

UNA NUEVA CIENCIA: LA ELECTRONICA

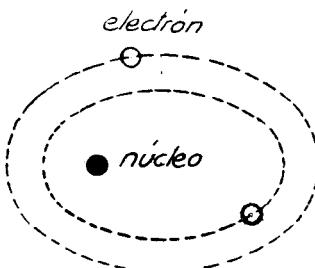
POR ERNESTO CALVO DURAN

DECANO DE LA FACULTAD DE
MATEMATICAS E INGENIERIA

"Los electrónicos están causando gran desasosiego entre los ingenieros electricistas de la escuela "clásica". Será quizás porque los electrónicos, hace tiempo asimilados a la radio, se hayan desarrollado repentinamente en una industria de cuerpo entero, de cuyos principios apenas tienen la más ligera idea, y que, como muchos pretenden, dejará anticuada a su especialidad ingenieril? Ciertamente, los electrónicos constituyen una rama cada vez más importante de la industria eléctrica, que todo ingeniero avisado debe estudiar sin demora, pero en su mayor parte no es tan desconocida como a primera vista pudiera parecer".

(Rev. "El Ingeniero Westinghouse"—Sept. 1944)

El átomo ha dejado en la actualidad de ser aceptado como indivisible, dando paso a la concepción electrónica de la materia. El átomo se asemeja a un sistema planetario miniatura, compuesto por un núcleo central cargado de electricidad positiva a cuyo alrededor giran describiendo órbitas circulares o elípticas, un número determinado de corpúsculos cargados de electricidad negativa y denominados



nados electrones. El equilibrio atómico se gobierna por las leyes de la gravitación, en cambio el equilibrio eléctrico se establece cuando el átomo se halla en estado neutro, es decir, cuando las unidades positivas del núcleo igualan a las negativas de los electrones. El número de electrones, su velocidad, disposición, etc., caracterizan a los cuerpos, así por ejemplo la densidad de un elemento depende de la cantidad de electrones que contiene su átomo; entre los elementos conocidos, el hidrógeno es el más liviano y su átomo posee un solo electrón; le sigue el helio con dos electrones, siendo el elemento más denso el uranio, cuyo átomo contiene 92 electrones. Se ha comprobado que el núcleo central contiene unidades positivas y negativas, predominando las primeras, a las que se designa con el nombre de protones; en cuanto al electrón, es igual para todos los cuerpos y constituye la unidad elemental de electricidad denominada por los científicos *quantum* o *quanta*.

Si uno o más electrones se evaden de su órbita para ingresar en la de un átomo vecino, éste quedará con exceso de cargas negativas y en el otro se manifestará una carga eléctrica positiva igual en valor absoluto a la carga negativa del electrón o electrones desaparecidos. Ambos tenderán a recuperar su estado neutro expulsando electrones si le sobran, o atrayéndolos si le faltan. Al átomo que ha perdido su neutralidad se le denomina ion, y al proceso por el cual la ha perdido, ionización. El átomo que ha cedido electrones a otro se torna electro-positivo y se lo designa con el nombre de catión, en cambio el que ha recibido dichos electrones queda cargado negativamente y se lo denomina anión.

La precedente concepción de la actividad atómica nos permitirá una explicación materializada de la corriente eléctrica, la que consistiría en un desplazamiento de electrones por efecto de la ionización. No todos los núcleos ejercen la misma atracción sobre los electrones circundantes, algunos cuerpos favorecen en mayor proporción el desplazamiento electrónico y son los llamados conductores, especialmente los metales que dado el gran número de electrones que tiene su átomo, pierden fácilmente el control de ellos. Al aumentar la velocidad de rotación del electrón alrededor del núcleo, la fuerza centrífuga que sobre él obra aumenta venciendo a la fuerza centrípeta (representada por la atracción entre cargas eléctricas de signo contrario (núcleo positivo y electrón negativo). Esta velocidad es función de la temperatura, y según Richardson, para los metales, la emisión electrónica por unidad de área viene dada por la expresión

$$i = A T^2 e - \frac{b}{T}$$

en la que:

i = corriente en amperios emitida por 1 cm^2 del cuerpo

T = temperatura del cuerpo en grados Kelvin

e = base de los logaritmos naturales

A y b son coeficientes que dependen de la naturaleza de cada metal. En general b es el más importante para altas temperaturas, por entrar como exponencial. El valor de A es prácticamente el mismo para todos los metales puros.

Valores de A y b para algunos metales y aleaciones:

Sustancia	A	b
Tungsteno	60	$5,24 \times 10^4$
Torio	60	$3,89 \times 10^4$
Aleación de Torio y Tungsteno	3	$3,05 \times 10^4$

LA VALVULA TERMOIONICA

Acabamos de ver que calentando un cuerpo metálico se acelera el movimiento de los electrones, lo que trae como consecuencia que éstos sean lanzados fuera de sus órbitas y aún fuera del cuerpo. Consideremos el filamento de una lámpara eléctrica, que en funcionamiento normal adquiera temperaturas del orden de los 2.000° C. A tan elevada temperatura un gran número de electrones son despedidos del filamento hacia el espacio, dando origen a una nube de electrones (Fig. 1), la cual forma un campo eléctrico

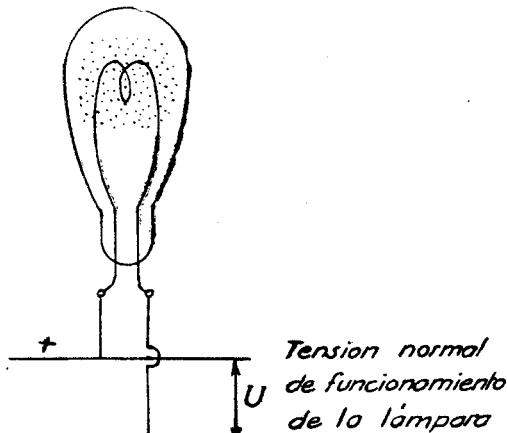


Fig. 1

negativo, en el que se agitan los electrones a una gran velocidad por efecto de sus repulsiones mutuas.

