colector, y que la primera es mucho más pequeña que la segunda, de modo que el transistor se comporta como un relevador, ya que con una pequeña corriente realizamos el gobierno de una corriente fuerte. Tenemos así un transistor trabajando como un conmutador electrónico. Veamos ahora la aplicación del transistor a un sistema de encendido, primero un circuito básico y después nos ocuparemos de los circuitos reales.

La figura 303 nos muestra la disposición de los elementos, que aparentan ser los mismos que en el sistema convencional, con el sólo agregado de la unidad a transistores; después veremos que la bobina es distinta y las otras diferencias que pueden haber. Para analizar el funcionamiento haremos el circuito real de este sistema básico, el cual mostramos en la figura 304, por ahora con un solo transistor, arriba del cual vemos un diodo Zener, cuya misión explicaremos. El funcionamiento de la unidad es el siguiente:

Si cerramos la llave de contacto y los platinos están abiertos, no hay conducción de corriente a través del transistor, pero en el momento que los platinos se cierran queda aplicado a la base el potencial negativo de la batería y el transistor conduce corriente entre los puntos 1 y 3 y lógicamente, por estar cerrado el circuito, a través del primario de la bobina. Se produce la inducción de la tensión elevada en el secundario y el distribuidor aplica esa tensión a una de las bujías. O sea que el transistor no ha hecho otra cosa que cerrar el circuito primario en el momento preciso. ¿Cuáles son las ventajas del sistema como para justificar la inclusión de un transistor en el circuito? Veamos:

a) La corriente de base, que es la que pasa por los platinos, es sólo una muy pequeña fracción de la corriente principal, que es la de colector y también la que va a la bobina y realiza el proceso de encendido.

Se logra entonces evitar el desgaste de los platinos; como primera ventaja.

- b) Dado que no hay desgaste de platinos, la abertura entre los mismos se mantendrá calibrada durante mucho tiempo, evitándose frecuentes regulaciones.
- c) Como la interrupción de la corriente en la bobina primaria se produce por la acción conmutadora del transistor sin formación de arco, se conseguirá fácilmente una tensión secundaria más elevada, e independiente de la velocidad de giro del motor, manteniéndose uniforme el rendimiento de la combustión.
- d) La chispa obtenida en la bujía es más fuerte, lo que mejorará tal rendimiento y lo que es más interesante, se facilita el arranque del motor en frío. Consecuentemente, mejor chispa y más uniforme se traducen en economía de combustible.

La sola enumeración de las ventajas precedentes explican el prestigio que ha alcanzado en poco tiempo el sistema de encendido a transistores. Pero antes de ver los circuitos prácticos, debemos explicar la función del diodo Zener que aparece en la figura 304 y que hasta ahora no dijimos la razón de su inclusión.

Ocurre que los transistores soportan entre sus electrodos tensiones exactamente especificadas por la fábrica, las cuales no deben ser superadas. Como la apertura de circuitos en los que se encuentran incluidas bobinas producen

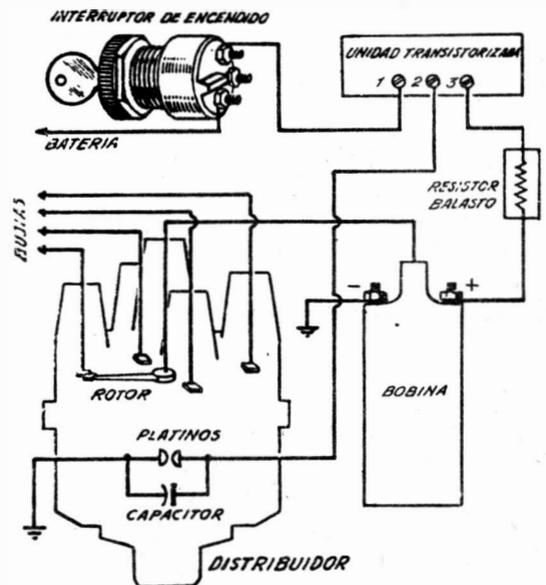


FIG. 303. — Disposición de los elementos en el encendido a transistores.

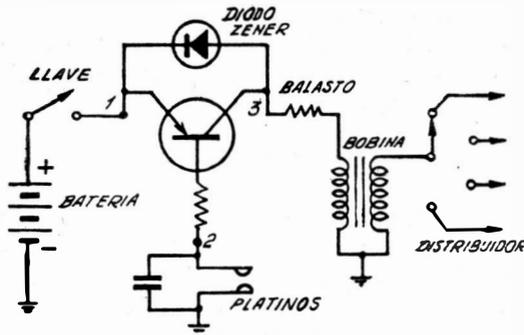


Fig. 304. — Esquema básico del sistema de encendido a transistores.

siempre sobretensiones instantáneas que podrían perjudicar al transistor, debe colocarse un elemento de protección, un elemento que cuando la tensión sobrepase un cierto valor cierre el circuito del transistor de tal manera que el mismo quede automáticamente eliminado. Veamos las cifras:

Las bobinas comunes de encendido tienen una relación de espiras de 100:1, con lo que si el bobinado secundario tiene 30.000 espiras el primario tendrá unas 300 y la tensión inversa al corte del circuito alcanzará unos 300 Volt. Los transistores de potencia que se encuentran en la actualidad no soportan esa cifra sino a una tercera parte de ella, es decir 100 Volt. Luego, la primera medida que hubo que adoptar es usar bobinas de mayor relación de espiras, digamos 300:1 con lo que la tensión al corte de circuito se mantendrá en una cifra de 100 Volt.

Ahora falta proteger al transistor ante posibles sobretensiones que superen esos 100 Volt. El diodo Zener que se utiliza debe tener una tensión Zener un poco menor que la cifra tolerada por el transistor. Más adelante veremos que hay circuitos prácticos que emplean diodos comunes en lugar de diodos Zener, y eso porque hace un tiempo no se fabricaban diodos Zener en nuestro país. Esa etapa ha sido superada y actualmente se obtienen fácilmente los elementos para cualquier circuito de encendido transistorizado que se desee emplear.

Veamos ahora un circuito práctico de aplicación del principio antes explicado, tal como se ve en la figura 305. Es común que se empleen dos transistores en lugar de uno solo, para repartir la tensión total entre ambos; otros sistemas emplean tres o más transistores, y lógicamente cada uno lleva su diodo de protección. La llave de encendido presenta en este caso la particularidad de tener tres posiciones,

una de apagado, una para el arranque y otra para la marcha normal. Esas dos formas de conexión se deben al siguiente hecho: La resistencia del primario de la bobina es muy baja, como vemos en el esquema, y entonces la corriente circulante por aplicación de la batería sería muy elevada, debiéndose conectar en serie una resistencia R de protección, que queda insertada en el circuito en la marcha normal del automotor. Pero, en el arranque, el motor gira muy despacio y además ese estado dura muy poco tiempo, de modo que puede hacerse la conexión directa sin inconvenientes.

Veamos ahora algunas consideraciones de índole práctica acerca del circuito de la figura 305 que estamos describiendo. Nada hemos dicho del capacitor que aparece derivado sobre los platinos y que en el sistema de encendido convencional jugaba un papel muy importante. Aparentemente podría ser ahora suprimido del circuito, ya que no realiza una función vital, pero se lo deja para que absorba las pequeñas chispas que se producen en los platinos cuando ellos abren el circuito de baja corriente en que actúan; colabora así ese capacitor en aumentar un poco más aún la duración de los platinos que ya es grande en los sistemas a transistores.

Otro detalle de interés: los transistores tienen una pequeña corriente de pasaje o fuga entre colector y emisor cuando se halla abierto el circuito de base; hay que evitar que esa corriente pueda polarizar a los transistores y provoque conducción de corriente en el circuito principal, para lo cual se colocan resistores de drenaje, que son los R_1 y R_3 en la figura, y se eligen transistores de baja corriente de fuga. Por ejemplo, suelen usarse los transistores 2N174 o los tipos similares que se comportan muy bien en esa función.

