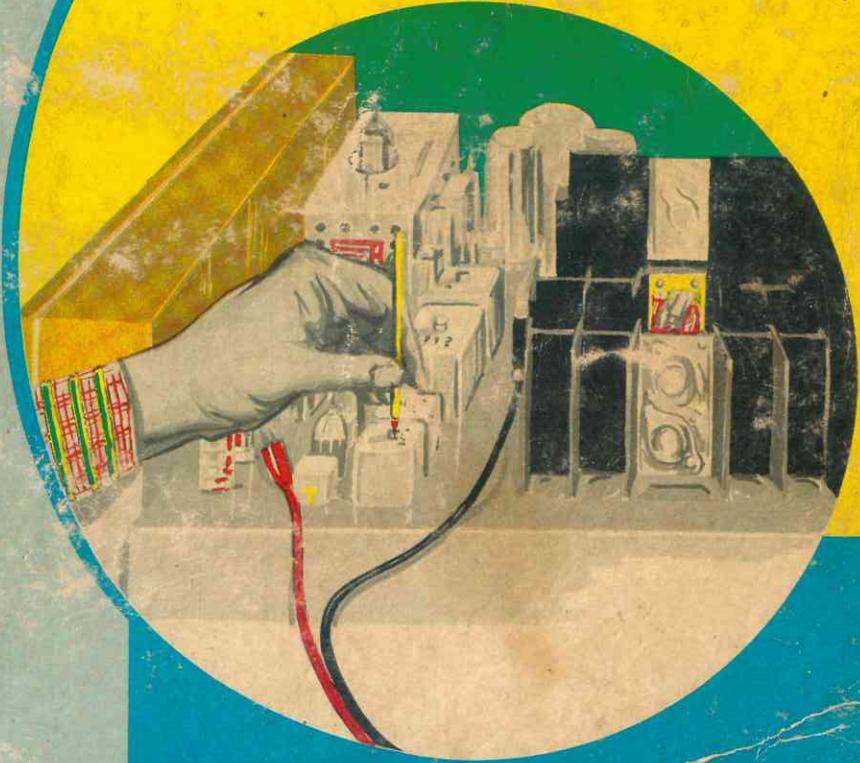


ELECTRICIDAD Y

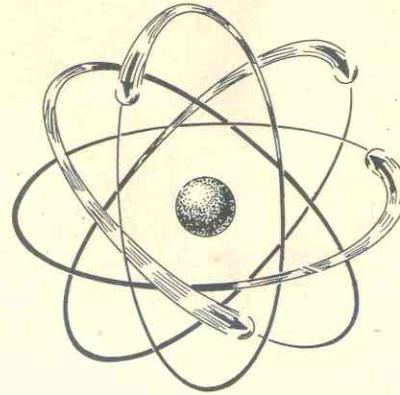
ELECTRONICA

CURSO BASICO



CIRCUITOS DE
TUBOS Y TRANSISTORES

CURSO BASICO



ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA

Volumen V CIRCUITOS DE TUBOS Y TRANSISTORES

Preparado por el cuerpo técnico de:
TRAINING & RETRAINING INC. de New York



Minerva Books, Ltd.

31 UNION SQUARE WEST, NEW YORK, N. Y. 10003

Copyright © 1968
EDITORIAL SERVICE COMPANY

Esta edición en español ha sido publicada por
MINERVA BOOKS, LTD.
bajo autorización recibida de
EDITORIAL SERVICE COMPANY

Original English Edition published by:
Howard W. Sams & Co., Inc.
All rights reserved under Universal International
and Pan-American Copyright Conventions

RESERVADOS TODOS LOS DERECHOS

PRINTED IN THE UNITED STATES OF AMERICA



PREFACIO

Vivimos actualmente en el mundo de la electricidad y de la electrónica. La energía eléctrica nos proporciona luz artificial, calefacción, y la fuerza necesaria para efectuar numerosos trabajos. La electricidad constituye la base del radio, la televisión, los computadores; en suma, de toda la ciencia que conocemos con el nombre de electrónica.

Aunque nuestros progresos tecnológicos han alcanzado el punto donde nos ha sido posible romper la barrera del sonido, estamos aún aprendiendo cosas nuevas sobre la electricidad y la electrónica. Una de las razones de esto es que la electricidad tiene ciertos aspectos intangibles; en otras palabras, no podemos observarla mediante los sentidos en forma común y ordinaria. Sin embargo, podemos observar los resultados de su existencia y continuamente estamos hallando nuevas vías para usarla, particularmente en el campo de la electrónica.

Esta última es una ciencia relativamente nueva. Aún cuando podemos remontarnos, en cuanto a la electricidad se refiere, a los tiempos de Franklin, Bell, y Edison, nuestro conocimiento de la electrónica se remonta tan sólo unas cuantas décadas, a descubrimientos y desarrollos efectuados por científicos tales como Marconi y De Forest; en realidad, no alcanzó la categoría de ciencia hasta el advenimiento del radio. La Segunda Guerra Mundial hizo imprescindible la necesidad de

rápidos desarrollos tecnológicos, y el radio de largo alcance, la radionavegación, el radar, el sonar, etc., se hicieron realidades tangibles. En los años transcurridos desde la Segunda Guerra Mundial, los desarrollos en electrónica han continuado produciéndose a pasos rapidísimos; tan rápidos, que las facilidades educacionales y de entrenamiento práctico han experimentado enorme dificultad en mantener el ritmo adecuado.

La electrónica ha alcanzado un desarrollo tal que podemos considerarla hoy como una combinación de tecnologías altamente especializadas. Sin embargo, todas estas tecnologías individuales se basan en los mismos principios fundamentales, principios que hasta aquí resultaban muy difíciles de comprender debido a los inadecuados materiales y métodos de enseñanza disponibles.

Los siete volúmenes que integran esta serie representan un gran paso hacia el enfoque unificado y simplificado de los principios de la electricidad y de la electrónica. Mediante la utilización de todas las técnicas y procedimientos modernos conocidos para motivar y enaltecer el proceso de aprendizaje, se ha dispuesto el contenido para que sirva como programa normal de estudios. Mas aún, el formato programado se ha preparado especialmente para que provea un instrumento de auto-aprendizaje; los maestros e instructores que usen estos volúmenes como textos de clase podrán, por lo tanto, enseñar la materia de modo más objetivo y con mucha mayor eficiencia que antes.

Aunque cada volumen puede estudiarse por separado, la comprensión de los principios que abarca cada uno requiere el conocimiento del material presentado en los anteriores. Los dos primeros volúmenes ofrecen una introducción general al campo de la electricidad y la electrónica. Su objetivo primordial es el echar una base sólida para el estudio de los volúmenes posteriores. Sin embargo, pueden usarse por sí solos, sin recurrir a los que les siguen, por el lector que solamente trata de adquirir un conocimiento general y sencillo de la materia.

Los volúmenes III y IV cubren los circuitos básicos de CC y de CA. Para el lector que tiene algún conocimiento de la electricidad básica, estos volúmenes constituyen, por sí solos, un texto general sobre los circuitos fundamentales.

El volumen V es un texto completo sobre circuitos de tubos y de transistores. Ha sido escrito suponiendo que el lector tiene un buen conocimiento de los principios tratados en los cuatro volúmenes anteriores.

Los primeros cinco volúmenes abarcan los principios generales eléctricos y electrónicos. Proporcionan la base para un estudio ulterior de una naturaleza general o especializada.

Los volúmenes VI y VII abarcan áreas especializadas de estudio. Si el lector posee ya un conocimiento profundo del material presentado en las primeras partes de la serie, cualquiera de los dos últimos volúmenes puede usarse por sí solo como texto en su campo especializado: equipos de pruebas y servicio en el Volumen VI, y motores y generadores en el Volumen VII.

Numerosos autores, editores, y consultores han contribuido al desarrollo de esta serie. Todos ellos esperan y confían que la misma llenará la necesidad, por largo tiempo sentida, de un texto general susceptible de usarse como guía de auto-aprendizaje y que pueda usarse también en cualquier curso de entrenamiento y preparación que requiera un conocimiento de los principios de la electricidad y de la electrónica.

TRAINING AND RETRAINING, INC.

¡Muchas Gracias!

Deseamos consignar aquí nuestra gratitud más expresiva y sincera a todos aquellos que participaron en la preparación de esta serie. Sin su valiosa contribución y brillantes esfuerzos, no hubiera sido posible el preparar la misma.

Mencionemos en primer lugar al Sr. Bernard C. Monnes, Especialista Educacional, Escuela de Electrónica de la Marina de Guerra, por su excelente contribución a la redacción, organización editorial, y revisión final de la serie completa. La terminación de estos volúmenes, tanto en lo referente al contenido técnico como al valor educacional, se debe principalmente a sus incansables y concienzudos afanes.

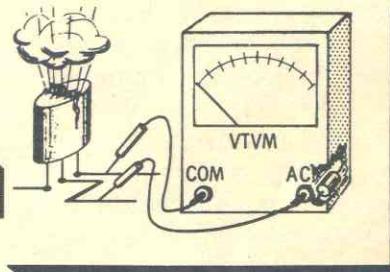
Vaya también la expresión de nuestra gratitud al Teniente Loren Worley, U.S.N., y a Mr. Ashley G. Skidmore, BUSHIPS, Secretaría de Marina, por sus contribuciones originales preparatorias y por su labor de redacción. Deseamos dar gracias igualmente a Irene y Don Koosis, Raymond Mungiu, George V. Novotny, y a Robert J. Brite por su redacción tecnológica y su contribución al método programado de presentación. Una expresión especial de gratitud a Robert L. Snyder por su preparación inicial y su labor de organización en la serie completa.

El crédito por el concepto inicial de esta serie de aprendizaje programado pertenece a Stanley B. Schiffman, miembro de Training & Retraining, Incorporated.

Y finalmente, gracias sean dadas también al Cuerpo de Redacción de la Casa Editorial por su valiosa ayuda, que va mucho más allá de la relación normal entre el editor y el autor.

SEYMOUR D. USLAN,
Redactor en Jefe
Training & Retraining, Inc.

INTRODUCCION



Este quinto volumen de la serie, lo familiarizará con los Tubos de Vacío, los Transistores y las distintas maneras en que estos aparatos llevan a cabo la función para la cual fueron creados. Al terminar este volumen habrá usted aumentado considerablemente su conocimiento de los principios fundamentales de la electricidad, para incluir los dispositivos y circuitos básicos que hacen posible el radio, la televisión, el radar, los computadores y otras áreas de la tecnología electrónica. Este conocimiento lo ayudará también a comprender mejor el funcionamiento de los equipos electrónicos.

Antes de comenzar a estudiar los circuitos de tubos y transistores, deberá usted tener un buen conocimiento de los principios básicos del funcionamiento de los circuitos de CA y CC, tal como se estudia en los volúmenes III y IV de esta serie. Todos los términos nuevos se definen cuidadosamente, y de igual manera se emplea la matemática necesaria para dar una interpretación precisa a los principios importantes, pero si usted sabe sumar, restar, multiplicar y dividir, las expresiones matemáticas no le ocasionarán dificultad alguna.

¿POR QUE SE ESCOGIO EL FORMATO DEL TEXTO?

En los últimos años, se han desarrollado nuevos conceptos de aprendizaje, conocidos como instrucción programada. Existen diferentes opiniones sobre la bondad y excelencia de los distintos estilos o formatos de textos programados, pero el valor de esta clase de enseñanza se ha demostrado ampliamente. Para ayudarlo a usted a progresar debidamente en el estudio de la serie, ofrecemos aquí una breve explicación del formato programado.

Se ha dividido cada capítulo en pequeños trozos de información, presentada en la secuencia más adecuada para servir los propósitos del aprendizaje. Algunos trozos son breves en extremo; en algunos casos, consisten de una sola oración. Otros pueden extenderse a varios párrafos. La extensión de cada presentación se determina por la naturaleza del concepto que se explica y el conocimiento que ha ganado el lector hasta ese punto.

Se ha dispuesto el texto en segmentos de dos páginas. Cada dos de éstas, situadas una frente a la otra, incluyen información sobre uno a más conceptos, con ilustraciones diseñadas para aclarar las descripciones lexicológicas. En la mayoría de estos segmentos se incluyen preguntas de autoverificación. Muchas de estas preguntas se presentan en forma de aseveraciones que requieren la inserción de una o más palabras que faltan; otras, son de la clase de selección múltiple o aún del tipo sencillo de ensayo. Las respuestas se dan en la página siguiente, de modo que usted tendrá la oportunidad de comprobar la certeza de la respuesta dada y comprobar lo que ha aprendido (o dejado de aprender) antes de seguir adelante. Si encuentra que su respuesta a una pregunta determinada no se compagina con la respuesta acertada, deberá estudiar de nuevo la información para determinar por qué la respuesta original es incorrecta. Como puede verse, este método de programación a base de pregunta-respuesta asegura el progreso ordenado y metódico a medida que se va estudiando el material presentado en el texto.

El comienzo de cada capítulo ofrece un resumen de su contenido; un repaso de los puntos importantes se presenta al final. El resumen da una idea del propósito del capítulo: lo que se va a aprender en el mismo. Esto ayuda a dar significado práctico y objetivo a la información presentada en él. El repaso al final del capítulo resume su contenido, de modo que pueda usted localizar y repasar aquellas áreas que han escapado a su comprensión completa. Y, lo que es igualmente importante, el repaso constituye una poderosa ayuda a la retención y recuerdo de lo aprendido.