Si introducimos dentro del bulbo de la lámpara una placa metálica P electrizada positivamente con relación al filamento, lo

que puede lograrse fácilmente conectando la placa *P* al polo positivo de una batería *B* y el negativo de ésta al positivo del filamento, los electrones serán atraídos por la placa, creándose así una corriente electrónica entre el filamento y la placa, que no es otra cosa que una corriente eléctrica que circula por el circuito Placa - batería *B* - filamento, como así lo demuestra la desviación del miliamperímetro *MA* intercalado en el circuito. Este fenómeno, base de toda la ciencia electrónica actual, fue observado a fines del siglo pasado por Edison, quien no le dio importancia, limitándose a consignarlo en sus notas, por lo cual hoy se le denomina efecto Edison. La explicación científica del mismo nos lleva

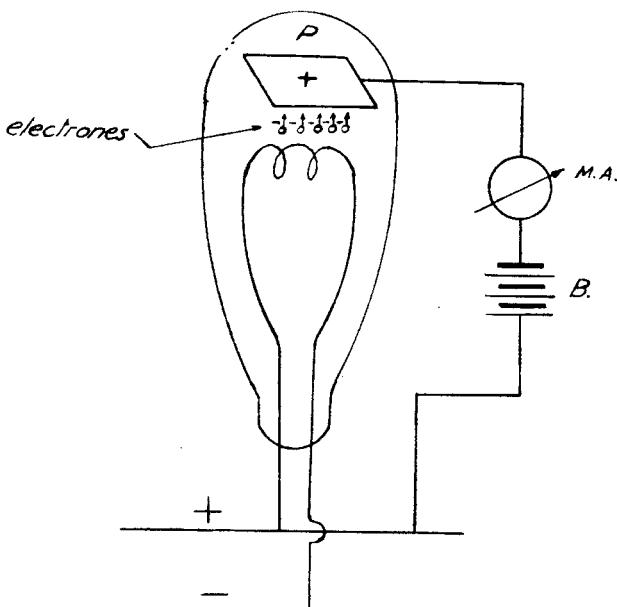
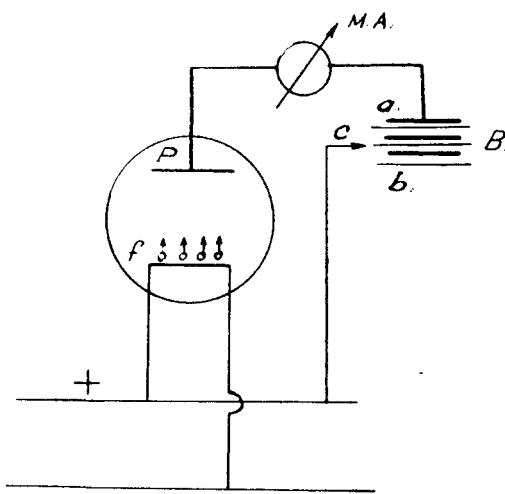


fig. 2.

primeramente a una reforma fundamental de la nomenclatura eléctrica, hasta ese momento aceptada universal aunque arbitrariamente, de que la corriente en los circuitos alimentados por una fuente de C. C., circulaba por el exterior del generador, del polo positivo de éste hacia el negativo. El efecto Edison que acabamos de estudiar, nos demuestra precisamente todo lo contrario. La corriente electrónica o corriente eléctrica circula por el exterior de la batería *B*, de su polo negativo hacia su polo positivo a través del filamento y la placa de la lámpara, la cual se denomina lámpara de dos electrodos o Diodo.

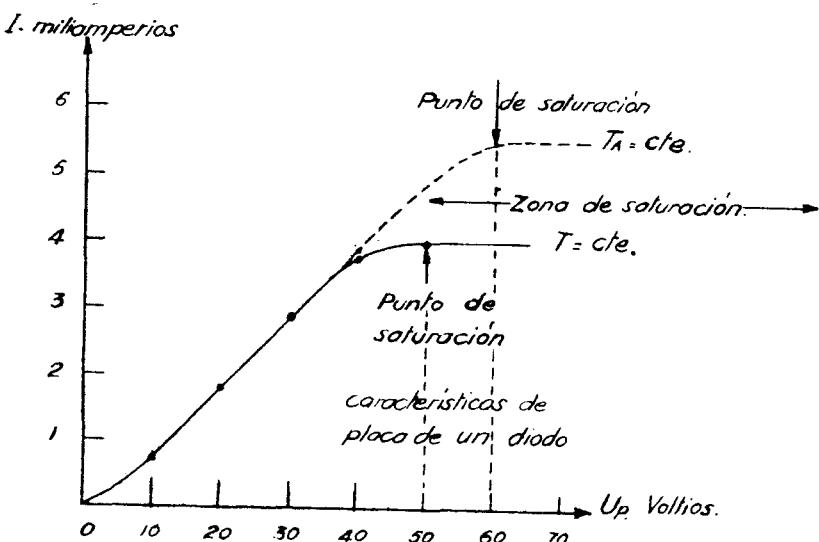
Hacia 1905 Fleming, estudiando el efecto Edison, descubrió que solamente pasaba una corriente a través de la lámpara cuando la placa estaba a un potencial positivo con relación al filamento, utilizando para ello el montaje indicado en el esquema adjunto (Fig. 3). Cuando el cursor o brazo móvil *c* de la llave de contactos se encuentra en la posición *a* (polo positivo de la batería polarizadora *B*), la placa queda al mismo potencial del filamento, de manera que la placa no atrae electrones y por lo tanto no se produce corriente alguna en el circuito. (En realidad siempre existe una pequeña corriente debido a que la placa está al mismo potencial que el borne positivo del filamento, existiendo por lo tanto una diferencia de potencial entre el borne negativo de éste y



- Fig. 3.

aquélla. En todo caso la importancia de dicha pequeña corriente depende del valor de la diferencia de potencial entre los bornes del filamento, la cual siendo suficientemente pequeña hará despreciable el valor de la corriente). A medida que el cursor *c* se desplaza sobre los diferentes contactos hacia el extremo *b* (polo negativo de la batería), la corriente acusada por el miliamperímetro va aumentando con el progresivo aumento de la diferencia de potencial entre el filamento y la placa o como comúnmente se la designa a esta diferencia de potencial, con la tensión placa. Al principio el aumento de la corriente es proporcional al aumento de la tensión placa, pero a partir de un cierto valor de ésta, dicha proporcionalidad deja de existir, de manera que al aumentar la tensión placa el aumento de la corriente es proporcionalmente muy

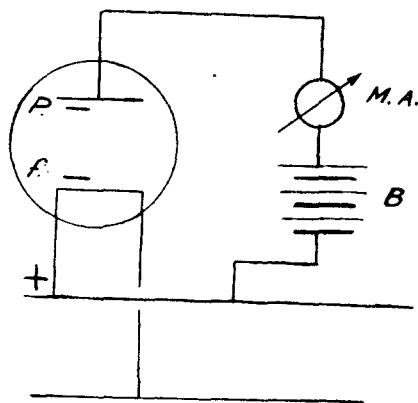
inferior hasta llegar a un límite en que por mucho que se aumente dicha tensión la corriente permanece constante. Entonces se dice que la válvula alcanzó su punto de saturación. Al gráfico representativo de las variaciones de la corriente en función de la tensión placa, a temperatura constante del filamento, se lo denomina *característica de placa del diodo* (Fig. 4). La parte de la característica que sigue al punto de saturación se denomina zona de saturación. El fenómeno de la saturación se explica fácilmente en virtud de la ley de Richardson, expuesta anteriormente: Para un cuerpo metálico dado, la emisión electrónica depende de la temperatura,