Los resistores R_2 y R_4 son los encargados de dosificar la polarización de las bases con respecto a los emisores cuando los platinos están cerrados, permitiendo el pasaje de corrientes tan grandes como unos 8 a 10 Amper por el circuito emisor - colector.

Los diodos Zener D son del tipo de 56 Volt como tensión de avalancha, de modo que habiendo dos en serie tenemos protección para 112 Volt, cifra que cubre cómodamente la máxima tensión inversa colector - emisor de los dos transistores en serie.

Y, finalmente, obsérvese que en la bobina están especificadas las resistencias de sus bobinados primario (0,3 Ohm) y secundario (3.000 Ohm); estos bobinados deben guardar, además, una determinada relación de espiras, la que fue

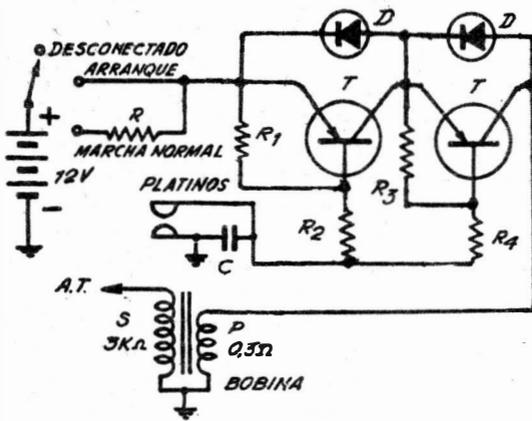


Fig. 305. -- Circuito de un sistema de encendido a transistores.

ya especificada como de 300:1.

Ahora, los detalles de instalación: los transistores de potencia requieren el uso de disipadores térmicos, que son chapas metálicas de ciertas dimensiones que sirven a la vez de soportes. Para cada transistor se dan las medidas lineales y el espesor de la chapa, que se hace generalmente de aluminio y se la pinta de negro; a esta chapa, mediante agujeros en su parte central, repartiendo las medidas si hay dos o más transistores, se aseguran éstos mediante las tuercas, pero como las envolturas metálicas de ellos corresponden a la conexión de uno de los electrodos (en los 2N174 son los colectores), se intercalan arandelas de mica para aislar de masa a esos electrodos. En la misma chapa o caja que la contiene se colocan los restantes elementos, y el conjunto debe ser ubicado en un lugar ventilado y no muy caliente del automotor, para no superar la temperatura máxima fijada por la fábrica para los transistores. Es usual colocarlos debajo del tablero. Las conexiones con el resto del circuito eléctrico (distribuidor, batería, etc.) se hacen con cables de 1,5 mm de diámetro como mínimo. Es de notar que siendo la tensión secundaria del orden de los 30.000 Volt, puede producirse efecto corona en los cables que van a las bujías, es decir halos luminosos observables únicamente por la noche, esto no es inconveniente siempre que la excesiva proximidad de los cables de las distintas bujías dé lugar a ignición cruzada; para evitarlo se separan bien esos cables.

Por último cabe consignar que se aconseja repasar la regulación de apertura de distribuidor y luz de bujías, de acuerdo con los datos de fábrica. Los resultados prácticos son: duración

de platinos 120.000 Km; duración de bujías 60.000 Km; aumento de la velocidad máxima del automotor: más de 10 Km/h y economía de combustibles: más del 10 %.

Otro circuito práctico

Se han hecho muchos ensayos para utilizar un solo transistor en sistemas de encendido a transistores, y vale la pena consignar el circuito logrado por V. E. Baker en los EE.UU., que mostramos en la figura 306. El secreto es el transistor 2N1970 o similares, de 15 Amper a 100 Volt de tensión inversa y el diodo Zener (D_1) 1N3040 de 68 Volt. Esta combinación, mediante el aumento de la relación de espiras en la bobina a 400:1, trabaja perfectamente. El otro diodo (D_2) es un silicio común de 25 a 35 Amper de baja tensión, tal como 50 Volt para sistema de 12 Volt de batería y 25 Volt para sistemas de 6 Volt. El tercer diodo (D_3) es opcional, ya que se emplea únicamente para el arranque y puede ser de iguales características que el anterior; si se suprime el botón de arranque y se trabaja siempre con la llave de contacto únicamente, detalle que depende de que no haya un clima muy frío, se suprimen del esquema el botón, el diodo D_3 y el resistor que está en serie con él, de 2 Ohm.

El montaje de esta unidad puede hacerse en una lata cilíndrica de unos 5 a 6 cm de diámetro y no menos de esa misma medida en el largo; en la tapa se perfora un agujero cilíndrico de 6,35 mm para el transistor de potencia, de modo que toda la lata sirva de disipador térmico. Recuérdese que el transistor se aísla de masa con arandelas de mica, porque su envoltura

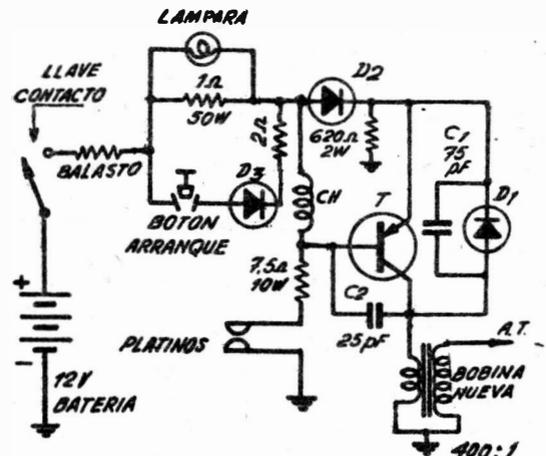


Fig. 306. -- Circuito de una unidad muy simple de encendido a transistores.

metálica está unida a uno de sus electrodos. La bobina de choque (CH) se hace tomando un resistor de 1 Megohm y devanando sobre el mismo unos 12 gramos de alambre esmaltado, que formará una resistencia de algo más de 30 Ohm. El alambre es de 0,2 mm de diámetro. Ese choque se encuentra hecho en plaza, pidiéndolo como de 3 a 5 milihenry para 125 mA.

De inmediato vemos la lámpara que es una pequeña lamparita tipo 1129; si con ella se obtiene poca corriente se la cambia por la 1133 y si la corriente es muy alta se usa la 1073. Derivado sobre esa lámpara aparece un resistor de 1 Ohm a 50 Watt, adecuado para el sistema de batería de 12 Volt que aparece en el esquema. Si el circuito se usara para 6 Volt, la lámpara es la misma, pero ese resistor se rebaja a la mitad de su valor, o sea que se colocará 0,5 Ohm. Cuando se prueba el sistema, se debe medir la corriente y ella deberá ser de unos 8 Amper; en caso contrario, se cambian las lámparas como se indicó antes.

Un circuito sin diodos Zener

Otros experimentadores trabajaron buscando prescindir de los diodos Zener, especialmente en la época en que no eran de fácil obtención. Así, William C. King logró buenos resultados con el circuito que muestra la figura 307, cuya simplicidad salta a la vista, pero que emplea tres transistores en serie, cada uno de los cuales está protegido con diodos comunes de silicio

del tipo de 100 Volt de tensión inversa y 150 mA de drenaje. Para el caso sirven los tipos 1N91, los 1N537, etc. Los transistores son del tipo 2N174, 2N174A o similares. Las conexiones del conjunto al resto del automotor se hacen en una tira de terminales cuya numeración coincide con la que vimos en la figura 303. La más destacada particularidad de este sistema es que, por emplear 3 transistores en serie, no se necesitan bobinas especiales de encendido, pudiendo dejarse en el automotor la existente, generalmente de relación 100:1. De este modo cada transistor estará sometido a una tensión inversa del orden de 100 Volt. El precio de los tres transistores es inferior al de la bobina especial y allí está la ventaja de la disposición comentada. Tiene en su contra el detalle que deben ser equilibradas las tensiones de las tres bases, por lo cual una de ellas lleva un resistor fijo, pero las otras dos necesitan sendos potenciómetros, tal como se ve en la figura, debido a las diferencias constructivas que se encuentran entre transistores iguales.