FORMA CORRECTA DE ESTUDIO

Naturalmente, los buenos hábitos de estudio son importantes. Usted debe dedicar un espacio de tiempo específico al estudio de un área, de modo que pueda concentrarse sin permitir que nada lo moleste o distraiga de la tarea. Escoja el tiempo más apropiado, aquél donde sea susceptible de tener la mente más fresca y receptiva.

Aquí tiene algunas observaciones que encontrará valiosas en la tarea de lograr el aprovechamiento máximo de este volumen.

1. Lea cada oración cuidadosa y deliberadamente. Se han eliminado del texto todas aquellas palabras o frases innecesarias; cada oración presenta o apoya un concepto importante para el conocimiento de la electricidad y la electrónica.
2. Al pedirle que observe una ilustración determinada, deténgase al final de la oración que lee y estudie dicha ilustración. Asegúrese que se ha formado un buen cuadro mental de su contenido general. Continúe leyendo entonces, volviendo de nuevo a la ilustración cada vez que se requiera un examen detallado. Los dibujos se han planeado especialmente para que refuercen su comprensión del asunto que está estudiando.

3. Al final de la mayoría de las páginas de la derecha encontrará una o más preguntas, las cuales deberá contestar. Algunas de éstas contienen espacios en blanco que deberá llenar. Al contestar las preguntas, es importante que lo haga por escrito, bien en el libro o en una hoja de papel. El escribir las respuestas proporciona una mayor retención que el pensarlas solamente. El escribir no devendrá en tarea cansona, dado que la mayoría de las respuestas son cortas.
4. Conteste todas las preguntas de una sección antes de volver la página para comprobar la corrección de las respuestas. Si necesita ayuda, lea de nuevo el material correspondiente. Si no sabe la respuesta aún después de un rápido repaso del texto, termine de contestar las preguntas restantes. Si todavía no sabe las respuestas a las preguntas dejadas en blanco, vuelva la página y búsquelas en la sección de respuestas correspondiente.
5. Cuando haya contestado incorrectamente una pregunta, refiérase nuevamente al párrafo o página correspondiente y estudie de nuevo el material. El saber la respuesta correcta a una pregunta es menos importante que el saber **porqué** está correcta. Cada sección de material nuevo está basada en información presentada previamente. Si hay algún eslabón débil en esta cadena, el material subsiguiente será más difícil de entender.
6. En algunos casos, el texto describe ciertos principios en función de los resultados de experimentos sencillos. La información está presentada de modo que se adquiera el conocimiento ya se haga o no el experimento. Sin embargo, se ganará un conocimiento más amplio del asunto si se llevan a cabo los experimentos sugeridos.
7. Estudie cuidadosamente la sección de repaso titulada, "Lo que ha aprendido", que se encuentra al final de

cada capítulo. Este repaso lo ayudará a medir el conocimiento que tiene de la información contenida en el capítulo y le reforzará dicho conocimiento. Cuando se enfrente a expresiones que no comprende del todo, relea las secciones pertinentes, y compruebe nuevamente las preguntas y respuestas antes de proseguir.

Estos volúmenes han sido planeados cuidadosamente para que el proceso de aprendizaje sea lo más efectivo y fácil posible. Naturalmente se requiere cierto esfuerzo por parte del estudiante si es que éste quiere derivar el máximo beneficio. Sin embargo, si se siguen al pie de la letra estas normas e indicaciones, sus esfuerzos se verán debidamente recompensados, y encontrará que su estudio de la electricidad y la electrónica devendrá en una experiencia tan interesante como agradable y provechosa.

Versión española de la obra *Electricity and Electronic Basic Course*, preparada por el Cuerpo Técnico de MINERVA BOOKS, LTD., en la ciudad de Nueva York, E.U.A.

Dirección General: Dr. Alfredo R. Guerrero

Traducción: Manuel del Llano y Fernández,
Jorge L. Guerrero Schweyer

Dirección Tipográfica: Manuel E. Taboada

Producción: David Becerra Valdés

Ilustración: Profesor Orlando Jambú

Mecanografía: Jessica Otero
Concepción del Llano
María L. Cortés

Materias

CAPITULO I

TUBOS DE VACIO 17

Los Electrones en un Campo Eléctrico. El Cátodo y la Emisión de Electrones. Atracción de los Electrones emitidos. Desarrollo del Diodo. El Cátodo. La Placa. Características de los Tubos y la Resistencia Efectiva. Como afecta la Carga Espacial al Flujo de la Corriente. Gráfico del Voltaje de Placa contra la Corriente de Placa. Trazado de las Curvas de Voltaje de Placa y de Corriente de Placa. Efecto del Voltaje de Placa sobre la Resistencia Efectiva. Aplicaciones.

CAPITULO II

TUBOS DE ELEMENTOS MULTIPLES 43

El Triodo. La Rejilla. Efecto de la Rejilla sobre la Corriente de Placa del Triodo. Características de los Tubos. Familias de curvas. Parámetros de un Tubo. Manuales de Tubos. Polarización. Tubos Multirejilla (o de Rejillas Múltiple).

CAPITULO III

APARATOS SEMICONDUCTORES 79

¿Qué es un Semiconductor? Por qué son importantes los Materiales Semiconductores. Materia, Elementos, y Atomos. Cristales de Germanio. El Germanio Intrínseco. El Germanio de Tipo N. El Germanio de Tipo P. El Transistor. Diodos Semiconductores. Unión PN. Características de Diodo. Información sobre los Diodos semiconductores. Transistores. Funcionamiento del transistor. Amplificadores de Transistores Básicos. Características de los Transistores. Curvas de Características de los Transistores. Hojas de Especificaciones de los Transistores.

CAPITULO IV

SUMINISTROS DE FUERZA 117

El Propósito de un Suministro de Fuerza. Componentes de un Suministro de Fuerza CC. El Principio de la Rectificación. Acción Filtradora. Controles de Voltaje. Rectificadores de Semiconductores y de Tubos de Vacío. Filtros. Suministros de Fuerza Regulados.

CAPITULO V

AMPLIFICADORES Y OSCILADORES 139

¿Qué es un Amplificador? Tetrodos y Pentodos. Polarización. Línea de carga. Clases de Amplificadores. Circuitos Equivalentes. Ganancia y Resistencia de la Carga. Amplificadores de Voltaje y de Fuerza. Polarización Automática de Rejilla. Amplificadores de Etapa Múltiple. Amplificadores de Tubo de Vacío de Corriente Continua. ¿Qué es un Oscilador? Funcionamiento de un Oscilador.

CAPITULO VI

CIRCUITOS DE TRANSISTORES 177

Amplificadores de Transistores. Punto de Funcionamiento. Amplificadores de dos etapas.

CAPITULO VII

CIRCUITOS DE IMPULSOS 199

¿Qué son los Circuitos de Impulsos? Funcionamiento Transitorio. Funcionamiento Transitorio del Transistor. Estados del Transistor. Generación de Impulsos. Aplicaciones de los Circuitos de Impulsos.

1

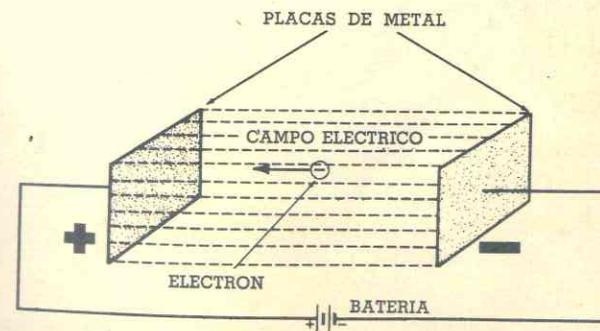
Tubos de vacío

LO QUE APRENDERA

En este capítulo va a aprender como influye un campo magnético sobre el movimiento de los electrones. Será capaz de nombrar los elementos de un tubo de diodo y de explicar como funciona. También aprenderá como se usan los gráficos para mostrar la relación que existe entre el voltaje y la corriente en el diodo.

LOS ELECTRONES EN UN CAMPO ELECTRICO

El electrón es una partícula cargada negativamente. Bajo condiciones apropiadas, se puede mover un electrón al colocarlo bajo la influencia de un campo magnético. Dicho campo se forma cuando existe una diferencia de potencial entre dos puntos. Si tiene libertad de movimiento en este campo, el electrón se moverá hacia el punto más positivo.



El Movimiento de los Electrones en un Campo Eléctrico

El movimiento de los electrones en el vacío

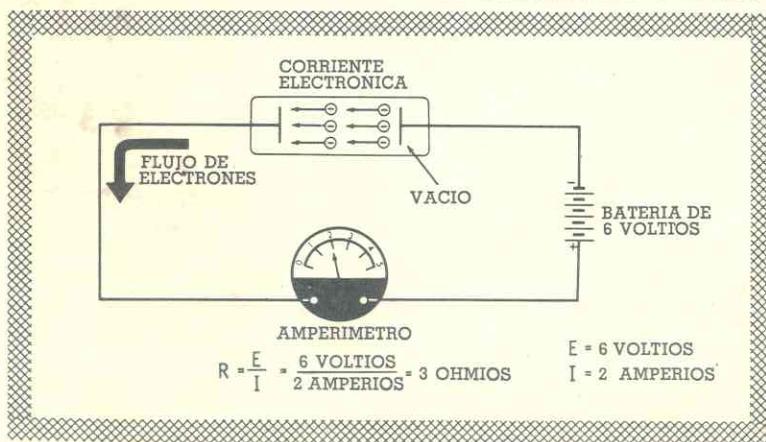
A los electrones les es difícil moverse a través de un medio como el aire, porque chocan con las moléculas de éste. Por esta razón, los electrones se mueven con mayor facilidad en el vacío.

Cuando se mueven muchos electrones en la misma dirección en un campo magnético, forman una corriente de electrones. El número de electrones que pasan por un punto dado en un período de tiempo dado se llama corriente (por ejemplo, 1,000 electrones por segundo). La unidad de corriente es el amperio. Cuando 6 quintillones, 240 cuatrillones de electrones pasan por un punto en un circuito cada segundo, se dice que está fluyendo una corriente de un amperio. Este número de electrones se llama un colombio. Por lo tanto, un colombio por segundo es igual a un amperio.

Resistencia entre dos placas conductoras

Considere dos placas separadas por una distancia específica en un vacío, y dé por sentado que los electrones son capaces de abandonar una de las placas. La diferencia de potencial entre las placas hará que fluya cierta cantidad de corriente. Si se conoce el valor del voltaje y la corriente se puede medir, se podrá calcular la resistencia por medio de la Ley de Ohm.

MEDICION DE LA RESISTENCIA ENTRE DOS PLACAS



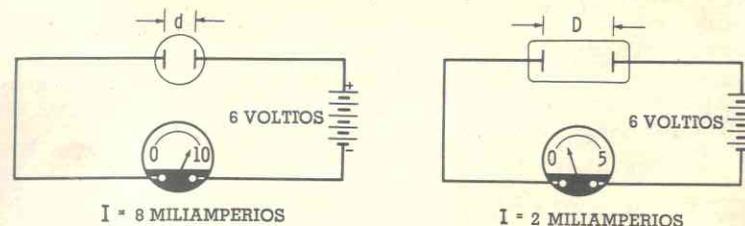
Se conecta un terminal de una batería de 6 voltios a una de las placas, y el otro terminal a la otra placa a través de un amperímetro. Una corriente de electrones fluye por el vacío entre las placas, y el amperímetro mide

una corriente de 2 amperios. Usando la Ley de Ohm, 6 (voltios) divididos entre 2 (amperios) equivalen a 3 ohmios.

Tres factores determinan la resistencia entre un juego de placas:

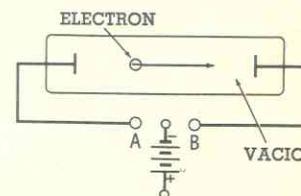
1. Distancia entre las placas.
2. Voltaje entre las placas.
3. Temperatura entre las placas.

Variación de la Corriente según el Espaciamiento de Placa

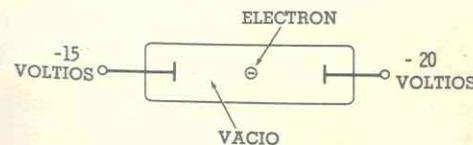


DISTANCIA ENTRE LAS PLACAS. La figura muestra dos juegos de placas cuando se aplica el mismo voltaje entre las placas de cada juego. La distancia que separa las placas de un juego es el doble de la distancia que separa a las placas del otro juego. Las placas que están separadas una distancia d permite el flujo de una corriente cuatro veces mayor que la que fluye entre las placas separadas por una distancia D .

- P1. ¿Cuál es la resistencia a través del juego d de placas?
- P2. ¿Cuál es la resistencia a través del juego D de placas?
- P3. Conecte la batería en forma tal que los electrones se muevan en la dirección abajo ilustrada.



- P4. Un electrón se mueve con facilidad en un
- P5. ¿En qué dirección se moverá un electrón en el campo abajo ilustrado?