-Fig. 4-

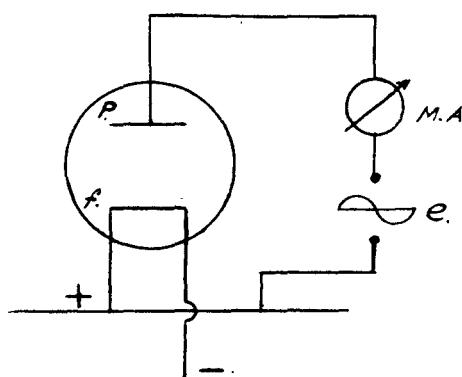
si ésta permanece constante ($T = \text{cte.}$) la rata de electrones liberados lo será también; a medida que la tensión placa aumenta, la fuerza de atracción aumentará hasta llegar a atraer a toda la rata de electrones liberados (punto de saturación). A partir de este momento, la corriente electrónica se mantendrá necesariamente constante hasta que el filamento haya entregado todos sus electrones, diciéndose entonces que se ha ionizado, inutilizándose en consecuencia. Si se aumenta la temperatura del filamento a un valor T_1 ($T_1 > T$), lo cual puede lograrse fácilmente aumentando la tensión de alimentación del filamento, la rata de liberación de los electrones se aumentará también; la característica de placa a esta nueva temperatura se superpondrá en parte a la anterior, pero a partir de un cierto punto seguirá la trayectoria punteada, la cual

nos indica que aumentando la temperatura del filamento, la tensión placa correspondiente al punto de saturación, se aumenta también. Vemos pues que la corriente de placa es función de la temperatura del filamento y de la tensión placa.



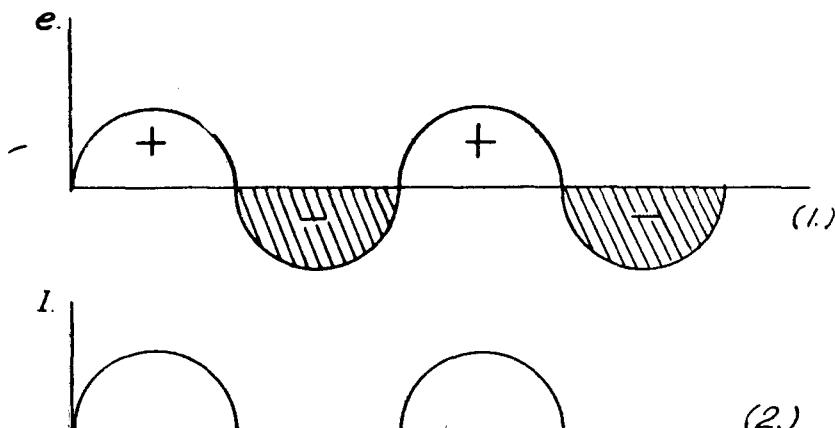
- Fig. 5 -

Si se aplicara a la placa un potencial negativo con respecto al filamento, lógicamente los electrones (cargas negativas) serían repelidos por ella, no produciéndose por lo tanto ninguna corriente eléctrica a través del espacio filamento-placa, lo cual se comprueba por medio del montaje indicado en el esquema adjunto (Fig. 5), pues el miliamperímetro no sufre ninguna desviación, lo



- Fig. 6 -

que indica que no hay circulación de corriente en el circuito-placa. Es decir, "El diodo permite solamente la circulación de la corriente en un solo sentido", o sea que funciona como un rectificador. Si reemplazamos la batería B por una fuente de C. A. (Fig. 6), en cuanto la f.e.m. comience a aumentar de valor a partir de un instante en que se haya anulado pasando de negativa a positiva (Gráfico 1), comenzará a circular una corriente en el circuito placa (Gráfico 2), la cual seguirá el ritmo de la f.e.m. alterna pues depende del potencial de la placa. Cuando la f.e.m. alterna se haga negativa, el potencial de la placa también lo será, anulándose por lo tanto la corriente en la válvula durante el semicírculo negativo de la f.e.m. Es decir, se ha logrado anular los semici-

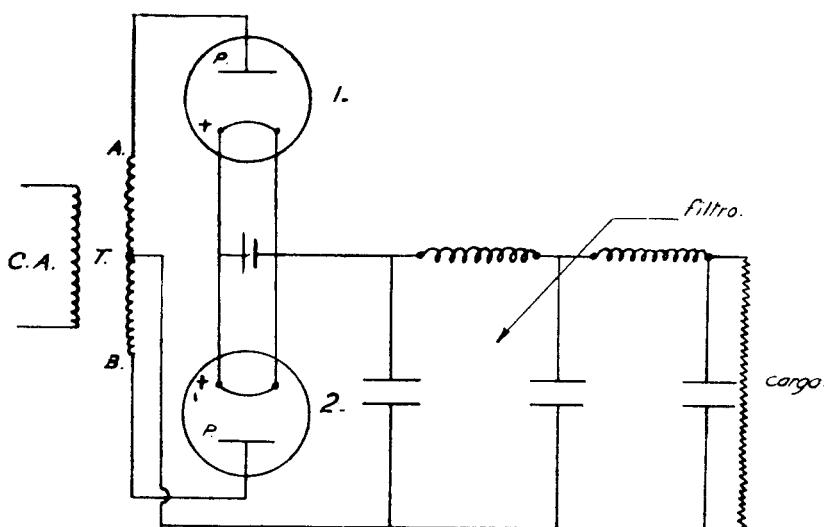


clos negativos de la corriente producidos por una f.e.m. alterna. A dicha corriente así modificada se la denomina corriente rectificada, habiendo el diodo desempeñado el papel de rectificador.

El proceso descrito se denomina rectificación de semi-onda.

RECTIFICACION DE LA ONDA COMPLETA

Puede obtenerse la rectificación de la onda completa mediante el empleo de dos diodos, montados como indica la figura 7. Durante un semicírculo el borne A del secundario del transformador T será positivo, y la corriente circulará por el diodo 1; durante el semicírculo siguiente el borne positivo será el B y la corriente circulará a través del diodo 2. Dicha corriente tiene una forma pulsatoria; para suavizarla de manera que resulte lo más continua posible, se emplea un filtro constituido por un condensador en paralelo en el circuito de utilización y una bobina de Self. en serie en



-Fig. 7-

el mismo, montados como se ve en la figura 7. Por una parte el condensador se carga durante la primera mitad de cada semicírculo, descargándose en el circuito durante la segunda mitad. A su vez la f.e.m. de autoinducción desarrollada en la bobina de Self. se opone a toda variación de la corriente en el circuito, de manera que si se disponen varios filtros en el circuito de utilización se obtiene en definitiva una corriente continua constante en el mismo, y por lo tanto una tensión continua constante en los bornes de la resistencia de carga. En válvulas de poca potencia los dos diodos están encerrados dentro del mismo bulbo. La Compañía R.C.A. Víctor fabrica varios tipos de válvula de este género, una de ellas cuya característica damos a continuación a manera de ilustración, es: la R. C. A.-5 y 3-G.

Tensión alterna eficaz por placa, 400 voltios; corriente continua de salida, 125 miliamperios.