La figura 308 ilustra sobre el montaje de los transistores en la chapa disipadora, la que se hace de aluminio de 3 mm de espesor con medidas de 7,5 x 15 cm, y luego se la pinta de negro; la misma chapa sirve de chasis para toda la unidad, pudiendo verse al costado a la derecha los ejes de los dos potenciómetros de 5 Kilohm. Hechas las conexiones de todos los elementos que van en la chapa, que son los que aparecen en el esquema, debe ajustarse la unidad. Para ello necesitamos una fuente de igual tensión a la que habrá en el automotor, sea 6 Volt ó 12 Volt, y se conectará el terminal N° 1 al positivo de esa batería y el terminal 3 al resistor de 2 Ohm 100 Watt y luego al balasto y bobina según vimos en la figura 303, dejando el terminal N° 2 sin conectar. Se procede a ajustar los dos potenciómetros de 5 Kilohm hasta lograr que las tensiones entre emisor y colector sean iguales en los tres transistores. Luego se conecta el terminal N° 2 a masa y se comprueba si las caídas de tensión a través de los tres transistores son iguales entre sí y de un valor de 0,3 Volt aproximadamente; si así no fuera se alteran los valores de los resistores de 3,9 Ohm hasta conseguirlo. Si esas tres tensiones son iguales pero mayores que la cifra dada, se disminuye el valor del resistor de 12 Ohm. Con lo cual termina el ajuste, se levanta la conexión a masa del terminal 2 y se conecta la tira de terminales 1-2-3 al encendido del automotor en la forma que ya vimos en la figura 303. La ubicación de la unidad debe preferirse en

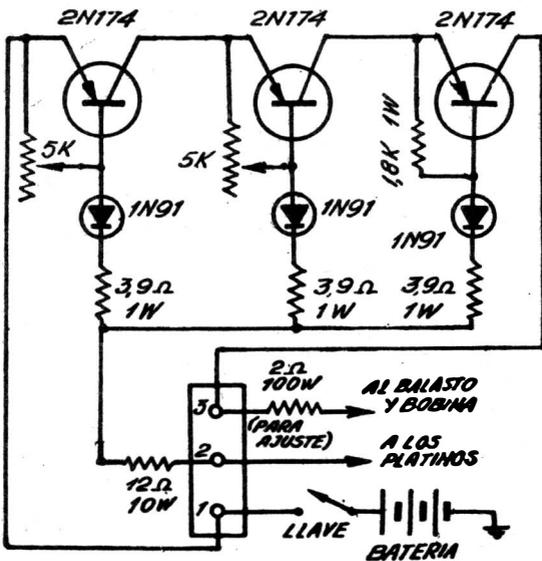


Fig. 307. - Un sistema de encendido a transistores sin diodos Zener.

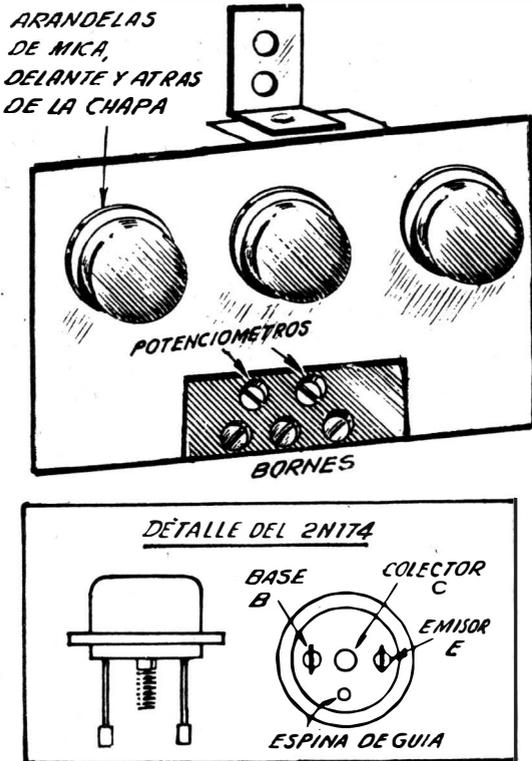


Fig. 308. -- Aspecto del montaje de los transistores en su chapa disipadora, que sirve de chasis a la unidad

un lugar ventilado y fresco, como por ejemplo debajo del tablero.

BOCINA ELECTRONICA

Otro dispositivo electrónico que se está usando últimamente en los automotores es la bocina electrónica, que emite sonidos musicales de tonos fijos o variados, según los gustos del usuario; evidentemente resultan menos molestas que las estridentes bocinas convencionales, pero su uso cae dentro de las reglamentaciones municipales sobre bocinas, que el lector conocerá.

Básicamente, la bocina electrónica es un oscilador de audio o generador de tonos audibles, tal como se ve en la figura 309 que muestra un modelo simple de un solo tono fijo. El transformador del parlante de la derecha sirve a la vez como bobina osciladora, para cuya finalidad debe tener una derivación central en su bobinado primario, cosa que es común en los modelos de plaza. El tono de audio está dado por la combinación de ese bobinado y el capacitor C_1 , en este caso de 500 mfd. El resistor R_1 está para limitar la corriente del

emisor a valores tolerables para el transistor. El potencial de base se fija mediante la combinación de R_2 y R_3 , pero a la vez el segundo de ellos permite regular el tono de audio mediante alteración de su valor. En el esquema vemos, a la izquierda, un segundo parlante que se conecta sin transformador; se trata de un tweeter, o sea un parlante de pequeño diámetro, especial para la reproducción de tonos agudos y se conecta insertando en serie con éste el capacitor C_2 . Hay que aclarar que la bocina funciona suprimiendo este parlante, pero la tonalidad obtenida con su inclusión es mucho más agradable. Estos tweeters son comunes en plaza y precisamente suelen tener la impedancia de 8 Ohm que se pide en el circuito; son de 7,5 a 10 cm de diámetro. Los dos parlantes se instalan en una pequeña caja colocada con las aberturas circulares hacia adelante, preferiblemente delante del radiador. Oprimiendo el pulsador S la bocina sonará con mucha potencia y agradable tono.

Veamos ahora un circuito algo más elaborado de una bocina de seis tonos cuyo esquema se da en la figura 310. Hay tres botones de las tres llaves que gobiernan la unidad, la S_1 que es un simple pulsador de simple contacto, y las S_2 y S_3 que son contactores de doble lengüeta. La combinación de sonidos que se obtiene es la siguiente:

Oprimiendo S_3 se obtiene un tono bajo o grave; oprimiendo S_2 se logra un tono medio y si se apretan los dos botones a la vez resulta un tono agudo por ponerse en paralelo los resistores R_4 y R_5 . Es importante asegurarse que las lengüetas conecten esos resistores antes que a la batería; eso se logra torciendo con la pinza las

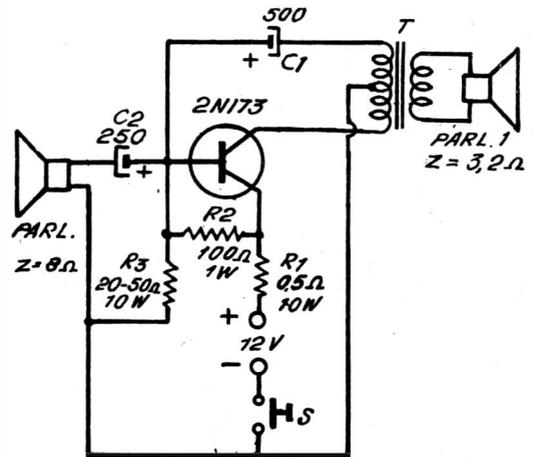


Fig. 309. — Circuito simple de una bocina electrónica de un solo tono.