Sus respuestas deben ser:

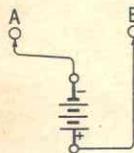
R1. La resistencia es de **750 ohmios**.

$$R = \frac{E}{I} = \frac{6 \text{ voltios}}{2 \text{ miliamperios}} = 750 \text{ ohmios}$$

R2. La resistencia es de **3,000 ohmios**.

$$R = \frac{E}{I} = \frac{6 \text{ voltios}}{2 \text{ miliamperios}} = 3,000 \text{ ohmios}$$

R3. La batería se debe conectar en esta forma.



R4. Un electrón se mueve con facilidad en un **vacío**.

R5. El electrón se debe mover del terminal negativo de 20 voltios hacia el terminal negativo de 15 voltios.

EL VOLTAJE A TRAVES DE LAS PLACAS. La figura abajo ilustrada muestra que a medida que se aumenta el voltaje a través de las placas, la corriente aumenta. Sin embargo, note que aunque el voltaje se duplica (de 4 a 8 voltios), la corriente aumenta en más del doble (de 2 a 6 amperios).

LA CORRIENTE DEPENDE DEL VOLTAJE ENTRE LAS PLACAS



La resistencia del circuito de 4 voltios es de 2,000 ohmios. La resistencia del circuito de 8 voltios es de 1,333 ohmios. Se puede ver que a medida que aumenta el voltaje entre las placas, la resistencia entre éstas disminuye.

TEMPERATURA DE LAS PLACAS. Los electrones se agitan por el calor. Esta agitación produce un aumento en la *velocidad* (movimiento) de los electrones, y el aumento en la velocidad le hace más fácil a los electrones el abandonar la placa. Así que, a medida que la placa que emite los electrones se calienta, fluye más corriente.

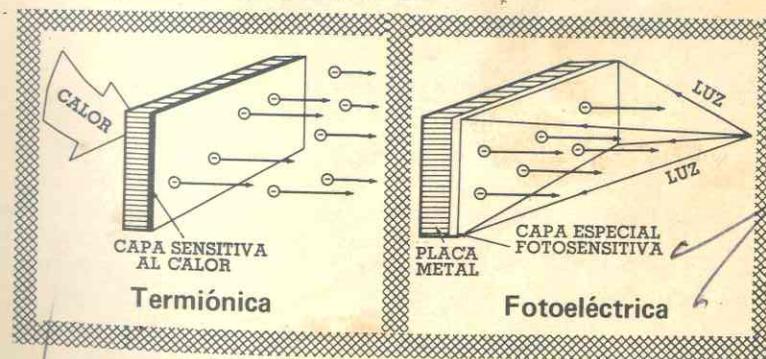
EL CATODO Y LA EMISION DE ELECTRONES

Debido a que están unidos a los núcleos de un átomo, los electrones son difíciles de mover. Para fluir a través de un campo electrónico, los electrones se deben liberar de sus átomos. Estos electrones se llaman *electrones libres*.

Un electrodo que emite electrones se llama *cátodo*. Un método de generar electrones libres es el de exponer ciertos materiales a la luz. Estos materiales se llaman *fotosensitivos*. Si se cubre un metal con un material fotosensitivo, emitirá electrones cuando se exponga a la luz. Este tipo de emisión se llama *emisión fotoeléctrica*.

Ciertos materiales emiten electrones con facilidad cuando se calientan. Esto se llama *emisión termiónica*.

EMISION ELECTRONICA



P6. A medida que la distancia entre las placas disminuye, la resistencia entre ellas (aumenta, disminuye).

P7. A medida que el voltaje entre las placas disminuye, la resistencia entre ellas (aumenta, disminuye).

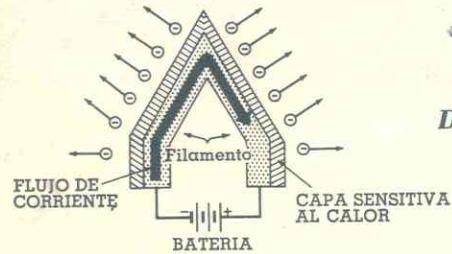
P8. A medida que la temperatura de la placa emisora disminuye, la resistencia entre las placas (aumenta, disminuye).

Sus respuestas deben ser:

- R6. A medida que la distancia entre las placas disminuye, la resistencia entre ellas **disminuye**.
- R7. A medida que el voltaje entre las placas disminuye, la resistencia entre ellas **aumenta**.
- R8. A medida que la temperatura de la placa emisora disminuye, la resistencia entre las placas **aumenta**.

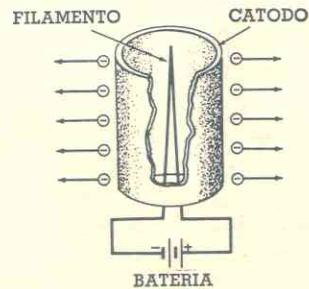
El calentador

La emisión termiónica es el método que se usa comúnmente para suministrar electrones libres. El elemento que se usa para suministrarle calor al cátodo se llama *calentador*. El calentador es un filamento muy fino de alambre a través del cual pasa la corriente eléctrica. Si se cubre con una capa de material sensible al calor, el filamento servirá de cátodo y se llama *cátodo calentado directamente*.



**CATODO
CALENTADO
DIRECTAMENTE**

El cátodo *calentado indirectamente* se hace de un buen material emisor en forma de tubo abierto en ambas puntas. Se coloca un filamento en su interior, pero sin tocar al cátodo, por el cual no pasa una corriente que lo caliente.

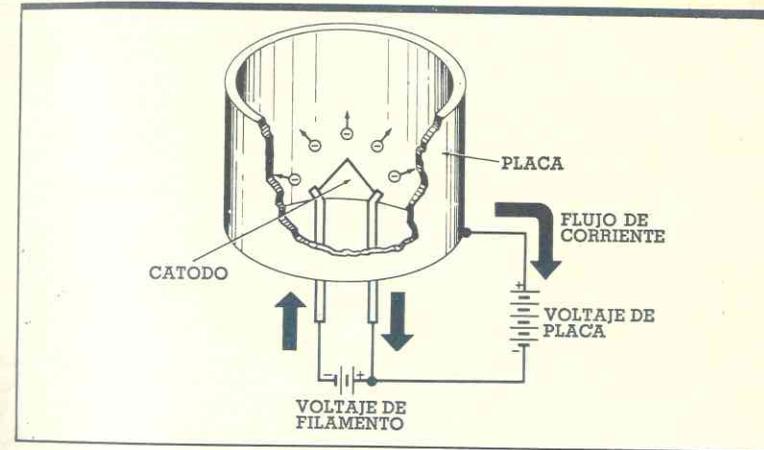


**CATODO
CALENTADO
INDIRECTAMENTE**

ATRACCION DE LOS ELECTRONES EMITIDOS

Los electrones libres realizan un trabajo útil si se mueven por un circuito electrónico. Se usa un elemento llamado placa para atraer los electrones que emite el cátodo. La placa, hecha de metal, se conecta a una fuente de potencial que hace positiva a la placa con relación al cátodo. Por lo tanto, los electrones negativos fluyen hacia la placa.

La Placa Positiva atrae los Electrones Procedentes del Cátodo



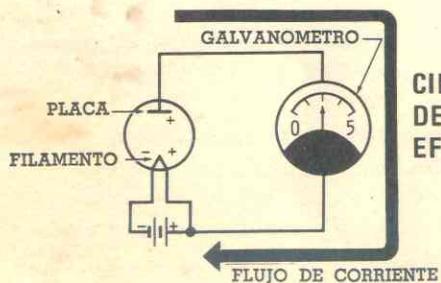
- P9. Un electrodo que emite electrones se llama.....
- P10. Una sustancia que ha sido expuesta a la luz emite electrones. Este proceso se llama *emisión*.....
- P11. El método que se usa comúnmente para generar electrones libres se llama *emisión*.....
- P12. Un filamento caliente cubierto con un material que emite electrones con facilidad se llama *cátodo*.....
- P13. Un cátodo caliente por el cual no pasa una corriente que lo caliente se llama un *cátodo*.....
- P14. El elemento que atrae los electrones que emite el cátodo se llama.....

Sus respuestas deben ser:

- R9. Un electrodo que emite electrones se llama **cátodo**.
- R10. Una sustancia que ha sido expuesta a la luz emite electrones. Este proceso se llama emisión **fotoléctrica**.
- R11. El método que se usa comúnmente para generar electrones libres se llama emisión **termiónica**.
- R12. Un filamento caliente cubierto con un material que emite electrones con facilidad se llama un cátodo **calentado directamente**.
- R13. Un cátodo caliente por el cual no pasa una corriente que lo caliente se llama un cátodo **calentado indirectamente**.
- R14. El elemento que atrae los electrones que emite el cátodo se llama **placa**.

DESARROLLO DEL DIODO

En uno de sus experimentos con la lámpara eléctrica, Thomas A. Edison colocó una pequeña placa de metal dentro de la envoltura vaciada que rodeaba el filamento. Esta placa no estaba en contacto con el filamento. Al colocar un galvanómetro entre el lado positivo del filamento y la placa, Edison notó que fluía una corriente entre el circuito aparentemente abierto



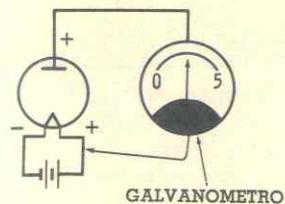
CIRCUITO PARA DEMOSTRAR EL EFECTO DE EDISON

entre el filamento y la placa de metal. Esta acción se conoce con el nombre de *Efecto de Edison*.

En 1904 Ambrose Fleming mejoró la placa al hacerla en forma tubular y usarla para rodear completamente al filamento. Este tubo de dos elementos se llamó *diodo*.

Las experiencias de Fleming con el diodo probaron que la corriente fluye por él en una dirección solamente, del cátodo a la placa. Fleming hizo un experimento similar al ilustrado en la figura inferior.

CIRCUITO PARA DEMOSTRAR LA CONDICION UNIDIRECCIONAL DE UN DIODO



Flujo de Corriente



Sin flujo de corriente

En la figura que muestra el experimento de Edison, se puede ver que el lado del filamento que se conecta al galvanómetro y a la placa está en el mismo potencial positivo (el voltaje de la batería). Por lo tanto, no habrá flujo de corriente entre estos dos puntos. Sin embargo, el lado del filamento que se conecta al terminal negativo de la batería es negativo en relación a la placa. Como resultado, los electrones que emite este lado del filamento son atraídos a la placa produciendo una pequeña corriente a través del galvanómetro.

En el experimento de Fleming, existe una situación similar cuando se conecta el galvanómetro al lado positivo del filamento. Sin embargo, cuando se conecta el galvanómetro al lado negativo de éste, la placa y ese lado del filamento están en el mismo potencial. Pero la placa es más negativa que el lado positivo del filamento. Por lo tanto, no fluye corriente alguna por el galvanómetro.

- P15. Un tubo de dos elementos se llama.....
- P16. El flujo aparente de corriente entre un filamento y la placa se llama.....
- P17. La corriente del diodo solamente fluye del..... a la.....

Sus respuestas deben ser:

- R15. Un tubo de dos elementos se llama **diodo**.
- R16. El flujo aparente de corriente entre un filamento y la placa se llama **efecto de Edison**.
- R17. La corriente del diodo solamente fluye del **cátodo** a la **placa**.

EL CATODO

El cátodo calentado directamente es un filamento recubierto. El filamento se hace generalmente de tungsteno recubierto de torio (tungsteno toriado). El torio actúa como un buen emisor de electrones cuando se calienta. Los electrones que emite el torio son reemplazados por el tungsteno. La

TIPOS DE CATODOS

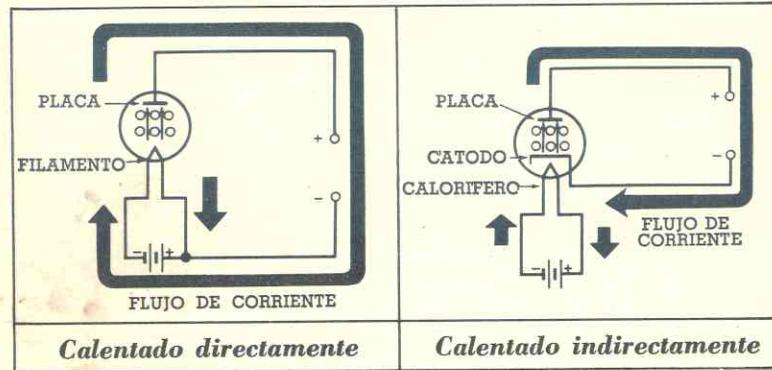


figura muestra como una batería de filamento envía corriente por éste, calentándolo y haciendo que emita electrones.