Hacia 1907 el ingeniero Lee de Forest encontró la manera de controlar la emisión electrónica independientemente de la tensión placa, dotando al diodo de un tercer elemento, colocado entre el filamento y la placa, consistente en una malla metálica o reja. La válvula así modificada recibió el nombre de *triodo* (Fig. 8), y esta modificación representó como lo veremos en seguida un adelanto fundamental en el desarrollo de la electrónica.

Veamos cómo cumple su objeto la reja y cómo funciona el triodo, cuyo esquema de montaje está indicado en la figura adjunta.

ta (Fig. 9). Como en el caso del diodo, la batería *A* sirve para calentar el filamento y la *B* para polarizar positivamente la placa. La batería con derivaciones *C* permite variar los potenciales aplicados a la reja, haciendo los positivos o negativos con

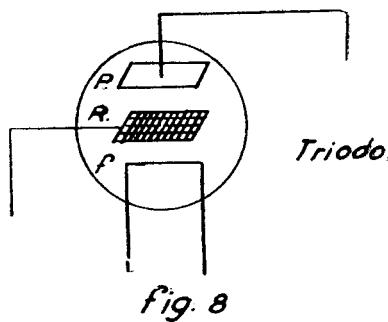
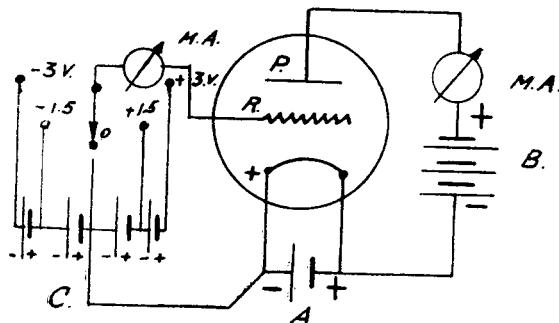


Fig. 8

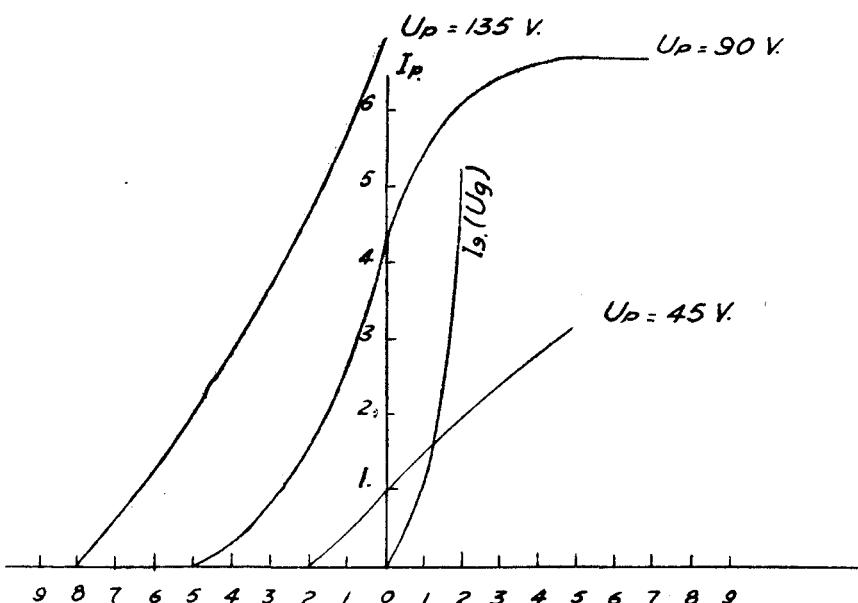
relación al filamento por medio de la llave de contactos *S* (Fig. 9). Cuando la llave se encuentra en la posición *O*, la reja se encuentra al mismo potencial que el borne negativo del filamento, y la corriente de placa tiene el valor que le corresponde según la tensión placa, lo que podemos constatar por medio del miliamperímetro



-Fig. 9-

tro del circuito placa. Al colocar la llave en la posición 1,5 V., el miliamperímetro acusará una disminución de la corriente, la cual disminuirá aún más cuando la llave se conecte al borne -3 V.; mientras más negativo se haga el potencial de la reja, menor será el valor de la corriente de placa hasta llegar ésta a anularse. La explicación de este fenómeno es la siguiente: los electrones que se dirigen hacia la placa tienen que atravesar la reja, si ésta se en-

cuenta al mismo potencial del filamento, no afectará en nada a la corriente electrónica. En caso de que el potencial de la reja sea negativo, al acercarse a ésta los electrones serán rechazados hacia el filamento tanto más enérgicamente cuanto mayor sea el potencial negativo de la reja, logrando pasar hacia la placa un pequeño número de aquellos a través de las aberturas de la malla. Al contrario, si pasamos la llave a la posición + 1,5 V, el miliamperímetro del circuito placa nos indicará un aumento de la corriente con relación al valor de la misma cuando la llave ocupaba la posición 0, aumento que será aún más notable cuando la llave ocupe la posición

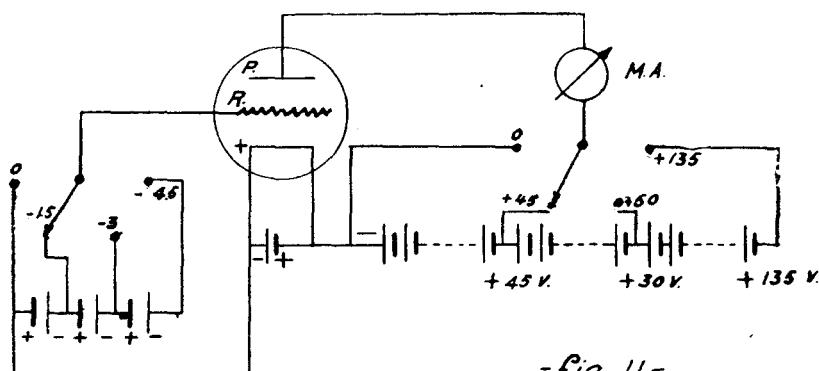


-Fig. 10-

+ 3 V. Este fenómeno se debe a que al polarizarse la reja positivamente con relación al filamento atraerá electrones como si fuera una placa de pequeña superficie, entonces los electrones se encontrarán a una menor distancia de la placa, la fuerza de atracción se hace mayor, lo que se traduce en un mayor número de electrones atraídos por la placa. El miliamperímetro del circuito reja nos permite constatar, como era de esperarse, que por dicho circuito circula una cierta corriente cuando el potencial de la reja es positivo, y que cuando éste es nulo o negativo, aquélla se anula.

El gráfico representativo de las variaciones de la corriente de placa I_p en función de la tensión reja U_g , a tensión placa y temperatura del filamento constantes, se denomina característica de reja. Para diferentes valores de la tensión placa U_p , se obtienen diferentes gráficos de $I_p(U_g)$, formándose del conjunto de éstos una familia de características de reja, como se ve en la figura 10.