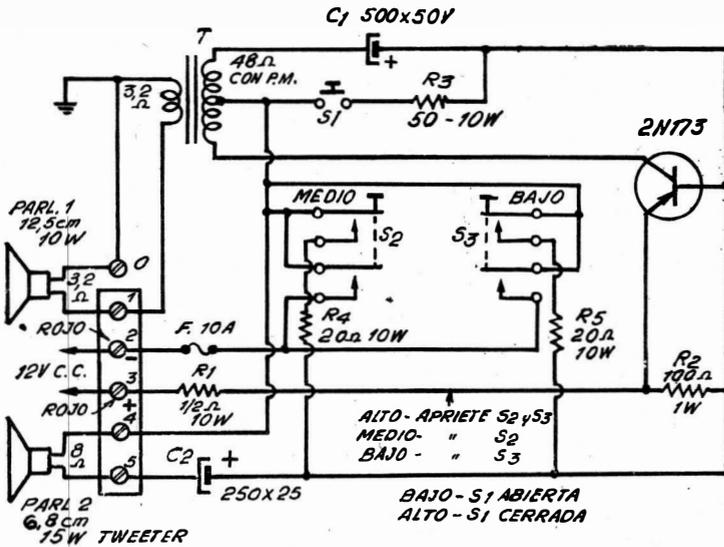


FIG. 310. — Circuito de una bocina electrónica de seis tonos.

lenguetas. Ahora, si el botón S_1 está oprimido, se consiguen tres notas con los otros dos botones, pero soltando el botón S_1 se conecta el resistor R_3 y mediante los otros dos botones se producen también tres diferentes tonos, pero distintos a los anteriores, con lo que, en total, tenemos los seis tonos que se mencionaron al principio.

La lectura de las explicaciones precedentes puede aparecer como compleja y dejar la impre-

sión de que el usuario de la bocina debe conocer música para manejar los tres botones como el teclado de un piano o algo así, pero en la realidad se trata de tres botones que están adosados y que se manejan con mucha facilidad; además, el usuario prefiere una determinada tonalidad y se acostumbra a oprimir los botones en forma de obtener la tonalidad deseada.

En el esquema están especificados los valores de los componentes y las polaridades de los capacitores, cosa importante para respetar. Todos los elementos son de fácil obtención en plaza y ni siquiera el transistor es crítico, ya que cualquiera que conduzca una corriente del orden de 15 Amper puede servir. Se recomienda no colocar parlantes demasiado grandes, pues se obstruiría el aire para el radiador; los modelos recomendados son aceptables en ese sentido. La figura 311 muestra la chapa disipadora del transistor de potencia, que se hace con chapa de aluminio de 2 mm de espesor y se pinta de negro; esa chapa, una vez perforada en la forma que se indica, sirve de chasis para toda la unidad, excepto los parlantes que se colocan aparte.

ALARMA TRANSISTORIZADA

A fin de ilustrar sobre las infinitas posibilidades de aplicar la electrónica a dispositivos usables en el automotor, daremos un ejemplo que sale de lo común, ya que se trata de una alarma que avisa al automovilista cuando lo vence el sueño mientras conduce. La idea original pertenece a Dave Gordon y su construcción es tan simple que seguramente a breve plazo este apa-

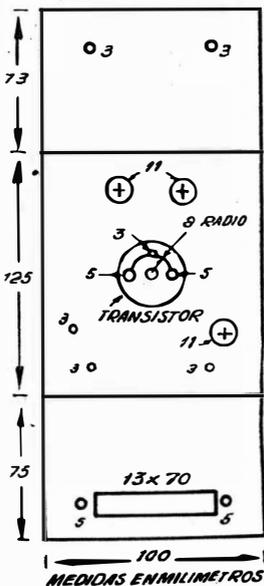


FIG. 311. — Preparación del chasis de la unidad que sirve de chapa disipadora. Para las conexiones del transistor 2N173 ver la figura 308, pues son iguales a las del 2N174.

ratito se encontrará en las estanterías de accesorios normales para automotores.

El elemento básico del dispositivo es una botellita de mercurio de las que se encuentran dentro de los interruptores silenciosos para iluminación, es decir una cápsula de vidrio con un poco de mercurio en su interior y dos contactos; si la botellita se inclina, el mercurio se corre y cierra los contactos. Entonces, si adosamos la botellita a un audífono magnético de esos que se usan para radios a transistores, y conectamos en serie con el audífono los contactos de la botellita, y el conjunto lo aplicamos a un generador de tono de audio, cuando la cabeza del automovilista se inclina bastante, el sonido del audífono lo advertirá.

En la figura 312 se ve el circuito del conjunto, que no puede ser más sencillo. A la izquierda aparecen el audífono y la botellita, con su plug de conexión, y a la derecha, el circuito del oscilador de audio con un solo transistor, un transformador y una pila de 1,5 Volt. El transistor no es crítico, pudiendo usarse el popular 2N107 o cualquiera de sus similares, como el OC45, el CK722, etc.

El transformador es del tipo de entrada a etapa final de amplificadores a transistores, y tiene 10 Kiloohm de impedancia primaria y 2 Kiloohm de secundaria, no usándose la derivación de este último bobinado.

Obsérvese en la figura 313 el montaje de todos los elementos dentro de una cajita plástica de

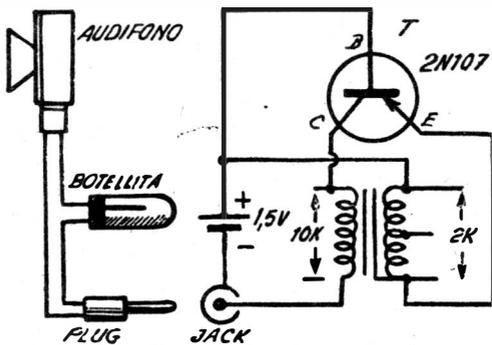


FIG. 312. — Circuito de la unidad de alarma.

las que contienen comúnmente productos medicinales. La arandela de goma del tipo pasachasis se pega al costado y sirve de soporte para el transistor. En la figura no aparece, pero puede colocarse al lado del jack para conexión del audífono un interruptor a palanca para cor-

tar la alimentación de la pila cuando el aparato no se usa.

Para el uso, la botellita estará adherida al audífono mediante tira adhesiva; se coloca en el oído y se enchufa el plug en el jack de conexión. Se escuchará seguramente el tono en el

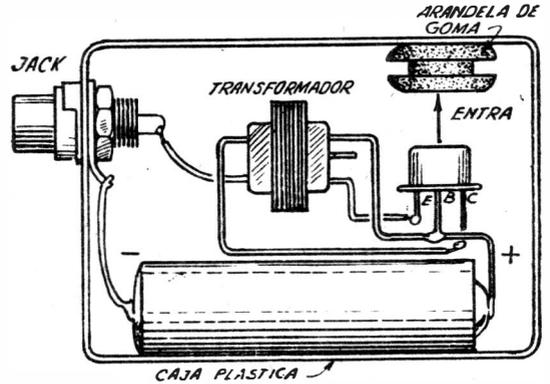


FIG. 313. — Montaje de la unidad de alarma en una cajita plástica.

audífono, pero girando el audífono en el oído se verá que el tono se corta; graduando la posición se logrará que el tono se oiga solamente cuando se inclina la cabeza.