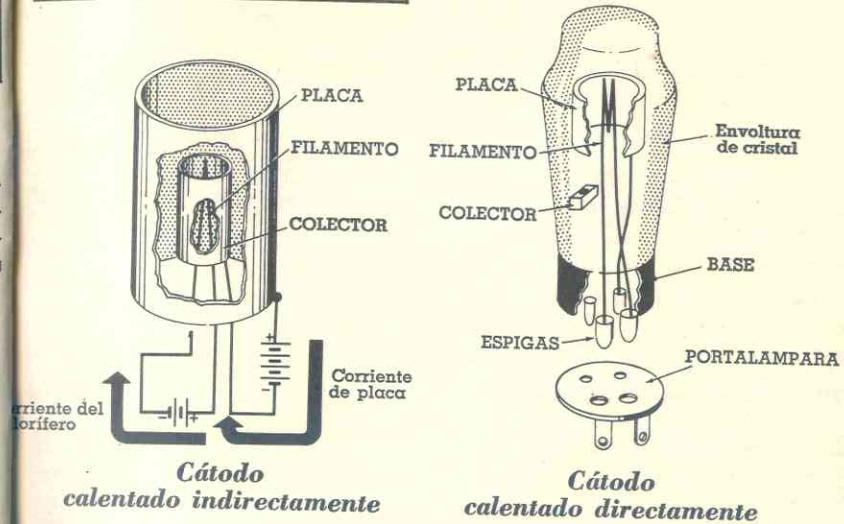
El cátodo calentado indirectamente consiste de un cilindro metálico calentado por un filamento que se coloca en su interior, pero sin tocarlo. Este tipo de cátodo se recubre generalmente con bario o con óxido de estroncio que sirve como material emisor de electrones.

LA PLACA

En el diodo, el elemento que guarda los electrones se llama la placa. Este elemento se construye generalmente de forma que cubra completamente al cátodo.

Véase el diagrama de un diodo con cátodo calentado indirectamente ilustrado aquí. La corriente al fluir a través del calentador, calienta el cátodo. Este emite electrones que fluyen hacia la placa y a través de la

CONSTRUCCION DEL DIODO



batería, regresando al cátodo. La figura también muestra la construcción de un diodo con un cátodo calentado directamente.

Debido a los gases retenidos en las partes metálicas, es muy difícil lograr el vacío absoluto en los tubos. Por esta razón, se usa un absorbente metálico. Los componentes del tubo se calientan al rojo después que se extrae el aire del tubo. Esto libera los gases retenidos, y entonces, se hace arder rápidamente al absorbente metálico por medio de un campo magnético que rodea al tubo. El absorbente metálico absorbe los gases que libera el calor y, en el proceso, deposita una capa de plata en el interior de la envoltura de cristal.

- P18. En un diodo el elemento que emite electrones se llama.....
- P19. En el cátodo calentado..... se usa un circuito de filamento separado para proporcionar calor.
- P20. Se usa un..... para remover los gases retenidos en las partes metálicas de un diodo.

Sus respuestas deben ser:

- R18. En un diodo el elemento que emite electrones se llama **cátodo**.
- R19. En el cátodo calentado **indirectamente** se usa un circuito de filamento separado para proporcionar calor.
- R20. Se usa un **absorbente metálico** para remover los gases retenidos en las partes metálicas de un diodo.

CARACTERISTICAS DE LOS TUBOS Y LA RESISTENCIA EFECTIVA

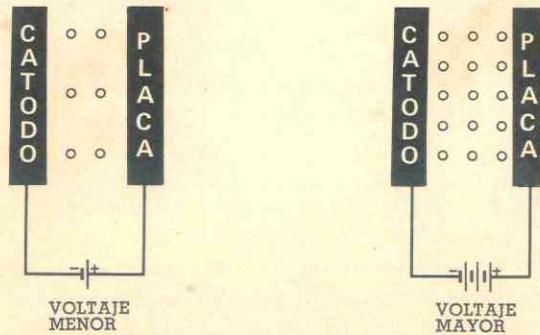
Tres factores afectan la cantidad de corriente que pasa por un diodo: la temperatura del cátodo, el voltaje entre las placas, y la carga espacial.

Temperatura del cátodo

Mientras más se calienta el cátodo, más electrones emite por unidad de tiempo. Sin embargo, esto tiene sus límites prácticos. Si la temperatura del cátodo se aumenta mucho, se quemará el filamento. Además, hay un límite a la relación máxima a la cual el cátodo puede emitir electrones.

El voltaje de la placa

A medida que el voltaje positivo de la placa aumenta en relación al cátodo, aumenta el flujo de corriente que pasa por el tubo.

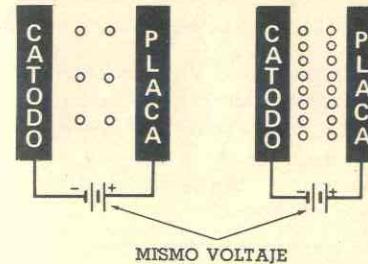


EL VOLTAJE DE PLACA AFECTA EL FLUJO DE CORRIENTE

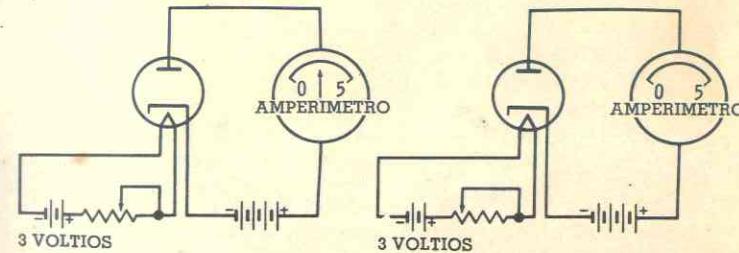
También hay un límite a la corriente del tubo que se puede obtener aumentando el voltaje de la placa, debido a que ésta no puede atraer más electrones que los que emite el cátodo.

Suponga que el voltaje en la placa permanece igual pero la placa se acerca al cátodo. ¿Cómo afecta esto a la corriente que pasa por el diodo? Bajo estas condiciones aumentará la corriente.

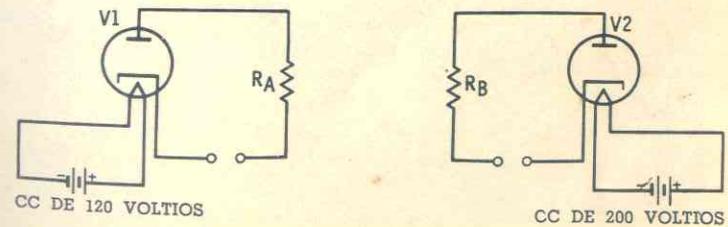
EL ESPACIAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL TUBO AFECTA EL FLUJO DE CORRIENTE



P21. Coloque la aguja del contador que falta (en una posición aproximada) en la figura inferior.



P22. Si los resistores R_A y R_B en los dos circuitos inferiores son idénticos, ¿cuál tendrá una temperatura mayor?



P23. Al alejar la placa del cátodo se (aumenta, disminuye) el flujo de corriente por el diodo.

Sus respuestas deben ser:

R21. La aguja debe indicar que hay un **flujo de corriente mayor en el circuito de la placa del diodo**. A medida que el brazo del potenciómetro se aleja más hacia la izquierda en el circuito de filamento, fluirán una corriente mayor en el circuito de filamento. El filamento se calienta más y emite más electrones, y entonces fluirán una corriente mayor en el circuito de la placa.

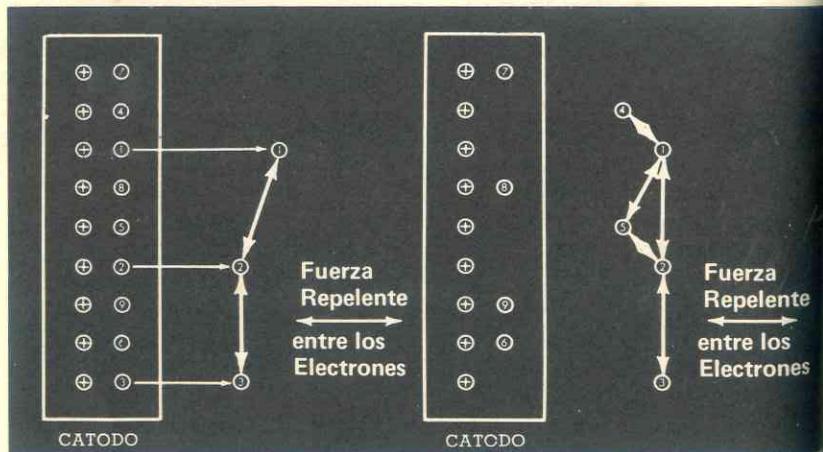
R22. Con un voltaje de placa mayor (200 voltios), V_2 conduce más corriente que V_1 , y la corriente que pasa por R_B es mayor que la corriente que pasa por R_A . Por lo tanto, I^2R_B es mayor que I^2R_A , y R_B es más caliente que R_A .

R23. Al alejar la placa del cátodo se **disminuye el flujo de corriente por el diodo**.

Carga espacial

El calor actúa como la fuerza de impulsión para lanzar al electrón número 1 al espacio alrededor del cátodo. Inicialmente el electrón tiene mucha energía. Sin embargo, la mayoría de ésta energía se consume al se-

FORMACION DE UNA CARGA ESPACIAL



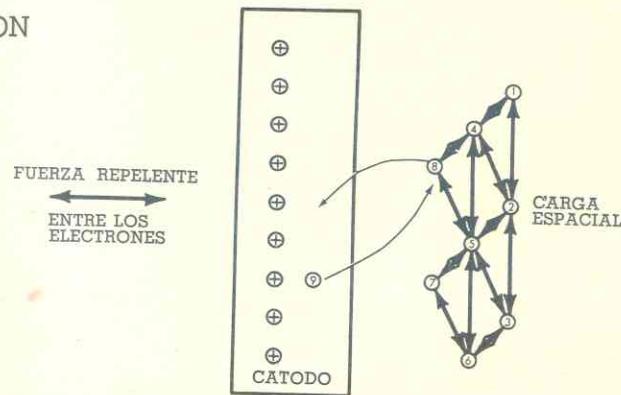
Los electrones comienzan a abandonar el cátodo

Más electrones abandonan el cátodo

pararse del cátodo. El electrón se mueve muy lentamente en el espacio alrededor del cátodo y muy pronto queda inmóvil. Dado que el cátodo ha perdido uno de sus electrones, ahora tiene más cargas positivas (protones) que electrones.

Como resultado, el electrón es atraído de nuevo al ahora positivo cátodo. Sin embargo, el calor sigue separando otros electrones del cátodo. A medida que el electrón número 1 regresa al cátodo, se encuentra con los electrones 2 y 3. Siendo ambos negativos, repelerán al electrón número 1, impidiendo su retorno al cátodo. El intento de estos electrones de retornar al cátodo se bloquea por los electrones 4, 5 y 6, y así sucesivamente. A medida que los electrones salen al espacio, forman una nube de cargas negativas. Mientras mayor sea esta nube, le ofrecerá una oposición mayor a los electrones que abandonan el cátodo.

SATURACION DE EMISION



Finalmente, se llega a un punto donde, cuando se emite una cantidad suficiente de electrones, la nube tiene una suficiente carga negativa para forzar la vuelta al cátodo de otros electrones que este emite. A partir de entonces, por cada electrón que emite el cátodo, uno regresa a él. Esta condición de equilibrio se conoce como *saturación de la emisión* . La nube de electrones alrededor del cátodo se llama *carga espacial* .

P24. La nube de electrones que se forma alrededor del cátodo se llama.....

P25. La condición de equilibrio de la nube de electrones alrededor del cátodo se llama

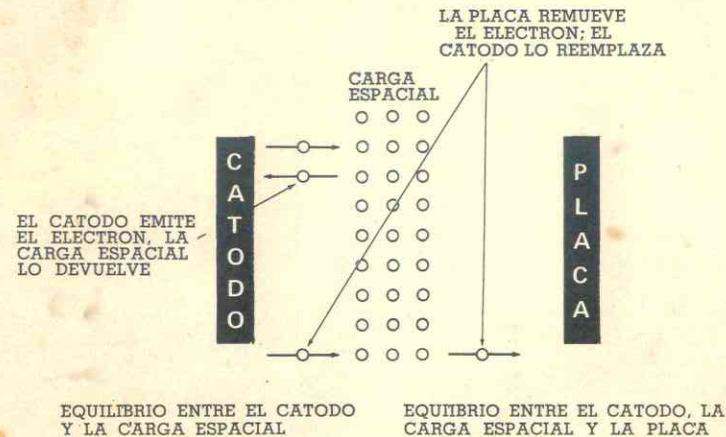
Sus respuestas deben ser:

- R24. La nube de electrones que se forma alrededor del cátodo se llama **carga espacial**.
- R25. La condición de equilibrio de la nube de electrones alrededor del cátodo se llama **saturación de la emisión**.

COMO AFECTA LA CARGA ESPACIAL AL FLUJO DE LA CORRIENTE

Cuando se coloca una placa en un tubo al vacío, no recibe electrones directamente del cátodo. En su lugar, los toma del lado de la carga espacial más cercana a la placa.

DOS CONDICIONES DE EQUILIBRIO EN UN DIODO

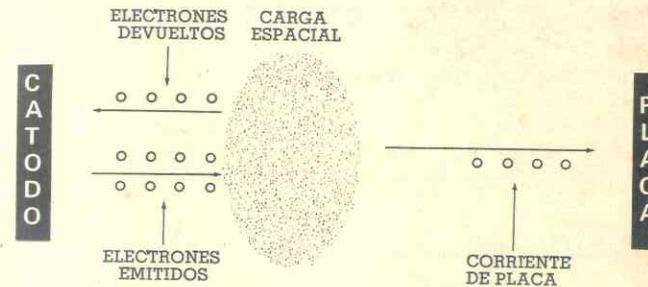


Cada vez que la placa remueve un electrón de la carga espacial, disminuye la carga negativa total. Entonces deberá colocarse otro electrón en la carga espacial para tomar su lugar, por lo que se mantiene el equilibrio en la carga espacial. Note que ahora se mantienen dos condiciones de equilibrio. Una es cuando el cátodo emite electrones hacia la carga espacial y estos regresan al cátodo. La otra condición de equilibrio es cuando la placa remueve un electrón de la carga espacial y el cátodo reemplaza ese electrón.