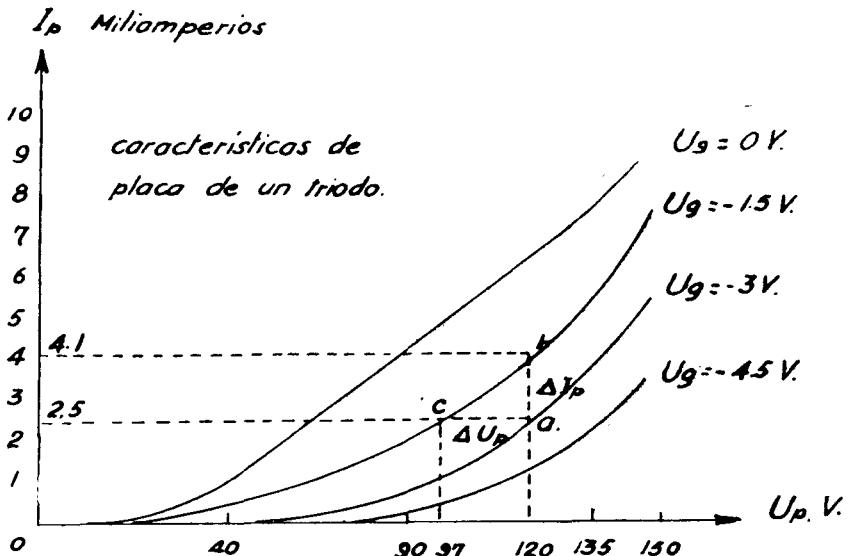
El gráfico $I_p(U_g)$ muestra la variación de la corriente I_p del circuito de reja en función de la tensión de reja U_g . La intensidad de dicha corriente aumenta bruscamente debido a que estando la reja muy próxima al filamento, basta un pequeño potencial positivo para atraer una considerable cantidad de electrones. La reja permite, pues, controlar la corriente electrónica que se dirige hacia la placa, es decir, la corriente del circuito placa. De tal manera que al variar la tensión de la reja, la corriente de placa va-



-Fig. 11-

riará al unísono, quedando de esa manera impresa en el circuito de placa la forma de las variaciones de la tensión de la reja. Posteriormente podremos apreciar debidamente la grandísima importancia de esta correspondencia.

Se entiende por característica de placa de un triodo, el gráfico representativo de las variaciones de la corriente de placa I_p en función de la tensión placa U_p , a tensión reja U_g constante. Para determinarla se efectúa el montaje indicado por el esquema de la figura 11. Para cada valor de U_g se hace variar U_p entre cero y un máximo, anotando para cada valor de U_p el correspondiente de I_p indicado por el miliamperímetro, lo que nos da la característica $I_p(U_p)$ para el valor correspondiente de U_g . Es evidente que para una serie de valores de U_g obtendremos una familia de curvas características de placa. (Fig. 12). Dicha familia puede también obtenerse a partir de una familia de caracte-



-Fig.12-

rísticas de reja del triodo en cuestión, sin necesidad de experimentación ninguna.

De lo estudiado precedentemente podemos pues concluir que la corriente de placa puede variarse tanto obrando sobre la tensión reja como sobre la tensión placa.

CONSTANTES FUNDAMENTALES DE LAS VALVULAS

Resistencia interna o resistencia de placa.—A una variación ΔU_p de la tensión placa corresponde una variación ΔI_p de la corriente de placa, permaneciendo constante el potencial reja U_g . La relación $R_p = \frac{\Delta U_p}{\Delta I_p}$, con U_g constante, se denomina resistencia de placa.

Supongamos que el triodo, cuyas características de placa se representan en el gráfico adjunto, esté trabajando en el punto a, para el cual se tiene: $U_p = 120$ V., $U_g = -3$ V., $I_p = 2,5$ M. A. Si U_g experimentara una variación por razón del funcionamiento de la válvula, v. gr., de -3 V. a $-1,5$ V., el nuevo punto de funcionamiento de la válvula estaría en b, es decir, la corriente de

placa experimentaría una variación igual a ΔI_p , siendo el nuevo valor de esta corriente $4,1 \text{ M.A.}; \Delta I_p = 4,1 - 2,5 = 1,6 \text{ M.A.}$

Ahora bien; para hacer volver a la corriente a su valor primitivo de $2,5 \text{ M.A.}$, manteniendo constante la tensión, $U_g = -1,5 \text{ V.}$, haría falta reducir la tensión placa U_p a 97 V. (punto C de la característica), es decir $\Delta U_p = 120 - 97 = 23 \text{ V.}$

$$\text{De donde deducimos } R_p: \frac{23}{0,0016} = 14375 \text{ ohmios.}$$

Factor de amplificación.—En el ejemplo anterior acabamos de ver que una variación de $1,5 \text{ V.}$ en la tensión reja produjo una variación en la corriente de placa, equivalente a la que habría producido una variación de la tensión placa de 23 voltios . A este fenómeno se le denomina amplificación, y nos muestra que si la tensión reja del triodo en cuestión sufre una variación de $1,5 \text{ voltios}$, en el circuito placa encontraremos esa variación ampliada a 23 voltios . La relación $\mu = \frac{\Delta U_p}{\Delta U_g}$ se denomina factor de amplificación de la válvula, y en el caso considerado tendríamos:

$$\mu = \frac{1,5}{23} = 15,3.$$

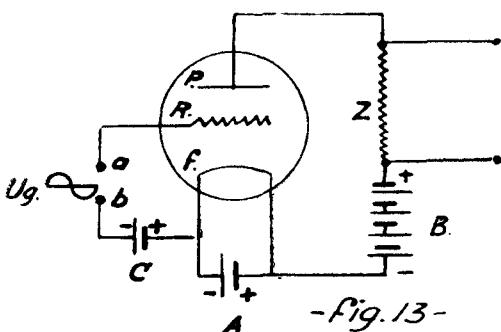
La relación $G = \frac{\Delta I_p}{\Delta U_g}$ se denomina conductancia mutua o trasconductancia y a veces pendiente de la válvula, y se expresa en mhos, si ΔI_p está en amperios y ΔU_g en voltios. Para la válvula estudiada tendríamos $G = \frac{0,0016}{1,5} = 0,001066 \text{ mho.}$

En la práctica se emplea como unidad de conductancia el micromho, que equivale a 10^{-6} mho . Analíticamente se tienen las relaciones:

$$\mu = G. \quad R_p = \frac{\Delta I_p}{\Delta U_g} \quad \frac{\Delta U_p}{\Delta I_p} = \frac{\Delta U_p}{\Delta U_g} : . R_p = \frac{\mu}{G}; \quad G = \frac{\mu}{R_p}$$