TACOMETRO ELECTRONICO

El tacómetro es un aparato que indica el número de revoluciones por minuto que desarrolla un motor; su uso se está generalizando de tal manera que no está lejano el día en que este dispositivo venga como equipo normal de fábrica, incorporado al tablero del automotor. Pero mientras eso no ocurra, los usuarios lo agregan a voluntad. Hay muchos tipos de tacómetros, pero en este libro nos ocuparemos únicamente de los electrónicos, ya que los otros carecen de interés para nuestro tema.

En esencia, un tacómetro electrónico toma tensión del sistema de encendido, ya que la cantidad de vueltas del motor coincide con las que da el eje del distribuidor y basta contar estas últimas para obtener la cifra buscada. De entre los muchos circuitos que hemos visto, hemos adoptado uno debido originalmente a Stephen Gross por su sencillez.

La figura 314 nos muestra el circuito propuesto, que contiene tres transistores, cuatro diodos, un termistor y un microamperímetro, aparte de los demás elementos menores comunes. Los transistores son tipo N-P-N para sistemas de negativo a chasis y pueden usarse cuales-

quiera que tengan un coeficiente beta mínimo de 20 y que admitan 15 Volt como tensión colector-emisor. Los tipos 2N339, 2N696, 2N1302, OC26, etc., servirán perfectamente; para sistemas de batería con positivo a masa se usarán los tipos equivalentes P-N-P. Los diodos son de dos clases distintas: D_1 y D_4 son simples diodos de germanio de 50 Volt, como el 1N91 o similares. D_2 y D_3 son diodos Zener de 5 V. 400 mW como el 1N750 o similares. El termistor es de 3.000 Ohm a 25° C con coeficiente de temperatura 0,4. El capacitor C tiene un valor

graduarse con el potenciómetro que se halla en el circuito de base de este último transistor. Veamos ahora la actuación del conjunto ante la aplicación del pulso a la entrada:

Sin el pulso, la base de Q_1 está a potencial de masa y la impedancia emisor-colector es alta, por lo que fluirá corriente a través del diodo D_4 . El resistor de colector de Q_1 está dimensionado de manera que Q_2 queda saturado. Ante la presencia de un pulso a la entrada, con tensión de unos 4 Volt aproximadamente, hará fluir corriente de base y baja la impedancia

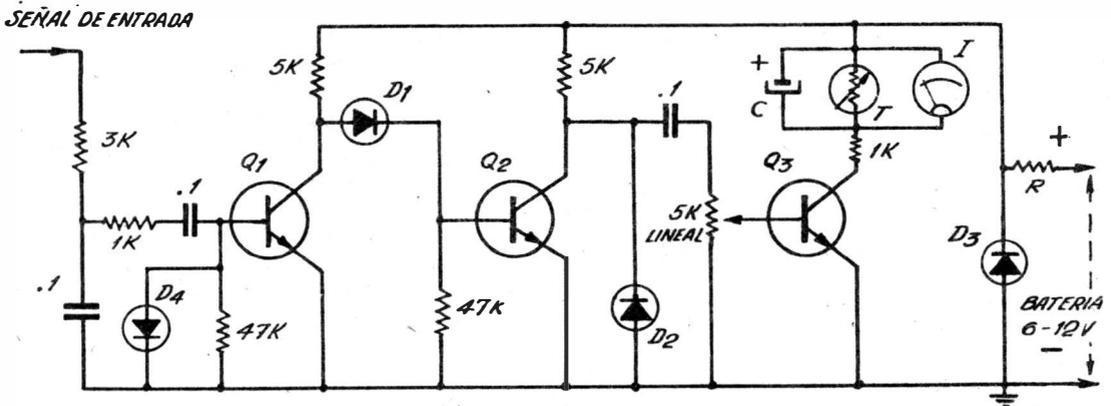


FIG. 314. — Circuito del tacómetro electrónico para automotores. El instrumento I es de 500 microamper. El resistor R es de 120 Ohm para baterías de 6 Volt y de 700 Ohm para las de 12 Volt.

comprendido entre 20 y 200 mfd a 15 V. y su valor se ensayará para que integre los impulsos de ignición en baja velocidad acusando lecturas coherentes en el instrumento. Ya tenemos las explicaciones claves para el esquema dado, de manera que pasamos a describir el funcionamiento.

Los pulsos de la tensión de ignición contienen muchas perturbaciones, como ruidos y zumbidos, por la actuación inductiva de la bobina de encendido. Esas perturbaciones se traducen en cambios de amplitud y frecuencia en la señal que se toma de la parte de baja tensión en el circuito de encendido para aplicarla al tacómetro. Se impone la colocación de un filtro a la entrada, el que está formado por tres resistores y dos capacitores que aparecen en la entrada del primer transistor Q_1 . La señal así filtrada pasa al amplificador y conformador de onda, que incluye a Q_1 y Q_2 , donde se genera una señal que es independiente de la amplitud y ancho del pulso de entrada. La salida del conformador de onda se aplica al amplificador de potencia Q_3 , en cuyo circuito de colector se halla el instrumento indicador I, cuya lectura puede

emisor-colector; el diodo D_1 aumenta su impedancia y se reduce la corriente de base de Q_2 tal como si se hiciera presente un pulso negativo. Lo que se ha ganado es que los pulsos en Q_2 son independiente del ancho y amplitud de los de la entrada ya que esas características están reguladas por las constantes del circuito y por la acción del diodo Zener D_2 . Los pulsos aplicados a la base de Q_3 son integrados por el instrumento I y proporcionan una lectura en su escala que es proporcional a la cantidad de pulsos por minuto y no a las características individuales de esos pulsos. Los efectos que pueda producir cualquier cambio de temperatura se corrigen automáticamente con el termistor T insertado en el circuito de medición. Finalmente, el diodo Zener D_3 juntamente con el resistor R forman un circuito regulador de tensión, para conjurar cualquier cambio en la tensión de la batería que pudiera afectar a las lecturas por variación de la corriente de colector de Q_3 .

La unidad puede calibrarse con cualquier generador de ondas senoidales o cuadradas de audio, debiendo tenerse en cuenta el número de cilin-

ros del motor y si es de 2 ó de 4 tiempos. Como los osciladores de audio vienen calibrados en frecuencia, o sea en ciclos por segundo, esa frecuencia puede determinarse para cada punto de calibración de la escala del tacómetro, de la siguiente manera: se multiplica el N° de

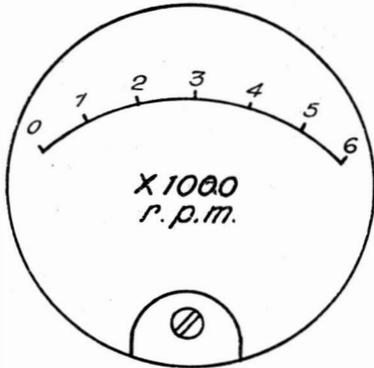


FIG. 315. — La escala de r.p.m. se dibuja formando seis partes iguales entre extremos del movimiento de la aguja.

r.p.m. deseado por el doble del número de cilindros del motor y se divide por 120 para motores de 2 tiempos y por 240 para los de 4 tiempos. Determinada la frecuencia del oscilador, se aplica su señal a la entrada del aparato y se ajusta el potenciómetro de 5 Kiloohm hasta que la lectura en la escala sea la cifra de r.p.m. que se usó. Generalmente, basta calibrar la cifra máxima y luego se divide la escala en partes iguales, tal como lo muestra la figura 315. En este caso, para un tacómetro de 6.000 r.p.m.

consumo es de 100 mA, que sobre una batería de 6 V representa únicamente 0,6 Watt, cifra despreciable.