El equilibrio de la carga espacial

Se crea un estado de equilibrio entre la placa, el cátodo y la carga espacial. Esto se muestra en la figura inferior. Los electrones se emiten del cátodo hacia la carga espacial, de la cual la placa absorbe algunos electrones (corriente de la placa). El resto o los electrones sobrantes que la placa

EQUILIBRIO DE UN DIODO



no necesita regresar al cátodo. La cantidad de los que regresan es la diferencia entre la cantidad de electrones que el cátodo emite originalmente y la cantidad que va a constituir la corriente de la placa. El resultado de esto es que la carga espacial se mantiene en una cantidad constante. En otras palabras, ella alcanza un estado de equilibrio y permanece en él.

Esta nube de electrones que constituye la carga espacial proporciona una fuente disponible de electrones para la corriente de la placa.

Esta reserva permite cortos períodos de flujo de corriente de placa mayor que el que podría suministrarse directamente del cátodo.

- P26. La carga espacial es un carga sustancial (negativa, positiva) entre el cátodo y la placa.
- P27. El campo que repele los electrones que emite el cátodo yace entre..... y
- P28. El campo que remueve electrones de la carga espacial yace entre..... y
- P29. La placa ejerce su fuerza directamente sobre la.....

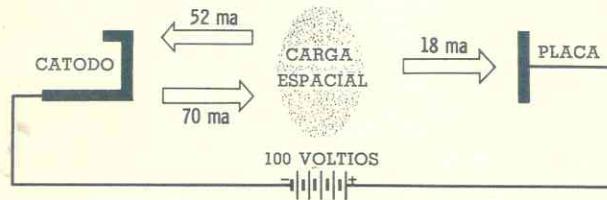
Sus respuestas deben ser:

- R26. La carga espacial es una carga sustancial **negativa** entre el cátodo y la placa.
- R27. El campo que repele los electrones que emite el cátodo yace entre el **cátodo y la carga espacial**.
- R28. El campo que remueve electrones de la carga espacial yace entre la **carga espacial y la placa**.
- R29. La placa ejerce su fuerza directamente sobre la **carga espacial**.

El control del flujo de la corriente

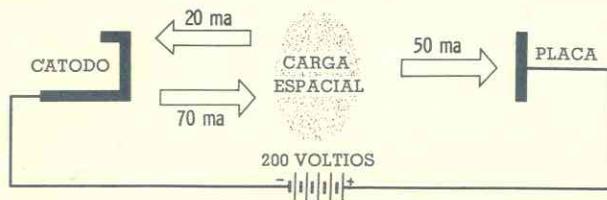
En la figura inferior, el voltaje de placa aplicado es de 100 voltios. Esto resulta en una corriente de placa de 18 ma. El cátodo emite suficientes electrones para producir una corriente de 70 ma, pero la carga espacial

PLACA POSITIVA DE 100 VOLTIOS



impide que algunos de ellos alcancen la placa. Los 52 ma sobrantes regresan al cátodo.

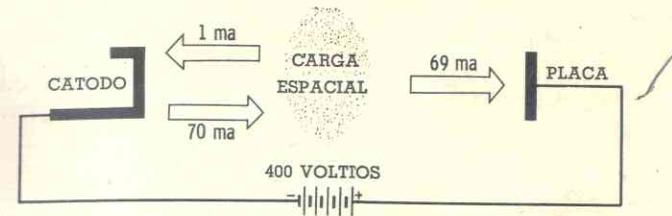
PLACA POSITIVA DE 200 VOLTIOS



Si el voltaje de la placa se aumenta a 200 voltios, la corriente de placa será de 50 ma, y la corriente que regresa, de 20 ma.

En la figura inferior, el voltaje de la placa se aumentó a 400 voltios, y la corriente de placa será de 69 ma. Note que en cada uno de estos casos, la suma de la corriente de placa y de la corriente que regresa al cátodo es igual a la corriente que emite el cátodo.

PLACA POSITIVA DE 400 VOLTIOS



Cuando el voltaje de la placa se aumenta a 450 voltios, la corriente de placa es igual a la emisión del cátodo. Esto se ilustra en la figura inferior.

PLACA POSITIVA DE 450 VOLTIOS O MAS



Cualquier otro aumento en el voltaje de placa se traducirá en la reducción de la carga espacial. Entonces el voltaje en la placa actúa directamente en el cátodo y fuerza a éste a emitir más electrones que los que le permite emitir su diseño. Esto provoca la rápida destrucción del material emisor y reduce la vida del tubo.

P30. Haga un diagrama mostrando las condiciones de equilibrio en un diodo.

P31. El número de electrones que regresan al cátodo más la..... equivalen al número de electrones que emite el cátodo.

P32. Si los electrones que regresan producen una corriente de 30 ma, la corriente de placa es de ma.

Sus respuestas deben ser:

- R30. Su diagrama debe ser similar al que aparece en la página 32.
- R31. El número de electrones que regresan al cátodo más la corriente de la placa equivalen al número de electrones que emite el cátodo.
- R32. Si los electrones emitidos producen una corriente de 90 ma y los electrones que regresan producen una corriente de 30 ma, la corriente de la placa es de 60 ma.

GRAFICO DEL VOLTAJE DE PLACA CONTRA LA CORRIENTE DE PLACA

El punto más importante que se debe recordar sobre los diodos es la cantidad de corriente que dejarán pasar con una cantidad dada de voltaje de placa. Este tipo de información se resume por medio de un gráfico de voltaje de placa versus corriente de placa.

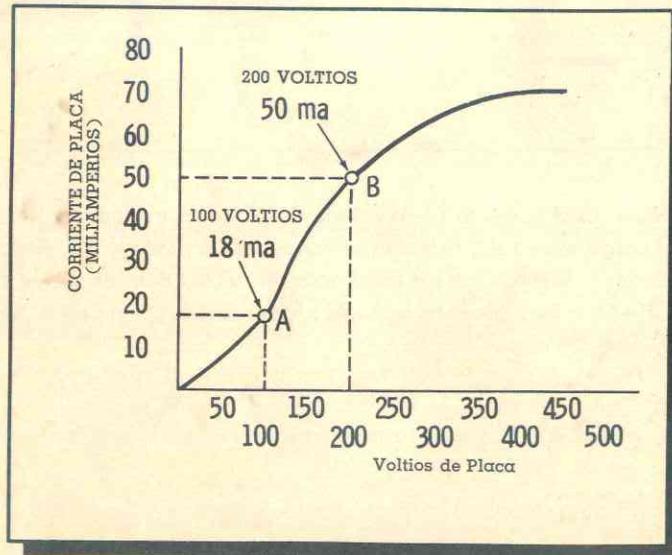


GRAFICO DEL VOLTAJE DE PLACA CONTRA CORRIENTE DE PLACA

Cada punto en el gráfico representa una corriente de placa para un voltaje de placa en particular. Por ejemplo, para hallar la corriente para un voltaje de placa de 100 voltios se dibuja una línea vertical desde el punto de 100 voltios en el eje horizontal a la curva. Esto determina la situación del punto A. Una línea horizontal por el punto A, pasa el punto de 18 ma en el eje vertical, por lo que el gráfico muestra que fluye una corriente de 18 ma por el diodo cuando el voltaje de la placa es de 100 voltios. La corriente que corresponde a cualquier valor del voltaje de placa se puede hallar en la misma forma.

También se puede usar el gráfico para determinar el voltaje de placa necesario para producir el flujo de cierta cantidad de corriente. Supongamos que se quiere conocer el valor del voltaje de placa necesario para producir una corriente de 50 ma. Primero, halle el punto de 50 ma en el eje vertical. Una línea horizontal por este punto intersecta la curva en el punto B. Una línea vertical por el punto B pasa por el punto de 200 voltios en el eje horizontal. Por lo tanto, se necesita un voltaje de placa de 200 voltios para producir el flujo de una corriente de 50 ma.

Se puede preparar un gráfico similar a éste para cualquier tipo de tubo de diodo. Como es natural, no se puede usar generalmente el gráfico para un tipo de tubo determinado para hallar los valores del voltaje y la corriente para otro tipo de tubo.

Note la rodilla de la curva en la cercanía de los 400 voltios. Al aumentar el voltaje en esta área, la corriente de placa varía muy poco. Por lo tanto, este debe ser el punto donde todos los electrones emitidos son atraídos a la placa.

Ya ha visto como se usa el gráfico del voltaje de placa versus la corriente de placa. La figura en la página siguiente muestra un circuito que se puede usar para obtener información para un gráfico similar.

- P33. En un gráfico de voltaje de placa versus corriente de placa, el voltaje se muestra a lo largo del eje.....
- P34. En un gráfico de voltaje de placa versus corriente de placa, la corriente se muestra a lo largo del eje.....
- P35. La parte de la curva donde todos los electrones emitidos son atraídos a la placa se llama..... de la curva.
- P36. Un gráfico para un tipo de tubo generalmente (si, no) se puede usar para otro tipo de tubo.

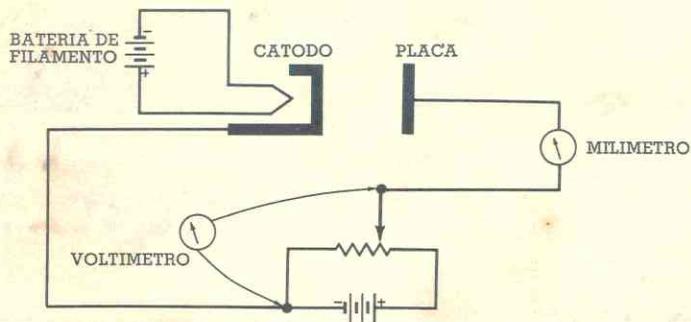
Sus respuestas deben ser:

- R33. En un gráfico de voltaje de la placa versus corriente de la placa, el voltaje se muestra a lo largo del eje horizontal.
- R34. En un gráfico de voltaje de placa versus corriente de placa, la corriente se muestra a lo largo del eje vertical.
- R35. La parte de la curva donde todos los electrones emitidos son atraídos a la placa, se llama la rodilla de la curva.
- R36. Un gráfico para un tipo de tubo generalmente no se puede usar para otro tipo de tubo.

TRAZADO DE LAS CURVAS DE VOLTAJE DE PLACA Y DE CORRIENTE DE PLACA

Para trazar una curva de corriente de placa o de voltaje de placa, se puede usar la combinación ilustrada abajo. Cda vez que cambie la posi-

Circuito para obtener información para el Gráfico



ción del brazo del resistor variable, lea el voltaje y la corriente. Después de tomar varias lecturas, trace un gráfico similar al de la página 36.

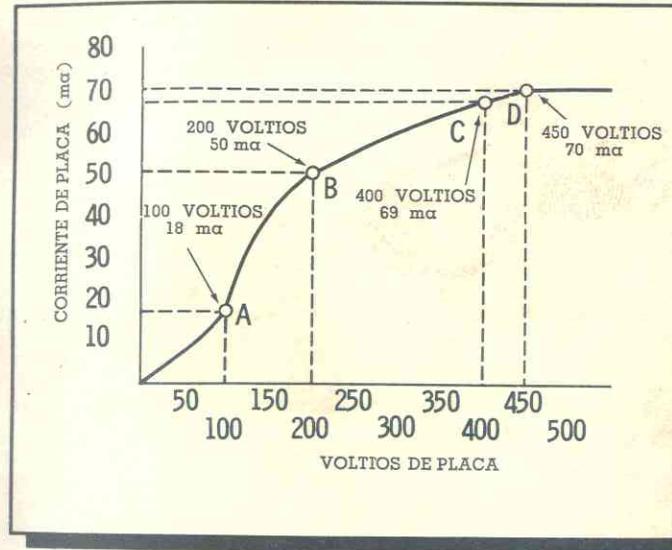
EFFECTO DEL VOLTAJE DE PLACA SOBRE LA RESISTENCIA EFECTIVA

¿Recuerda la resistencia efectiva entre las placas conductoras en un tubo de vacío? Esta misma oposición existe entre el cátodo y la placa de un tubo de vacío y se llama resistencia CC de la placa, R_p .

El cálculo de la resistencia CC de la placa

Suponga que el gráfico abajo ilustrado se obtiene tomando las lecturas de corriente y de voltaje en un tubo diodo.

PUNTOS PARA CALCULAR LA RESISTENCIA DE PLACA DE CC



Para ver como la resistencia CC de placa varía con el voltaje de placa, calcule R_p en cada uno de los puntos marcados en el gráfico. Los cálculos darán los siguientes resultados:

- Punto A: $180 \text{ voltios} / 18 \text{ ma} = 5,500 \text{ ohmios}$
- Punto B: $200 \text{ voltios} / 50 \text{ ma} = 4,000 \text{ ohmios}$
- Punto C: $400 \text{ voltios} / 60 \text{ ma} = 5,800 \text{ ohmios}$
- Punto D: $450 \text{ voltios} / 70 \text{ ma} = 6,400 \text{ ohmios}$

P37. Para obtener información para un gráfico de corriente de placa versus el voltaje de placa, las lecturas se toman a medida que varía el.....