Funcionamiento del triodo como amplificador de tensión.—Sea el esquema de montaje adjunto (Figura 13). Si aplicamos entre los bornes *a b* del circuito de reja una tensión alterna U_g , el potencial de la reja variará entre las amplitudes positiva y negativa de la tensión aplicada; estas variaciones de la tensión reja producirán las correspondientes variaciones de la corriente placa, la que a su vez dará origen a una diferencia de potencial igual a ZI_{cf} entre los bornes de la impedancia Z , la cual diferencia de potencial es precisamente la función tensión amplificada, habiéndose conservado la frecuencia original y la forma de la onda. El objeto de la batería de polarización *C* es doble, 1º polarizar negativamente a la reja con respecto al filamento, lo que impide la

creación de una corriente en el circuito de reja; 2º, dar a este potencial negativo de polarización de la reja un valor tal, que la válvula funcione en todo momento sobre la parte rectilínea de la característica de reja, a fin de que las variaciones de la corriente de placa sean proporcionales a las tensiones de reja; pues si el funcionamiento se efectúa en parte sobre la porción curva de dicha



-Fig. 13-

característica, habrá media onda que no solamente no resultará amplificada sino notablemente deformada. Los puntos **A** y **B** de la característica representan los límites extremos entre los que puede trabajar correctamente la válvula como amplificadora. Los gráficos I y II de la figura 14 ilustran el funcionamiento correcto e incorrecto respectivamente en el proceso de amplificación. En el primer caso, la reja está polarizada por la batería **C** a — 1,5 V., siendo la polarización correspondiente en el 2º de — 3,5 voltios.

VALVULAS DE ELECTRODOS MULTIPLES

En el circuito amplificador acabado de ver es fácil observar que la reja y la placa, dado que están a diferentes potenciales y separados por un dieléctrico (gas, vapor o vacío) actúan como armaduras de un condensador. En la figura 15 se muestra en línea de trazos el condensador formado por dichos electrodos, la capacitancia del condensador es, como se sabe, inversamente proporcional a la capacidad y a la frecuencia $\left(\frac{1}{c \cdot 2\pi f}\right)$ de manera que si ésta alcanza valores importantes, resulta un verdadero corto-circuito entre la reja y la placa, lo que hace imposible el funcionamiento de la válvula, haciéndolo muy defectuoso para frecuencias más bajas.

En la práctica no solamente no es posible reducir la frecuencia, sino que en algunos casos resultaría contraproducente (v. gr., en radiotelefonía la potencia de las estaciones emisoras, y por lo

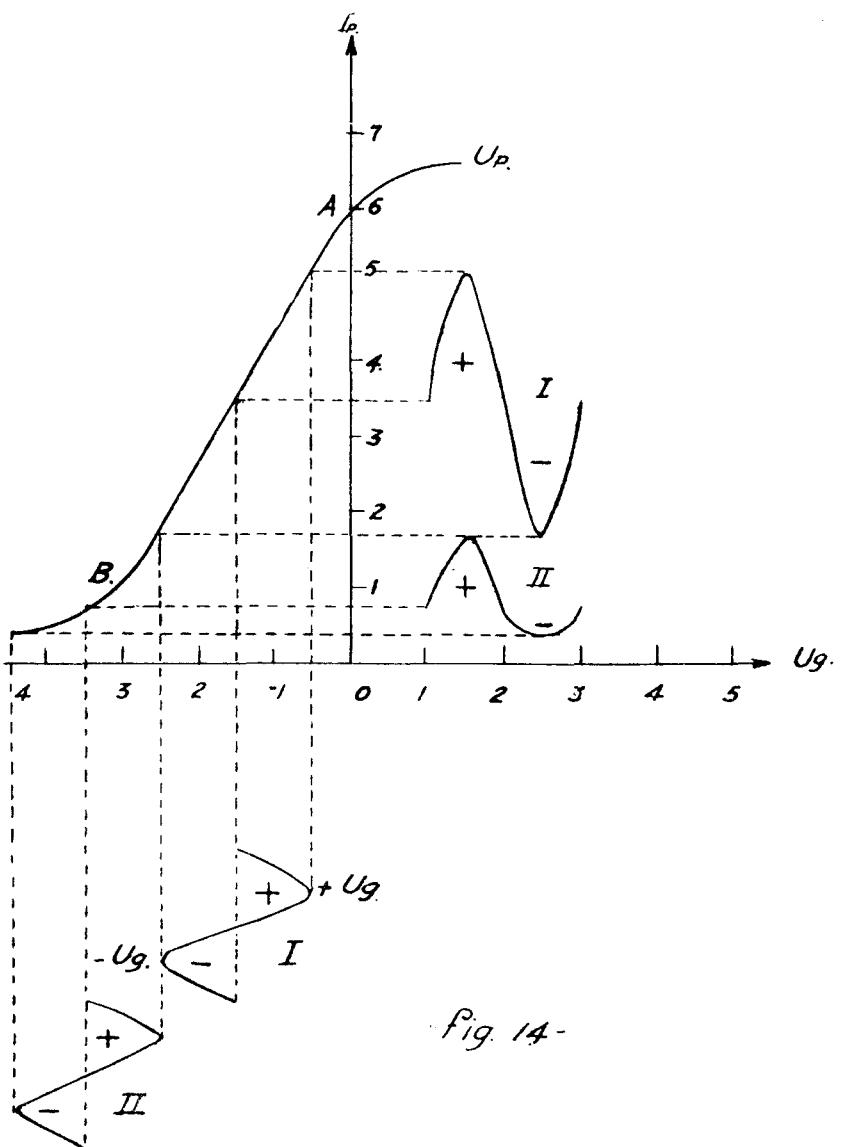
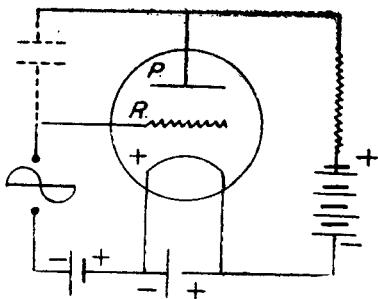


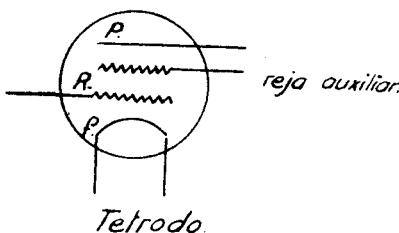
Fig. 14-



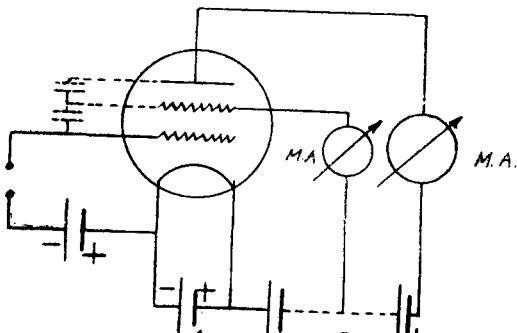
-Fig. 15.