CAMBIO AUTOMATICO DE LUCES

La mayoría de los automotores tiene un conmutador manual o un relevador o relay para cambiar los faros altos por los bajos cuando se aproxima otro vehículo de frente; pero muchas veces el conductor, por distracción, omite hacer el cambio y provoca trastornos por encandilamiento al otro que se acerca, por lo que un dispositivo automático puede evitar esos inconvenientes. El dispositivo mencionado se instala sin perjuicio de dejar el comando manual, que es insustituible para maniobrar a voluntad con los faros (ver figura 316).

El dispositivo se basa en un fotodiodo tipo OAP12 que está ubicado en la parte frontal de una cajita que contiene todos los elementos y que se coloca detrás de la parrilla del coche. La variación de la corriente de este fotodiodo provoca una diferencia de tensión de base del transistor 2N706, que se toma del divisor formado por dos resistores fijos y un potenciómetro lineal conectado entre ellos. La variación de la tensión de base es amplificada por el transistor y aparece en el circuito de colector de un segundo transistor igual al anterior y se aplica finalmente a un tercer transistor, esta vez uno del tipo AC128, cuya variación de corriente hace actuar a un relay que es el encargado de hacer la conmutación de los faros, no en forma directa sino que sus contactos cierran el circuito

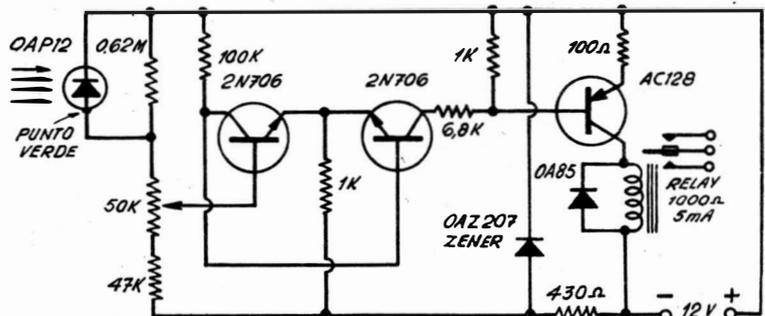


FIG. 316. — Circuito de un comando automático para faros de automotor.

y suponiendo que se usará para motores de 4 cilindros y 4 tiempos, el oscilador se pondrá en 200 ciclos por segundo, según resulta de los cálculos antes explicados.

Cabe destacar que el tacómetro descrito tiene una precisión del orden del 5 % y que su

de faros bajos, cuando está desexcitado y de faros altos, cuando está excitado, ambos del electroimán inversor de faros que tiene, generalmente, el automotor.

El ajuste del circuito se hace mediante el potenciómetro de 50 Kiloohm, colocándolo en su

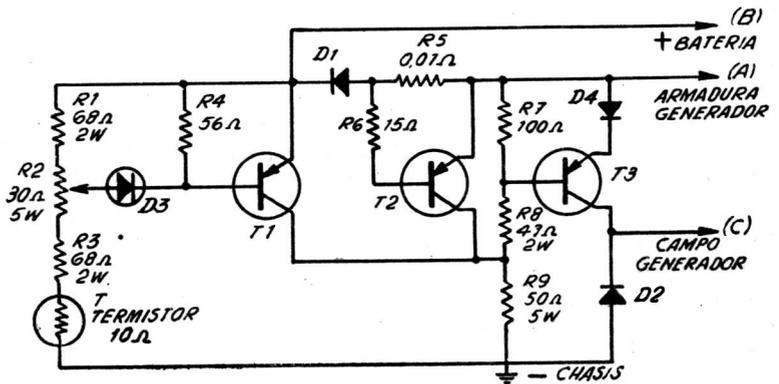
lugar y enfrentándole una linterna; se actúa sobre ese potenciómetro hasta que se logra cerrar el relay cuando se enciende la linterna. Para evitar desajustes del circuito por variaciones de la tensión de la batería hay un diodo Zener OAZ207 que funciona como estabilizador de tensión (ver Capítulo 11). Y como elemento de protección para evitar que sobretensiones de naturaleza transitoria pueden afectar el transistor AC128, se ha colocado un diodo OA85 cuya misión es similar a la que explicamos en los circuitos de encendido a transistores, en este mismo Capítulo.

El circuito se ha diseñado para baterías de 12 Volt, atendiendo a la tendencia moderna de los fabricantes de automotores, pero con ligeros cambios en los valores de los elementos podría ser adaptado para alimentación de 6 Volt.

batería sobre el generador. Lo mismo ocurre cuando el automotor está detenido. El electroimán regulador de corriente se encarga de interrumpir la carga si ésta excede una cifra predeterminedada, por ejemplo 30 Amper; al provocar esa apertura queda insertada en el circuito de campo una resistencia que reduce la tensión generada y con ella, la carga. El regulador en conjunto se encarga de mantener la tensión dentro de los límites convenientes para la carga y al funcionar, lo hace con un ritmo cambiable, de acuerdo con las condiciones de marcha o de carga.

No hace falta abundar en argumentos para demostrar que el funcionamiento del regulador electromecánico de tensión se vuelve defectuoso con facilidad y por ello tal dispositivo está llamado a desaparecer, pues seguramente será re-

FIG. 317. — Circuito de un regulador de tensión para generador de automóvil. D₁: silicón 50 V.P.I., 40 A.; D₂ = D₄: silicón 50 V.P.I., 5 A; D₃: diodo Zener 6,8 V., 400 mW; T₁ = T₂: 0C26 (2N176); T₃: ADZ11 (2N441).



REGULADOR ELECTRONICO DE TENSION PARA LA BATERIA

Uno de los dispositivos del circuito eléctrico del automotor que trae consigo mayores problemas es el regulador de tensión (vulgarmente: regulador de *voltaje*) para la batería, sobre la que regula la carga. Está formado por tres electroimanes contactores, expuestos a falsos contactos por la acción de la suciedad y por desgaste de las piezas de conexión mecánica. Esos tres electroimanes son: uno que cierra el circuito de carga de la batería, y lo abre; otro para la regulación de corriente y el tercero para regulación de la tensión.

El electroimán interruptor actúa como una llave automática insertada entre el generador y la batería, que se encarga de mantener el circuito abierto si el generador gira muy despacio, en cuyo caso la tensión es muy baja y no puede producirse la carga, más bien se descargaría la

emplazado por un conjunto electrónico de accionamiento similar y sin piezas percederas.

Veamos entonces el circuito de un regulador de tensión completamente electrónico, que se muestra en la figura 317. Consta de tres transistores, cuatro diodos, un termistor y algunos elementos comunes. El diodo D₁ es la llave interruptora automática entre generador y batería, debido a que como está polarizado en forma inversa, si la tensión producida por el generador es baja o nula, no permite el paso de corriente hacia la batería. En cuanto la tensión del generador aumenta, vence al diodo D₁ y se carga la batería. El bobinado de campo del generador se conecta a la salida del transistor T₃, cuya base está polarizada por medio de un divisor de tensión de tres resistores: R₇, R₈ y R₉. El diodo D₄ provee polarización inversa al emisor de ese mismo transistor, lo que le permite operar a temperaturas más elevadas que las habituales. A su vez, el diodo D₂ previene contra picos de

tensión excesivos producidos por el bobinado de campo por efecto de la autoinducción.

Pasemos ahora al transistor T_2 . El mismo actúa como regulador de corriente, pues si la carga pasa el valor prefijado, por ejemplo 30 Amper, la caída que se produce a través del resistor R_5 hace fluir corriente de base; en tal situación T_2 conduce, aumenta la caída de tensión en R_8 y disminuye la corriente de colector de T_3 . Finalmente, se produce una disminución de la corriente de campo en el generador y baja la tensión producida, y con ello la corriente de carga. El potenciómetro R_2 permite fijar el punto de carga máxima adecuado al tipo de generador y batería.