Su respuesta debe ser:

R37. Para obtener información para un gráfico de corriente de placa versus el voltaje de placa, las lecturas de la corriente se toman a medida que varía el voltaje.

Variaciones de la resistencia CC de placa

Al ir del punto A al punto B (vea la página anterior), el voltaje de placa aumenta y la resistencia CC de la placa disminuye. Sin embargo, al ir del punto B al punto C, la resistencia aumenta a medida que aumenta el voltaje. Esto sucede porque los puntos C y D están en la rodilla de la curva. La porción de la curva entre los puntos A y B es casi una línea recta. Esto se llama generalmente la parte *lineal* de la curva. Por lo general, en esta parte lineal, R_p disminuye cuando aumenta el voltaje de la placa.

APLICACIONES

Debido a la característica unidireccional del diodo, éste puede realizar muchas funciones importantes.

DETECCION



En la figura superior, el diodo se usa como un detector. Una señal típica de una imagen de TV aparece ilustrada. Ella pasa por un detector de diodo que selecciona solamente la mitad positiva de la señal.

SUPRESION



El diodo también puede eliminar porciones indeseables de una señal. Esto se llama *limitar*, o *recortar*. En la figura superior, se muestra otro tipo de señal de TV; ésta es el tipo compuesto de señal de video. Para ciertas aplicaciones, solamente se necesitan los dos impulsos sincrónicos. La señal

se manda a través de un separador sincrónico de diodo que cercena los impulsos sincronizadores de la señal de video compuesta.

FIJACION



Otro uso del diodo es el de mantener cierto nivel de voltaje para una señal; esto se llama *fijación de amplitud* o *restauración de CC*. La figura superior muestra una señal de video compuesta cuyo pedestal está en los 20 voltios positivos. La regulación de amplitud de diodo hace que este pedestal se sitúe en los 50 voltios negativos.

RECTIFICACION



En la figura superior, se muestra una señal de CA entrando en un rectificador de diodo, y saliendo como CC pulsante. Este primer paso en el cambio de la CA en CC se llama *rectificación*, y es la base de todos los suministros de fuerza electrónica.

SELECCION DE SEÑAL



En el funcionamiento de desconexión periódica varias señales se deben presentar al mismo tiempo para que se obtenga una salida. En la figura puede ver una señal que abre el desconectador a intervalos regulares. Sin embargo, solamente hay una salida cuando se presentan dos señales al mismo tiempo.

- P38. Un circuito de diodo que se usa para pasar la mitad de una señal es el.....
- P39. El..... es un circuito de diodo que se usa como separador sincrónico.
- P40. El..... cambia la CA en CC pulsante.

Sus respuestas deben ser:

R38. Un circuito de diodo que se usa para pasar la mitad de una señal es el **detector**.

R38. El **cercenador** es un circuito de diodo que se usa como separador sincrónico.

R40. El **rectificador** cambia la CA en CC pulsante.

LO QUE HA APRENDIDO

1. Los electrones se mueven con mayor facilidad en un vacío.
2. Los electrones se mueven de negativo a positivo en un campo eléctrico.
3. Los electrones se emiten en el cátodo en un tubo diodo y la placa los atrae.
4. Algunos cátodos emiten electrones debido a la acción de la luz y otros debido a la acción del calor.
5. Los cátodos se pueden calentar directa o indirectamente.
6. La carga espacial consistente en una nube de electrones existe entre el cátodo y la placa.
7. Normalmente existe un equilibrio en el diodo entre el cátodo y la carga espacial y entre el cátodo, la carga espacial y la placa.
8. La relación entre el voltaje de placa y la corriente de placa se puede mostrar por medio de un gráfico.

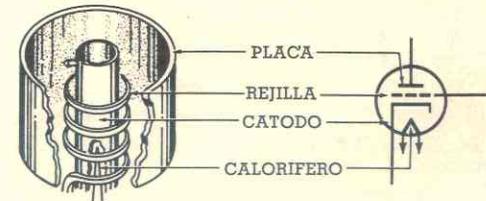
Tubos de Elementos Múltiples

LO QUE APRENDERÁ

Va a estudiar los triodos, tetrodos, y pentodos. Se le mostrarán los símbolos esquemáticos de estos tubos y las anotaciones taquigráficas que se usan para identificar las diferentes corrientes y voltajes que se asocian con los amplificadores. También estudiará los tres parámetros de los tubos (factor de amplificación, resistencia CA de la placa, y transconductancia) y la polarización. Igualmente aprenderá a usar un manual de tubos para obtener información sobre los tubos de vacío.

EL TRIODO

En 1907 Lee De Forest sacó una patente basada en una válvula Fleming que contenía un tercer elemento. Debido a su construcción en forma de rejilla, este elemento se llamó *la rejilla*. Este tubo de vacío de tres elementos se llama *triodo*.



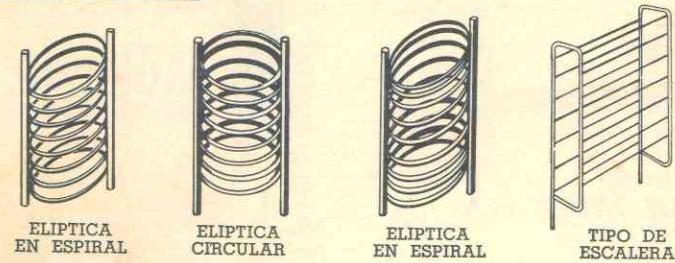
DIODO TIPICO

Los experimentos de De Forest demostraron que el triodo puede hacer algo que no se había hecho antes: puede aumentar las señales pequeñas. Este proceso de fortalecer las señales débiles se llama *ampliación*. El triodo se usa generalmente como un amplificador.

LA REJILLA

A través de los años las rejillas se han construido en muchas formas diferentes. Algunas de estas son de un diseño básico pero mejorado, y otras son para nuevas aplicaciones. Todas las rejillas tienen algo en común; siempre se colocan entre el cátodo y la placa.

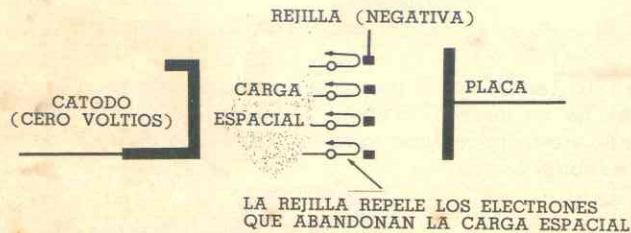
REJILLAS TÍPICAS



La rejilla introduce un tercer campo eléctrico

Al añadir una rejilla entre el cátodo y la placa se introduce otro campo eléctrico en el triodo. El efecto de este campo eléctrico adicional se muestra en la figura inferior.

Efecto de la Rejilla de un Triodo



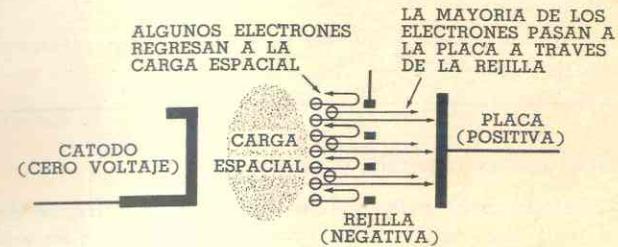
La dirección de este campo se determina por la polaridad del voltaje que se aplica a la rejilla. Por razones que luego serán evidentes, la rejilla se hace funcionar con un pequeño voltaje negativo (en relación con el cátodo). El efecto de este voltaje es el de repeler los electrones que de otra forma dejarían la carga espacial y fluirían hacia la placa.

El voltaje de placa acelera los electrones

A medida que el voltaje de placa se aplica al triodo, los electrones dejan la carga espacial y se dirigen hacia la placa. A medida que viajan

hacia ésta, ganan impulso, y al aproximarse a la rejilla, la carga negativa de este elemento los hace ir más despacio. Es más: algunos regresan a la carga espacial. Sin embargo, debido a la construcción de la rejilla, muchos electrones pasan por los alambres y siguen viaje hacia la placa.

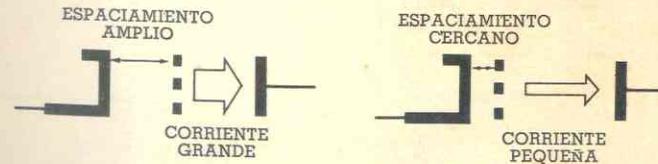
EL MOVIMIENTO ELECTRONICO EN UN TRIODO



Distancia entre la rejilla y el cátodo

Este factor de la construcción de un triodo afecta el flujo de electrones en la siguiente forma: mientras más lentamente se muevan los electrones, es más fácil el detenerlos y devolverlos a la carga espacial. Por lo tanto, una rejilla que se coloca cerca de la carga espacial (antes de que los electrones hayan ganado mucho impulso) puede detener los electrones con mayor facilidad que una que se coloca a mayor distancia, (donde los electrones tienen el chance de ganar impulso). En otras palabras, mientras más cercana la rejilla al cátodo, mayor control tendrá sobre el flujo de electrones hacia la placa.

Efecto de la Distancia de la Rejilla del Cátodo sobre la Corriente de Placa



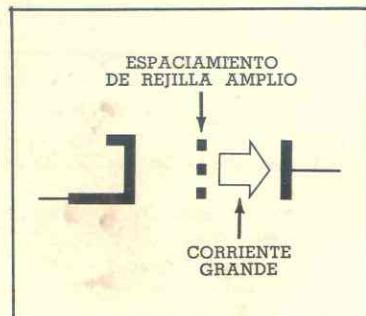
- P1. Un tubo de tres elementos se llama.....
- P2. ¿Cuáles son los nombres de los elementos de un triodo?
- P3. El proceso de fortalecer señales pequeñas se llama.....
- P4. La rejilla negativa tiende a..... a los electrones el llegar a la placa.

Sus respuestas deben ser:

- R1. Un tubo de tres elementos se llama **diodo**.
- R2. Los nombres de los tres elementos de un triodo son: **la placa, la rejilla y el cátodo**.
- R3. El proceso de fortalecer señales pequeñas se llama **amplificación**.
- R4. La rejilla negativa tiende a **impedir** a los electrones el llegar a la placa.

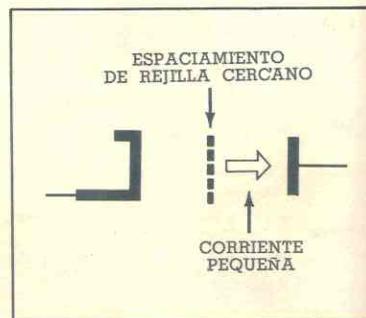
La distancia entre la rejilla y el cátodo

Este factor de construcción afecta el flujo de la corriente de placa en forma evidente. Una rejilla cuyos alambres están más bien unidos tiende a concentrar el campo eléctrico. Por lo tanto, una rejilla rechaza los electrones con mayor facilidad cuando sus alambres están en esta forma. Esto es, los electrones tienen menos oportunidad de pasar por los alambres de la rejilla.



EFFECTO DEL ESPACIAMIENTO AMPLIO SOBRE LA CORRIENTE DE PLACA

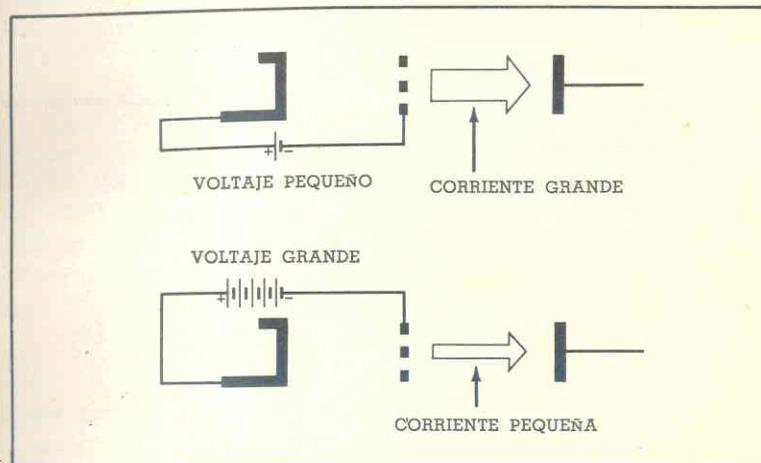
EFFECTO DEL ESPACIAMIENTO CERCANO SOBRE LA CORRIENTE DE PLACA



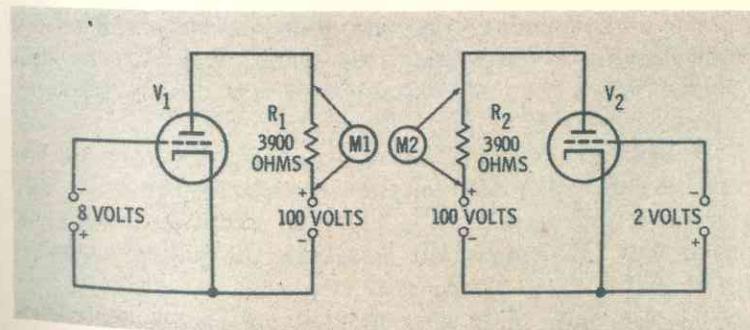
Voltaje negativo aplicado a la rejilla

A medida que la rejilla se vuelve más negativa con respecto al cátodo, su efecto repelente se hace mayor. Por lo tanto, mientras más negativa sea la rejilla, la corriente de la placa será menor.