tanto su alcance, es proporcional a la frecuencia). La solución estará forzosamente en la disminución de la capacidad del sistema reja-placa, lo que se logró introduciendo en la válvula un cuarto electrodo, entre la reja y la placa, por lo cual a la válvula así modificada se la denomina comúnmente tetrodo. Dicho electrodo consiste en una segunda reja llamada auxiliar o pantalla, y está polarizada positivamente con respecto a la reja principal, siendo en general su potencial inferior al de la placa. La polaridad positiva

de la reja auxiliar engendrará una corriente en su circuito, siendo ésta muy inferior a la del circuito placa, puesto que la superficie de ésta es mucho mayor que la de la reja auxiliar. Dada la diferencia de potencial entre la reja auxiliar y la placa, estos dos elementos formarán las armaduras de un condensador, al igual que las dos rejas; los dos condensadores tienen una armadura común, es decir, están montados eléctricamente en serie (Fig. 16), lo que



Tetrodo



-Fig 16-

hace que la capacidad resultante sea notablemente inferior a las capacidades parciales

$$\left(\frac{1}{c} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} \right)$$

La adición del cuarto electrodo produce un importante aumento de la resistencia interna de la válvula, lo que se traduce en un considerable aumento del factor de amplificación, pues como ya vimos, éste es directamente proporcional a aquélla ($\mu = G R_p$). A título comparativo se dan a continuación algunas de las características de un triodo y un tetrodo de los que fabrica la casa R. C. A. Víctor.

Triodo:

R.C.A. — 20

3,3 coeficiente de amplificación.

4,1, micromicrofaradios, capacidad reja-placa

8000 — 6300 Ω resistencia interna

415 — 525 micro-mhos, transconductancia

Tetrodo:

R.C.A — 24 — A

400 — 630 coeficiente de amplificación

0,007 micro-microfaradios

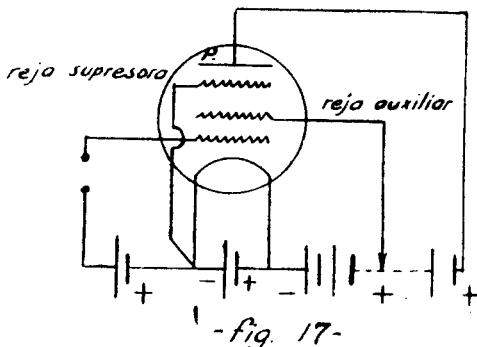
400000 a 600000 Ω

1000 — 1050 micro-mhos

Aunque el tetrodo, como puede observarse, representó un enorme adelanto en la aplicación de la ciencia electrónica, en su funcionamiento se presentaron algunos inconvenientes debidos al fenómeno denominado carga de espacio, el cual pasamos a explicar en su origen y consecuencias:

Los electrones emitidos por el filamento, al llegar a la placa chocan con ésta, este choque produce un desprendimiento de otros electrones, algunos de los cuales al desprenderse son atraídos por la reja auxiliar, ya que ésta está polarizada positivamente, mientras que otros quedan flotando en el espacio, entre la placa y la reja auxiliar. Al desprendimiento de electrones de la placa se lo denomina emisión secundaria; ésta determina un aumento notable de la corriente en el circuito de la reja auxiliar, ya que muchos de los electrones desprendidos de la placa son atraídos por dicha reja. Pero no es este el único inconveniente producido por la emisión secundaria, pues la nube formada por los electrones desprendidos por la placa y no atraídos por la reja auxiliar repele a la corriente electrónica proveniente del filamento, lo que se traduce en una disminución de la corriente de placa. A la nube electrónica acabada de mencionar se le da el nombre de carga de espacio. Las investigaciones adelantadas para evitar los inconvenientes anotados inherentes al tetrodo, condujeron a la introducción de una tercera

reja en el espacio comprendido entre la reja auxiliar y la placa, es decir, en el sitio donde se presentaba la carga de espacio. A esta nueva reja se la denominó reja supresora, y a la válvula así modificada Pentodo.



-fig. 17-

La reja supresora se polariza negativamente, conectándola al polo negativo de la fuente de alimentación del filamento, de manera que al presentarse un desprendimiento de electrones de la placa, por efecto del choque contra ella de los que llegan, la reja supresora los rechaza, obligándolos a volver a la placa, impidiendo la formación de la carga de espacio. A título ilustrativo sobre las excelentes condiciones del pentodo, he aquí algunas de las características de la válvula R.C.A. — 77, fabricada por la R.C.A. Victor.

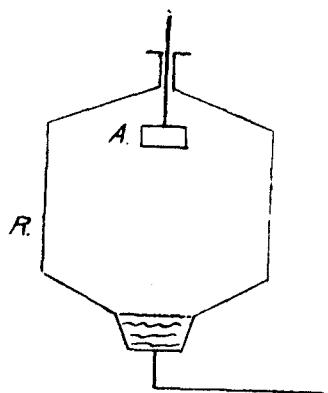
Resistencia de placa: 650000 a 1500000 ohms.

Coeficiente de amplificación: 715 a 1500

Capacidad reja-placa: 0,007 micro-microfaradios.

RECTIFICADORES ELECTRONICOS INDUSTRIALES

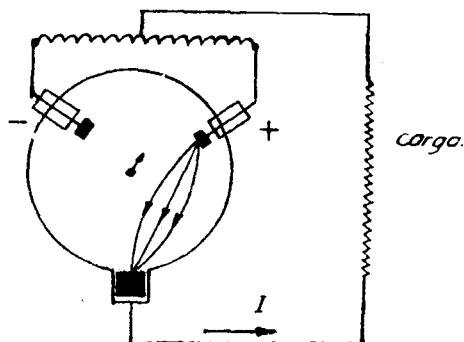
El rectificador de vapor de mercurio es una válvula termoiónica, constituida, en principio, por un recipiente R generalmente de vidrio Pyrex, dentro del cual se hace un vacío lo más perfecto posible. La placa o ánodo A suele ser de carbón o grafito, en tanto que el cátodo C (órgano emisor de electrones, y que juega un papel análogo al del filamento en las válvulas ya estudiadas), está constituido por una cubeta metálica aislada de R y llena de mercurio (Fig. 18). Por un medio adecuado se calienta hasta la incandescencia un punto de la superficie del mercurio, al cual se lo llama mancha catódica. Esta constituye un centro de emisión de electrones que se dirigirán hacia el ánodo cuando éste se encuentre a un potencial positivo con relación al cátodo. La tempe-



-Fig. 18-

ratura de la mancha catódica es de alrededor 2000° C., manteniéndose el resto del mercurio a unos 100° C.