Cuando la tensión del generador aumenta por marchar el automotor a gran velocidad, el termistor disminuye su resistencia y se produce un aumento de la corriente y por ende, de la caída de tensión en R_2 ; luego el diodo D_3 se encarga de aumentar el potencial de base de T_1 , el cual comienza a conducir, aumenta la caída a través de R_8 y se reduce el potencial de base de T_3 . Vuelve a reducirse la corriente de campo del generador y con ello la tensión de carga de la batería no se hace excesiva.

Una vez comprendido el funcionamiento del regulador de la figura 317, veamos cómo se conecta a la instalación eléctrica del automotor, tal como lo muestra la figura 318; tan solo tres conexiones lo unen al resto del equipo. Constructivamente, hay algunas consideraciones que no se hacen en la figura 317, y se refieren a los disipadores de calor para los transistores de potencia; ellos requieren un montaje aislado de chasis, y sobre chapas disipadoras de no menos de 150 centímetros cuadrados de aluminio de un mm. de espesor. El resistor R_5 se hace con

ajusta fácilmente, pues con batería cargada completamente el voltímetro debe marcar unos 14,4 Volt; ajustando R_2 se logra esa cifra y después se deja todo como está; hay que olvidarse que el automotor tiene un regulador de tensión, pues no dará ningún trabajo.

CARGADOR DE BATERIAS

Para cargar una batería de acumuladores se requiere aplicarle una tensión continua algo mayor que la nominal de la batería y controlar

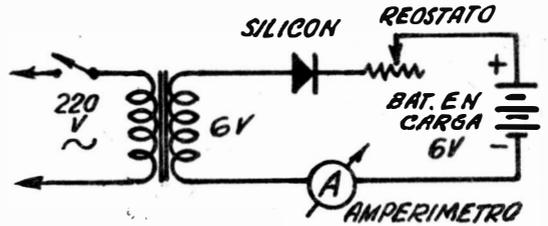


FIG. 319. — Circuito básico de un cargador de baterías.

la intensidad de la corriente de carga. Como la red de canalización es generalmente de alterna, se intercala un transformador para rebajar la tensión de línea hasta el valor necesario. El circuito de la figura 319 es el básico, y vemos que hay un amperímetro que indica el valor de la corriente de carga, el cual puede regularse al valor recomendado por medio del reóstato. La tensión alterna se rectifica mediante un silicón. La corriente de carga es normalmente la décima parte de la cifra de capacidad del acumulador.

Pero los cargadores tan simples como el mostrado tienen el inconveniente de que hay que actuar sobre el reóstato durante el proceso de carga, pues se producen variaciones en la intensidad de la corriente. Por tal razón se han impuesto los cargadores automáticos, que llevan consigo los elementos capaces de mantener la corriente dentro de los límites recomendados.

Describiremos ahora el circuito de un cargador casero para baterías de acumuladores de 6 y de 12 Volt. Se trata de un conjunto sumamente simple y que tiene la ventaja de que suspende la operación cuando el acumulador está cargado.

La figura 320 muestra el circuito del cargador; los valores indicados en los elementos son válidos para cargar baterías de 12 Volt. Si se quiere armar el cargador para baterías de 6 Volt haremos los siguientes cambios: el transformador T debe dar 11 Volt en el secundario; la lamparita indicadora L debe ser para 6 V 0,15 A; y el resistor R_1 deberá tener un valor de 2 Ohm.

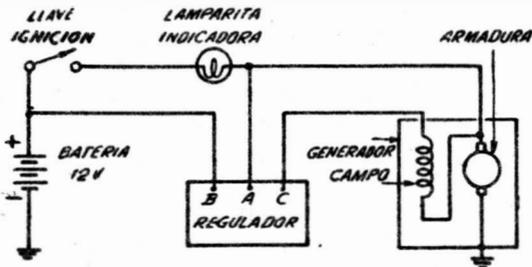


FIG. 318. — Forma de conectar el regulador a los elementos del automotor.

alambre aislado de 1,6 mm. de diámetro, sobre un carretel de 35 mm. de diámetro, arrollando 1.20 metros de él. Una vez construido, se lo

El funcionamiento del circuito es el siguiente: cuando se cierra la llave general de entrada se aplica tensión al rectificador puente y con ello se carga el electrolítico C_1 a través de los resistores que quedan en serie con el mismo, o sea R_1 y R_2 , la lámpara L y la batería en carga. Una vez que C_1 alcanza su nivel de carga la tensión del electrodo de control del rectificador controlado 2N3228 adquiere el valor de disparo a través del diodo 1N3754; con ello comienza la carga de la batería, limitada a una intensidad de 2 Amper gracias al resistor R_1 ; esta cifra se

mediante el potenciómetro R_6 hasta conseguir el estado de saturación. En estas condiciones queda derivado sobre C_1 un circuito de alta conducción, o sea de baja impedancia, que produce la descarga de dicho capacitor; inmediatamente la reducción de la tensión en C_1 rebaja la polarización del electrodo de disparo del 2N3228 con lo que cesa la conducción del mismo. La corriente circulante fluye ahora a través de la lámpara L , la que alcanza una fuerte luminosidad y avisa que la batería está cargada. Es de hacer notar que mientras no se

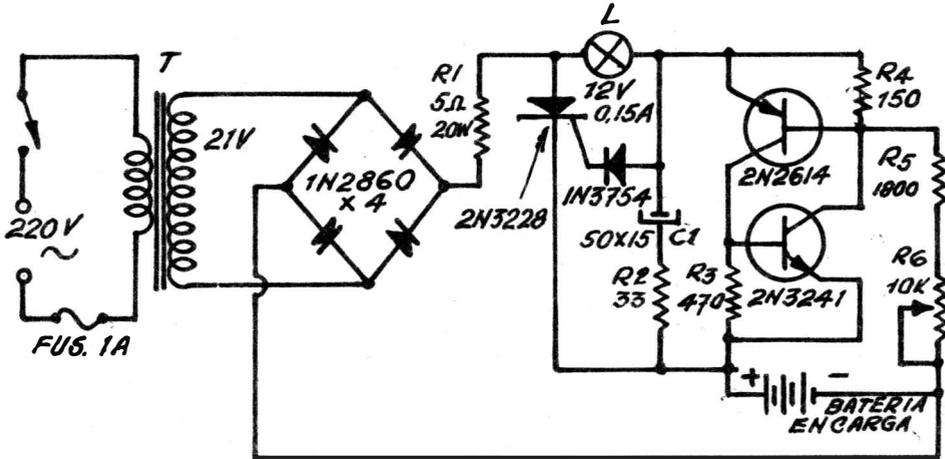


FIG. 320. — Circuito de un cargador automático para baterías de acumuladores. Los valores son para 12 V pero en el texto se indican los cambios a realizar para 6 V.

ha fijado de acuerdo con la capacidad de corriente del puente rectificador y el silicón controlado 2N3228.

Cuando la batería alcanza el nivel de carga completa entra en funciones el conjunto de 2 transistores que aparece a la derecha del esquema y que no es otra cosa que un conmutador regenerativo. Está formado por 2 transistores complementarios 2N2614 y 2N3241; la tensión de base del primero se puede ajustar

abriendo la llave general la carga continúa, pero con un valor muy pequeño, alrededor de 0,15 A. El punto de saturación del conjunto conmutador se regula cómodamente mediante R_6 de manera que el fin de la operación se produzca al alcanzar la batería la máxima carga, hecho que se pone de manifiesto por elevarse sensiblemente la tensión entre sus bornes; ese pico de tensión es el que provoca el proceso de saturación del par de transistores complementarios que constituyen el conmutador automático.

NOTA:

Por razones de diagramación, en el texto no se mencionan las figuras 226 a 235 ni las 249 a 255, todas las cuales no son necesarias en el texto actual. La falta de las numeraciones citadas no entorpece en absoluto la lectura del libro.