EFFECTO DEL VOLTAJE DE REJILLA SOBRE LA CORRIENTE DE PLACA



- P5. La rejilla funciona (negativamente, positivamente) con relación al cátodo.
- P6. Mientras más se aleja la rejilla del cátodo la corriente de placa será (mayor, menor).
- P7. Mientras mayor sea el espacio entre los alambres de la rejilla, la corriente de placa será (mayor, menor).
- P8. ¿Cuál de los contadores medirá un voltaje mayor?



Sus respuestas deben ser:

- R5. La rejilla funciona **negativamente** con relación al cátodo.
- R6. Mientras más se aleja la rejilla del cátodo, la corriente de placa será **mayor**.
- R7. Mientras mayor sea el espacio entre los alambres de la rejilla, la corriente de placa será **mayor**.
- R8. M_2 mide un voltaje mayor. La corriente de placa (V_1 y V_2) es la misma. El voltaje de la rejilla de V_2 es menos negativo que el de V_1 . Por lo tanto, V_2 conduce más, produciendo una caída de voltaje mayor a través de R_2 que a través de R_1 . Por lo que el contador M_2 mide más voltaje que M_1 .

EFEECTO DE LA REJILLA SOBRE LA CORRIENTE DE PLACA DEL TRIODO

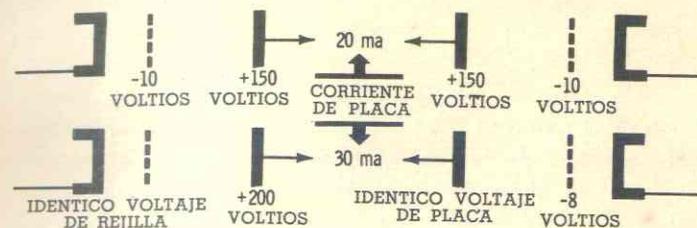
La placa y el cátodo en un triodo son esencialmente los mismos que los usados en el diodo. Ya sabe que al aumentar el voltaje en la placa se aumenta la corriente de placa. La rejilla también se puede usar para aumentar la corriente de placa. Sin embargo, ya que el voltaje de la rejilla es un pequeño voltaje negativo opuesto al voltaje positivo mayor en la placa, la rejilla se hace *menos negativa* para aumentar la corriente de placa. *El hacer la rejilla menos negativa es igual que hacerla más positiva* por lo tanto, hay dos formas de variar la corriente de placa. Sin embargo una de estas formas proporciona un control más eficiente que el otro. Dado que la rejilla está más cerca del cátodo, su efecto sobre los electrones es mucho mayor que el de la placa.

Fíjese en la figura de la próxima página. En la esquina superior izquierda hay un tubo cuyo voltaje de rejilla es de -10 voltios y cuyo voltaje de placa es de $+150$ voltios. Esto resulta en un flujo de corriente de 20 ma. Cuando el voltaje de placa se aumenta a $+200$ voltios, la corriente de placa es de 30 ma, un aumento de 10 ma.

Ahora fíjese en el tubo en la esquina superior derecha de la figura. De nuevo, el voltaje de placa empieza en $+150$ voltios y el voltaje de rejilla en -10 voltios, resultando en un flujo de corriente de la placa de 20 ma. Pero esta vez, el voltaje varía de -10 a -8 voltios. La corriente de placa varía 10 ma como antes, de 20 a 30 ma. Por lo que, para variar

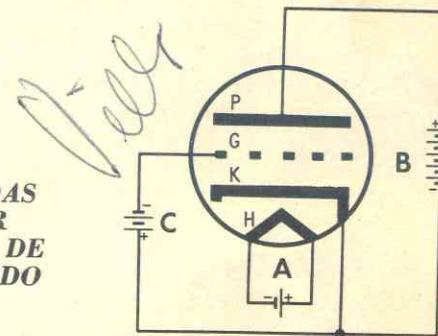
la corriente de placa 10 ma, se puede cambiar el voltaje de placa 50 voltios o el voltaje de la rejilla 2 voltios (en el tubo usado en este ejemplo). En la mayoría de los casos, se hace lo segundo.

RELATIVOS DE LOS CAMBIOS EN LOS VOLTAJES DE REJILLA Y DE PLACA

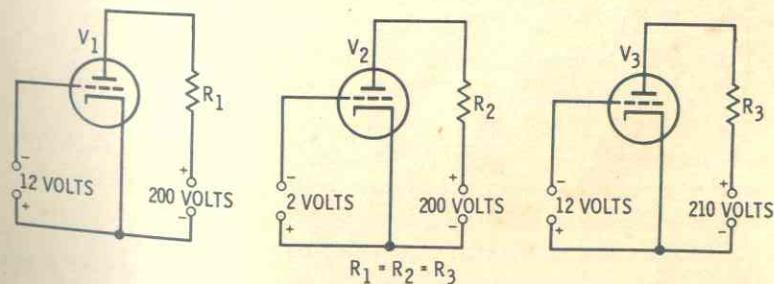


El uso constante de las expresiones voltaje de placa, voltaje de rejilla, voltaje de filamento, ha conducido al uso de simples anotaciones taquigráficas, como se muestra en la figura superior.

LETRAS EMPLEADAS PARA DESIGNAR LOS SUMINISTROS DE VOLTAJE DE TRIODO



P9. Ordene los siguientes resistores en orden de la disminución de su relación de vatiaje.



Su respuesta debe ser:

R9. R_2 , R_3 , R_1 . Dado que todos los resistores tienen la misma resistencia, aquel por el que fluye más corriente necesita la mayor relación de voltaje. Es necesario determinar qué tubo tiene la mayor corriente de placa. V_1 y V_2 tienen un voltaje de placa de 200 voltios, pero V_2 tiene un voltaje de rejilla que es 10 voltios menos negativo que V_1 . Por lo tanto V_2 conduce más que V_1 . Los voltajes de rejilla de V_1 y V_3 son iguales, pero el voltaje de placa de V_3 es 10 voltios mayor que el de V_1 . Por esta razón, V_3 también conduce más que V_1 , por lo que V_1 tiene la corriente de placa menor; su resistor necesita la menor relación de voltaje. Note que V_2 y V_3 sufrieron un cambio de 10 voltios (con respecto a V_1): V_2 de +10 voltios en la rejilla y V_3 de +10 voltios en la placa. Como la rejilla ejerce un efecto mayor sobre la corriente de placa y como los cambios de voltaje eran los mismos, V_2 debe conducir más que V_3 , por lo que R_2 requiere una relación de voltaje mayor que R_3 .

CARACTERÍSTICAS DE LOS TUBOS

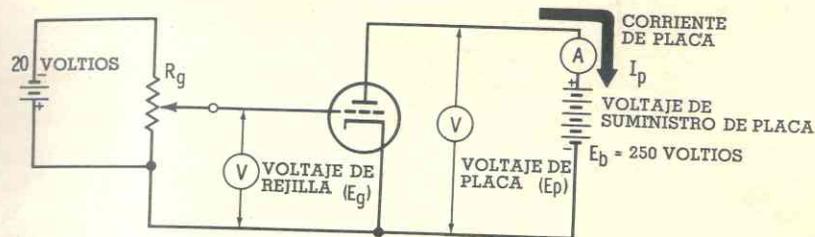
Ya aprendió que tres factores afectan la cantidad de corriente que pasa por un diodo: la temperatura del cátodo, el voltaje en la placa (con relación al cátodo), y la carga espacial. A la corriente de la placa en un triodo la afectan estos factores, y otro más: el voltaje en la rejilla con relación al cátodo.

Recuerde la característica del diodo llamada resistencia CC de la placa (R_p): Un aumento en el voltaje de la placa produce una disminución en la R_p (en la parte lineal de la curva). ¿Afectarán los cambios en el voltaje de rejilla a la R_p de un triodo en forma similar? Para averiguarlo, trace una curva de voltaje de rejilla versus la corriente de placa. El circuito que muestra en la figura en la página opuesta se puede usar para obtener esta información para esta curva. El método que se usó para obtener esta información se explica también en los párrafos que acompañan la ilustración

Características del voltaje de rejilla y de la corriente de placa

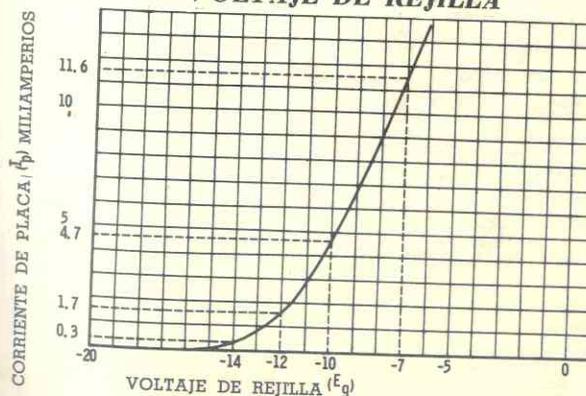
Note que el voltaje del filamento no se muestra en la figura, pero se debe suministrar. El suministro de voltaje de la placa (E_b) es de 250 voltios,

CIRCUITO PARA OBTENER INFORMACION PARA LA CURVA CARACTERISTICA DEL TRIODO



pero se puede usar cualquier voltaje mientras éste sea apropiado para el tubo que seleccionó (puede determinar este voltaje usando un manual de tubos). El suministro de voltaje de la placa se mantendrá constante durante este experimento. Ajuste R_g hasta que algún flujo de corriente de placa parezca en el amperímetro A. Lea los valores de esta corriente y del voltaje de la rejilla y anótelos. Continúe cambiando el voltaje de la rejilla y lea los dos contadores hasta que tenga unos cinco pares de valores. Trace esta información en un gráfico, que deberá ser similar al que aparece en la figura inferior.

CORRIENTE DE PLACA DEL TRIODO CONTRA VOLTAJE DE REJILLA



P10. Determine R_p en cada uno de los puntos del gráfico.

Su respuesta debe ser:

R10. Para cada uno de los valores seleccionados del voltaje de rejilla, R_p debe ser:

e_g	R_p
-7	21.4K
-10	53.2K
-12	147K
-14	833K

Un ejemplo de estos cálculos:

$$R_p = \frac{E_b}{I_p} = \frac{250V}{4.7 \text{ ma}} = 53.2K$$

Halle primero el punto en el cual una línea vertical a través del voltaje de rejilla deseado intersecta la curva. Después, observe donde una línea horizontal a través de este punto en la curva pasa a través del eje vertical. Lea la corriente de placa en este punto. Use este valor conjuntamente con el valor de E_b para calcular R_p .

Anotaciones taquigráficas

Abajo aparece una lista de algunas de las anotaciones taquigráficas usadas para representar los distintos voltajes y corrientes asociados con triodos.

- E_b = el suministro de voltaje de placa.
- e_p = el voltaje de placa total instantáneo.
- I_b = el promedio de la corriente total de placa.
- E_c = el suministro de voltaje de la rejilla de control.
- e_g = el voltaje de rejilla total instantáneo.

Note que las letras mayúsculas se usan para indicar valores de fuente o normales y las letras minúsculas para indicar valores instantáneos.

FAMILIAS DE CURVAS

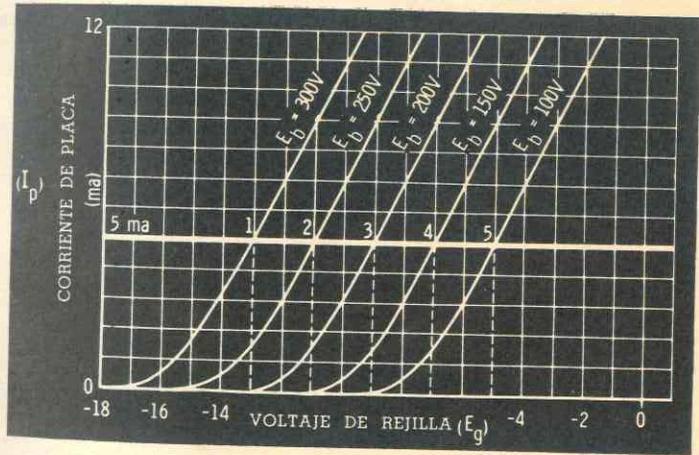
Cuando estudiamos las características del diodo, solamente fue necesario el trazar una curva para describir completamente el comportamiento del tubo. Sin embargo, al añadir una rejilla se debe agregar otra variable para cubrir las condiciones de funcionamiento. Al trazar la curva de voltaje de la rejilla contra corriente de placa, se debe mantener constante de los voltajes del tubo o el resultado carecerá de sentido. Al trazar

una curva de voltaje de rejilla contra la corriente de placa, el voltaje de la placa se mantuvo constante en 250 voltios. Trace de nuevo la curva con unos voltajes de placa de 200 y 300 voltios. Estas curvas forman una familia de curvas para describir el funcionamiento del triodo en forma casi tan completa como una sola curva describe el funcionamiento del triodo. Para mejorar la información que dan estas curvas, añada otras curvas adicionales para los otros voltajes de placas. Este grupo de curvas se llama familia de curvas características de rejilla.