La corriente electrónica sería relativamente pequeña, si a la emisión catódica no se superpusiera un fenómeno de ionización del vapor del mercurio. Efectivamente, los electrones emitidos por la mancha catódica ionizan el vapor de mercurio que se encuentra en la vecindad del cátodo; los electrones así liberados se precipitan hacia el ánodo y los iones hacia el cátodo, donde por intenso bombardeo de un espacio muy pequeño, calientan hasta el rojo-



-Fig. 19-

blanco la superficie, contribuyendo así al mantenimiento de la descarga. La corriente electrónica producida se debe, pues, no solamente a la emisión catódica sino también en gran parte a la diso-

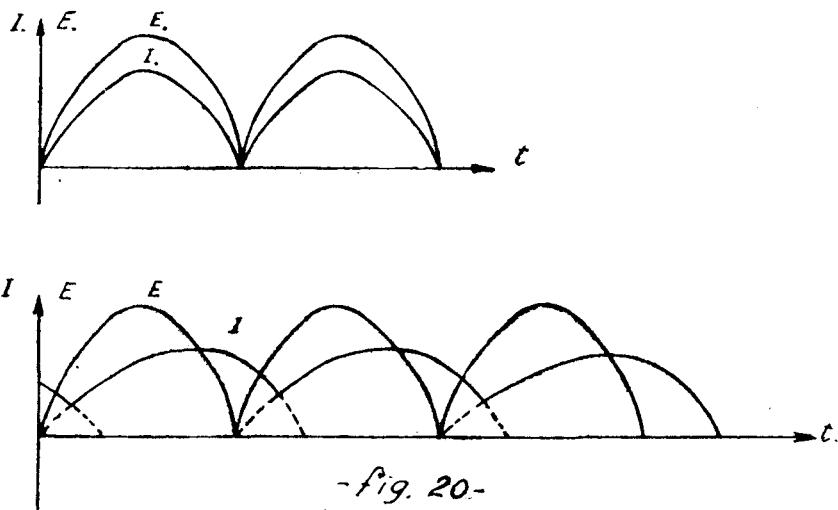
ciación de las moléculas de vapor de mercurio, lo que hace posible la obtención de corrientes de gran intensidad, aun para una pequeña diferencia de potencial entre los electrodos.

El cátodo podría estar constituido por un metal diferente del mercurio. La ventaja de este último consiste en que se reconstituye por sí mismo. En efecto, el vapor de mercurio se condensa al contacto con las paredes del recipiente desde donde vuelve fácilmente a la cubeta del cátodo.

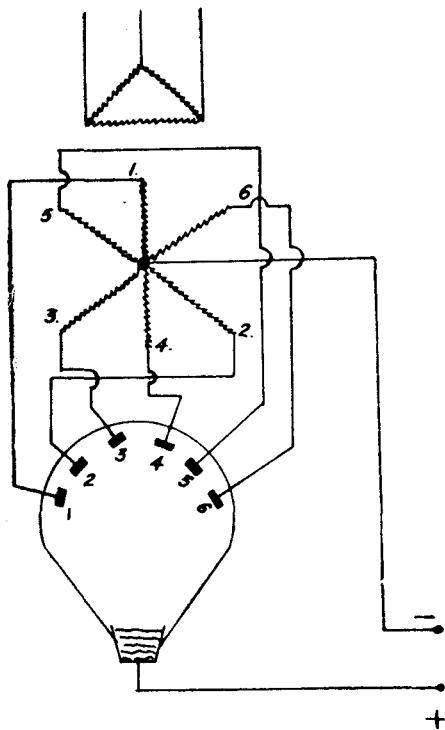
La caída de tensión interna en los rectificadores vale alrededor de 20 a 25 voltios, y presenta la particularidad de disminuir primeramente cuando la intensidad de la corriente producida aumenta, permaneciendo luego constante.

Los rectificadores monofásicos, están provistos de dos ánodos, para obtener la rectificación completa de la onda (Fig. 19). Fácilmente se observa que en un circuito tal, el punto neutro del secundario del transformador constituye el polo negativo, mientras que el positivo está constituido por el cátodo del rectificador.

Si el circuito de carga es únicamente resistente, el gráfico representativo de la corriente rectificada sigue rigurosamente todas las variaciones de la tensión, anulándose regularmente a cada alterna. Si dicho circuito presenta también reactancia, la duración de las ondas producidas separadamente por cada ánodo alcanzan una duración algo mayor que medio período, lo que se traduce en una superposición parcial, haciendo que la corriente rectificada no se anule entre dos alternancias consecutivas (Fig. 20). Por esta razón se dispone siempre en el circuito de utilización de los recti-



-fig. 20-



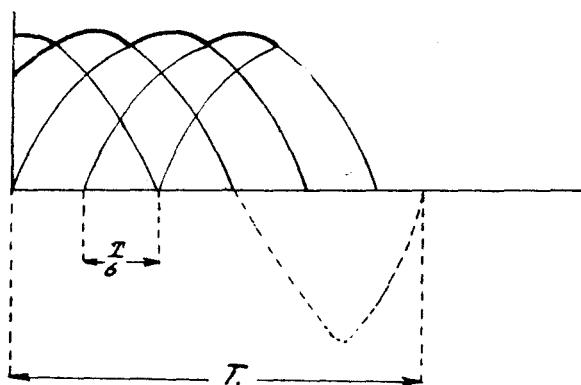
-fig. 21-

ficadores monofásicos, una bobina de selfinducción, lo que permite mejorar notablemente la forma del gráfico representativo de la corriente.

Rectificadores polifásicos.—Se pueden disponer en el recipiente de un rectificador encima de un mismo cátodo, varios ánodos alimentados por un sistema polifásico de tensiones. En un instante dado no podrá haber sino un solo ánodo por el cual circule la corriente. El arco no puede saltar entre un segundo ánodo y el cátodo sino en el momento en que este segundo ánodo esté al mismo potencial que el primero. El arco recorrerá por lo tanto todo el circuito de ánodos durante un período completo. El montaje realizado comúnmente con seis ánodos está representado esquemáticamente en la figura 21.

La curva ondulada trazada sobre las crestas de los gráficos representativos del sistema polifásico de tensiones (Fig. 22), repre-

senta la forma real de la tensión en el rectificador hexafásico. Es de notarse que la amplitud de las ondulaciones es muy inferior a la de un rectificador monofásico. Si el rectificador polifásico alimenta un circuito puramente resistente, el gráfico representativo de la corriente tendrá exactamente la misma forma que la curva de tensión. La presencia de una inductancia en dicho circuito produce una superposición temporal de las corrientes de los ánodos, análoga a la que se presentaba en el rectificador monofásico. Por medio de un acoplamiento conveniente de inductancias se puede obtener que dos y aun tres ánodos conectados a diferentes fases funcionen simultáneamente. La corriente rectificada así obtenida resulta considerablemente mejorada, haciéndose insignificante el efecto ondulatorio.



-Fig. 22-

La corriente que puede evacuar un ánodo no crece proporcionalmente a las dimensiones del mismo, de manera que en los rectificadores de gran intensidad hay que aumentar el número de ánodos, lo cual puede primeramente conseguirse aumentando el número de fases. Los rectificadores de 1.000 amperios suelen ser hexafásicos, en tanto que los de 3.000 tienen 12 fases. Para corrientes de 6.000 amperios y más se utilizan 24 ánodos, alimentando cada fase del secundario del transformador dos ánodos que funcionan en paralelo.