INDICE GENERAL

Día 1. – <u>FUNDAMENTOS DE LA ELECTRONICA</u> . Qué es el electrón. Qué es la tensión eléctrica. Por qué circula la corriente. Por qué existe la resistencia. Por qué produce calor la corriente.	3
Día 2. – <u>LA CORRIENTE ALTERNADA</u> . Qué es la corriente alternada. Qué es la frecuencia. Los fenómenos electromagnéticos. Qué es una bobina. Por qué se usan bobinas. Qué es un capacitor. Por qué se usan capacitores. Qué es un filtro.	11
Día 3. – <u>LAS VALVULAS ELECTRONICAS</u> . La emisión electrónica. Componentes de una válvula. Qué es un diodo, un triodo y un pentodo. Qué es una válvula múltiple. La válvula amplificando	21
Día 4. – <u>LOS SEMICONDUCTORES</u> . El germanio cristalino. Corrientes directa e inversa. Germanio tipos N y P. La juntura P-N. Efecto de rectificación – Diodo. Transistores. Tipos N - P - N y P - N - P. Frecuencia límite y temperatura de trabajo. Amplificación con base, con emisor y con colector a masa..	33
Día 5. – <u>CORRIENTES DE ALTA FRECUENCIA</u> . Qué es una onda. La oscilación eléctrica. Osciladores a transistores de B.F. Circuitos osciladores de R.F. Multivibradores a transistores	47
Día 6. – <u>TRANSFORMADORES</u> . El transformador práctico. Pérdidas en el núcleo. Formas de núcleo. Capacidad del transformador. Autotransformadores. CALCULO DE TRANSFORMADORES.....	55
Día 7. – <u>ELECTROIMANES Y RELEVADORES</u> . Campanilla eléctrica. Electroimanes de corriente alternada. Zumbadores o chicharras. Electroimanes industriales. Electroimanes de protección de tensión mínima y de corriente máxima. Relevadores.	63
Día 8. – <u>RECTIFICADORES</u> . Rectificadores a válvula. Rectificadores a óxidos metálicos. Los silicenes. Tipos de diodos. Circuitos prácticos. Diodos de germanio.	72
Día 9. – <u>SEMICONDUCTORES Y VALVULAS ESPECIALES</u> . Diodos gaseosos de cátodo frío. Válvulas thyratrón. El diodo Zener. El diodo túnel. Los triodos. Extinción o apagado. Rectificación controlada. El transistor monojuntura	81
Día 10. – <u>ELEMENTOS SENSIBLES A LA LUZ, CALOR O VARIACIONES DE CORRIENTE</u> . FOTOELECTRICIDAD. La célula fotoeléctrica. Células fotoconductoras LDR. Los foto-diodos. El foto-transistor. ELEMENTOS SENSIBLES AL CALOR. Termistores. ELEMENTOS SENSIBLES A LA TENSION. Varistores o resistores VDR. El diodo varicap	96
Día 11. – <u>ESTABILIZACION Y CONVERSION DE TENSIONES</u> . Estabilización de tensión con varistores. Elevadores de tensión. Estabilizadores automáticos. Fuente estabilizada para amplificadores. Dobladores, triplicadores y cuadruplicadores de tensión. Convertidor de continua a continua. Conversión de continua en alterna.....	109
Día 12. – <u>CALOR ELECTRONICO, CALOR INDUCTIVO</u> . Calentamiento superficial. Soldadura por inducción. El generador de R.F. CALOR DIELECTRICO.	117
Día 13. – <u>CONTROL ELECTRONICO</u> . Interruptores instantáneos. Control manual del interruptor. Cronometradores o timers. Disyuntores de corriente máxima. Relevadores de R.F. Destelladores electrónicos. Reguladores de velocidad para motores.....	124
Día 14. – <u>LA ELECTRONICA EN LOS EDIFICIOS. SISTEMAS DE ALARMA</u> . Valla electrificada. Sistemas de llamadas a fotocélula. CONTROL DE ILUMINACION. Llave de luz a fotocélula. Regulador de intensidad luminosa. PORTERO ELECTRICO. Portero electrónico.	132
Día 15 – <u>LA ELECTRONICA EN EL AUTOMOTOR. ENCENDIDO A TRANSISTORES. BOCINA ELECTRONICA. ALARMA TRANSISTORIZADA. TACOMETRO ELECTRONICO. CAMBIO AUTOMATICO DE LUCES. REGULADOR ELECTRONICO DE TENSION PARA LA BATERIA. CARGADOR DE BATERIAS</u>	171

Esta edición se terminó de imprimir
 en los Talleres Gráficos TALGRAF
 Talcahuano 638 - Buenos Aires
 en el mes de enero de 1981.

LA MAS MODERNA COLECCION DE LIBROS TECNICOS SIMPLIFICADOS AL ALCANCE DE TODOS

por CHRISTIAN GELLERT con la dirección técnica
del ING. FRANCISCO L. SINGER

APRENDA ELECTRICIDAD EN 15 DIAS

Conocimientos básicos de la Electricidad para aprender Radio y Televisión.

APRENDA ELECTROTECNICA EN 15 DIAS

Una descripción práctica de aparatos, motores, generadores e instalaciones eléctricas.

APRENDA RADIO EN 15 DIAS

Este libro lo guiará en la teoría y el armado de un receptor modelo.

APRENDA SERVICE DE RADIO EN 15 DIAS

Paso a paso aprenderá a revisar, reparar y calibrar todos los radio-receptores.

APRENDA TELEVISION EN 15 DIAS

Describe un aparato de televisión al mismo tiempo que le enseña a construirlo.

APRENDA SERVICE DE TV EN 15 DIAS

Cuadros prácticos y una guía para todos los que se dedican a reparar televisores.

APRENDA TV-TRANSISTOR EN 15 DIAS

Explica la teoría y la práctica del televisor transistorizado.

APRENDA HI-FI Y ESTEREO EN 15 DIAS

Toda la amplificación del sonido con circuitos, tablas, gabinetes y ambientación.

APRENDA GRABADORES EN 15 DIAS

Teoría, funcionamiento, uso y reparaciones de los grabadores a cinta magnética.

APRENDA FM Y MULTIPLEX EN 15 DIAS

Para escuchar estereofonía por radio con la más alta fidelidad conocida.

APRENDA VALVULAS Y TUBOS EN 15 DIAS

Teoría, funcionamiento y reemplazos de las válvulas y tubos de imagen.

APRENDA TRANSISTORES EN 15 DIAS

Teoría y práctica de los semiconductores con circuitos y datos para el uso.

APRENDA SERVICE-TRANSISTOR EN 15 DIAS

Revisión y reparación de toda clase de equipos transistorizados.

APRENDA MOTORES EN 15 DIAS

Todos los motores a vapor, a explosión y diesel explicados en teoría y práctica.

APRENDA MATEMATICAS EN 15 DIAS

Para manejar números y letras, realizar cálculos y entender fórmulas técnicas.

APRENDA ELECTRONICA EN 15 DIAS

Modernas aplicaciones de esta ciencia en la industria, el automotor y la vivienda.

APRENDA INSTRUMENTAL EN 15 DIAS

Los aparatos más usados en Radio y TV con sus circuitos y explicaciones.

APRENDA TRANSMISION EN 15 DIAS

Para armar, ajustar y usar receptores y transmisores de aficionados.

APRENDA FISICA EN 15 DIAS

Todos los fenómenos que se operan en los cuerpos y leyes que los rigen.

APRENDA TV-COLOR EN 15 DIAS

Teoría, circuitos, armado, calibración y revisión de fallas de televisores de color sistema PAL-N. Adaptación de aparatos de otras normas.