Familia de curvas de rejilla

La figura inferior muestra una familia de curvas características de rejilla. Tres de estas curvas se determinaron previamente: las pertenecientes a E_b son iguales a 300, 250, y 200 voltios. Note los puntos en que la corriente de la placa es cero. El voltaje de rejilla que es lo suficientemente negativo para interrumpir el flujo de corriente de placa se denomina voltaje de corte. Note que mientras mayor sea el valor de E_b , más negativo será el valor del voltaje de corte.

FAMILIA DE CURVAS CARACTERISTICAS DE REJILLA



- P11. Un grupo de curvas que describe el funcionamiento de un tubo se llama una serie de curvas.....
- P12. Las letras T..... se usan para indicar valores de fuentes o promedios; las letras..... se usan para indicar valores instantáneos.
- P13. El voltaje de..... se mantiene constante para cada curva en una familia de curvas características de rejilla.

Sus respuestas deben ser:

- R11. Un grupo de curvas que describe el funcionamiento de un tubo se llama una **familia** de curvas **características**.
- R12. Las letras **mayúsculas** se usan para indicar valores de fuentes o promedios; las letras **minúsculas** se usan para indicar valores instantáneos.
- R13. El voltaje de **placa** se mantiene constante para cada curva en una familia de curvas características de rejilla.

Interpretación de las curvas

Suponga que R_p se calculó para los puntos que se muestran en la figura en la página anterior. Cuando e_p es igual a 300 voltios, R_p es igual a 60K. Estos resultados parecen mostrar que a medida que disminuye el voltaje de la placa, R_p también disminuye. ¿Por qué se llegó a esta conclusión incorrecta? El voltaje de placa se cambió al mismo tiempo que el voltaje de rejilla. Sin embargo, note que la corriente de placa permanece igual. Ya pronto notará que aunque este método de obtener información no es una información correcta sobre cómo varía la R_p de un tubo con el voltaje de placa, ofrece una información muy útil. Esta información es una de las tres medidas de la utilidad de un tubo que se conocen con el nombre de **parámetros de un tubo**.

PARAMETROS DE UN TUBO

Al referirse a los tubos de vacío, el término parámetro se define como una **medida**. Es generalmente una combinación de más de una medida (generalmente una relación). El parámetro generalmente es bastante constante para el objeto que describe.

Supongamos que usted desea describir una barra de acero. Puede decir que es de 6 pies de largo, pero esto puede cambiar (puede recortarse la barra). Su peso puede ser de 30 libras; pero esto también variará si se cortan las barras. El largo y el peso no son parámetros porque no permanecen constantes. ¿Qué tal la densidad del acero (su peso por pie cuadrado)? La densidad no cambia a medida que cambian las dimensiones del acero. Por lo tanto, la densidad es un parámetro del acero.

Suponga que le dijeron que dos carros hicieron un viaje de 80 millas. Es fácil ver que la naturaleza de estos viajes es completamente diferente.

El primero hizo uno de estos en una hora y el otro en seis días. En forma igual, ¿qué tal si se dice que dos carros viajaron por cuatro horas? ¿Qué es lo que esto significa? Nada, hasta que se especifica que un carro viajó 80 millas y el otro 320. La mejor forma de comparar las velocidades de ambos carros es la de especificar sus velocidades en millas por hora (esto es un parámetro).

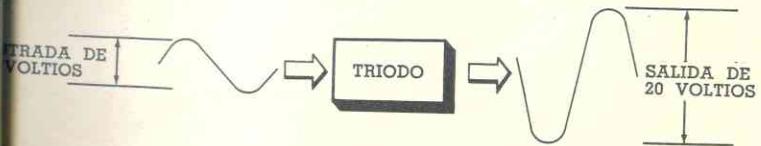
La R_p no es un parámetro porque cambia a medida que cambian los voltajes de placa y de rejilla. Los parámetros usados para describir los tubos de vacío se llaman generalmente **constantes de tubos**. Son: **factor de amplificación**, **resistencia CA de la placa**, y **transconductancia**.

Factor de amplificación

El **factor de amplificación** es un parámetro de tubo que indica la **amplificación máxima** de la que es capaz el tubo (en un circuito nunca se alcanza este máximo). El símbolo del factor de amplificación es la letra griega μ (o μ).

Ya sabe que el triodo es un amplificador. ¿Pero hasta qué punto puede amplificar una señal que se le aplica? La **amplificación** es la relación entre la **amplitud de la señal de salida** y la **amplitud de la señal de entrada**.

AMPLIFICACION



$$\text{AMPLIFICACION} = \frac{\text{SALIDA}}{\text{ENTRADA}} = \frac{20 \text{ VOLTIOS}}{4 \text{ VOLTIOS}} = 5$$

En la figura superior, es de 20 voltios dividido entre 4 voltios, o sea, 5 voltios.

- P14. El símbolo del factor de amplificación es.....
- P15. La relación entre el voltaje de..... y el voltaje de..... en un triodo se llama **amplificación**.

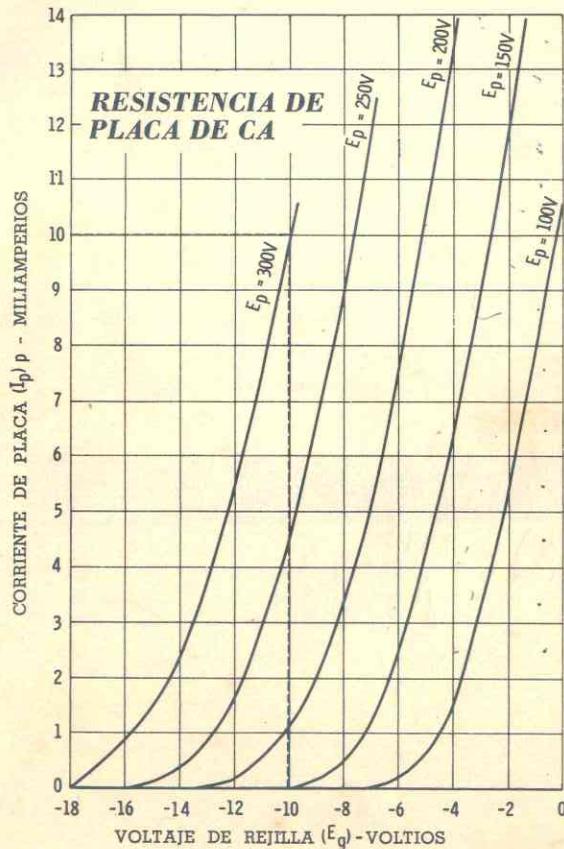
Sus respuestas deben ser:

R14. El símbolo del factor de amplificación es μ .

R15. La relación entre el voltaje de salida y el de entrada en un triodo se llama amplificación.

Cálculo del factor de amplificación

Imagine que diseñó un nuevo triodo. Para comprobar sus características, reúna una familia de curvas de rejilla como la que se ilustra en la página 53. Regresemos a la errónea conclusión sobre la relación que existe entre el voltaje de placa y la resistencia CC de la placa: seleccione los puntos 1 y 2 en el gráfico. Al ir del punto 1 al 2, el voltaje de placa disminuye



0 voltios. Pero la corriente de placa permanece igual (5 ma). Imagine este paso a paso. Reduzca el voltaje de la placa (50 voltios) y produzca una disminución en la corriente de placa. Ahora alce de nuevo la corriente de la placa a su valor original (5 ma en este ejemplo) haciendo menos negativo el voltaje de rejilla (de -13 a -11 voltios). Es necesario un cambio de 50 voltios del voltaje de placa para cambiar la corriente de placa en una cierta cantidad, pero es necesario un cambio de solamente 2 voltios en el voltaje de rejilla para hacer que la corriente de placa retorne a normal. La relación de estos dos cambios de voltaje es el factor de amplificación del triodo. En este caso:

$$\mu = \frac{\text{cambio en el voltaje de placa}}{\text{cambio en el voltaje de rejilla}} = \frac{50 \text{ V}}{2 \text{ V}} = 25$$

Resistencia CA de la placa

Ya ha visto como la resistencia CC de la placa varía en un triodo. La resistencia que un triodo le ofrece a un voltaje variable, como una onda sinusoidal, se llama *resistencia CA de placa*, r_p . A diferencia de R_p , r_p permanece bastante constante para un triodo en particular; es un parámetro.

En la figura de la página opuesta, la línea para un voltaje de rejilla de -10 voltios intersecta la curva de $e_p = 300$ voltios a una corriente de placa de 10 ma. También intersecta la curva de $e_p = 250$ voltios a una corriente de placa de 4.6 ma. Para simplificar lo que sigue, introduciremos un nuevo símbolo: la letra griega delta, Δ . Este símbolo significa "un cambio en" o la "diferencia entre" dos valores sucesivos de algo. Por ejemplo, el cambio de e_p de 300 voltios a 250 voltios se puede escribir como $\Delta e_p = 50$ voltios. La resistencia CA de placa es la relación entre Δe_p y su cambio correspondiente en corriente de placa (Δi_p) cuando se mantiene constante el voltaje de rejilla. En este caso:

Delta

$$r_p = \frac{\Delta e_p}{\Delta i_p} = \frac{300 - 250 \text{ voltios}}{10 - 4.6 \text{ ma}} = \frac{50 \text{ voltios}}{5.4 \text{ ma}} = 9,280 \text{ ohmios}$$

Use la figura en la página opuesta para calcular r_p a -6 voltios y a -8 voltios. Trabaje directamente en la figura.

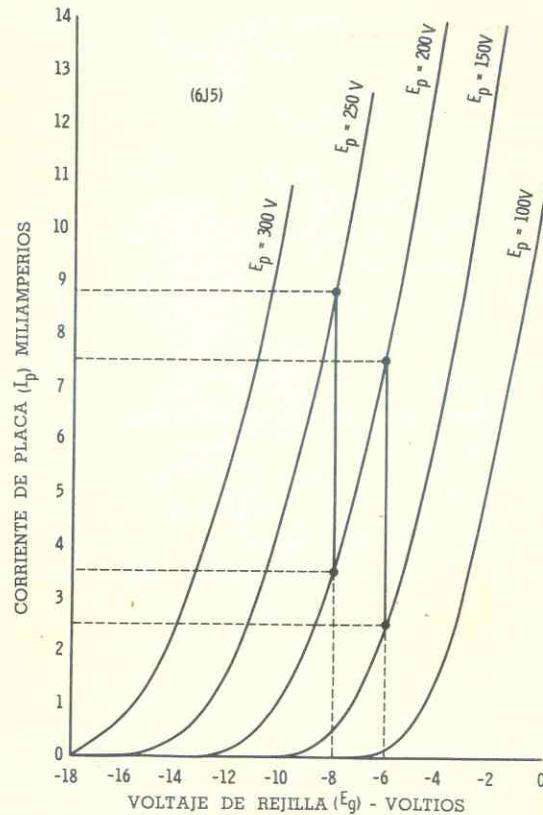
P16. Para $e_g = -6$ voltios, $r_p = \dots$ ohmios.

P17. Para $e_g = -8$ voltios, $r_p = \dots$ ohmios.

Sus respuestas deben ser:

$$R16. r_p = \frac{200 - 150 \text{ voltios}}{7.5 - 2.5 \text{ ma}} = \frac{50 \text{ voltios}}{5 \text{ ma}} = 10,000 \text{ ohmios}$$

$$R17. r_p = \frac{250 - 200 \text{ voltios}}{9.5 - 3.5 \text{ ma}} = \frac{50 \text{ voltios}}{5.5 \text{ ma}} = 9,090 \text{ ohmios}$$



Note que estos valores (9,280, 10,000, y 9,090 ohmios) son bastante aproximados. Cuando se compara con los cambios de R_p (de miles de ohmios a cientos de miles de ohmios), la resistencia de placa (r_p) se puede considerar casi una constante para un triodo en particular.

Porción lineal de la curva

Al considerar r_p como una constante, los puntos que se usan para calcular este parámetro deben seleccionarse con cuidado. Por ejemplo, suponga que el punto de -8 voltios se selecciona de nuevo, pero esta vez las curvas del voltaje de placa que se usan son las de 200 y 150 voltios. El resultado será:

$$r_p = \frac{200 - 150 \text{ voltios}}{3.5 - 0.5 \text{ ma}} = \frac{50 \text{ voltios}}{3 \text{ ma}} = 16,700 \text{ ohmios}$$

¿Qué es lo que hace este valor tan diferente de los demás? Esto se debe a la selección del punto en la curva de 150 voltios. ¿Cuál es la diferencia aquí existente? Refiérase a la curva en la página opuesta. Note que empieza como una curva suave pero se endereza rápidamente. Coloque una regla contra ella y note como esta porción de la curva es prácticamente una línea recta. Esta porción de línea recta se llama la porción lineal de la curva. Cuando se seleccionan los puntos en dicha porción, el resultado es una r_p bastante constante. Aquellos que se seleccionan en la porción curvada se traducen en valores muy diferentes de r_p (vea la página interior). Esta porción lineal de la curva juega un papel importante en la prevención de la distorsión de las señales.

Los tubos son como las carreteras

Resultará útil considerar los tubos de vacío como si fueran carreteras en las que los electrones son los carros. Los electrones tratan de ir del cátodo a la placa, tal como los carros tratan de alcanzar su destino. Una carretera tiene también una propiedad que se puede comparar con la resistencia. ¿Cuál le ofrece una resistencia mayor a los carros, una carretera de tierra o una pavimentada? Piense en otros factores que afectan a la "resistencia" de una carretera (curvas, lomas, intersecciones, etc.).

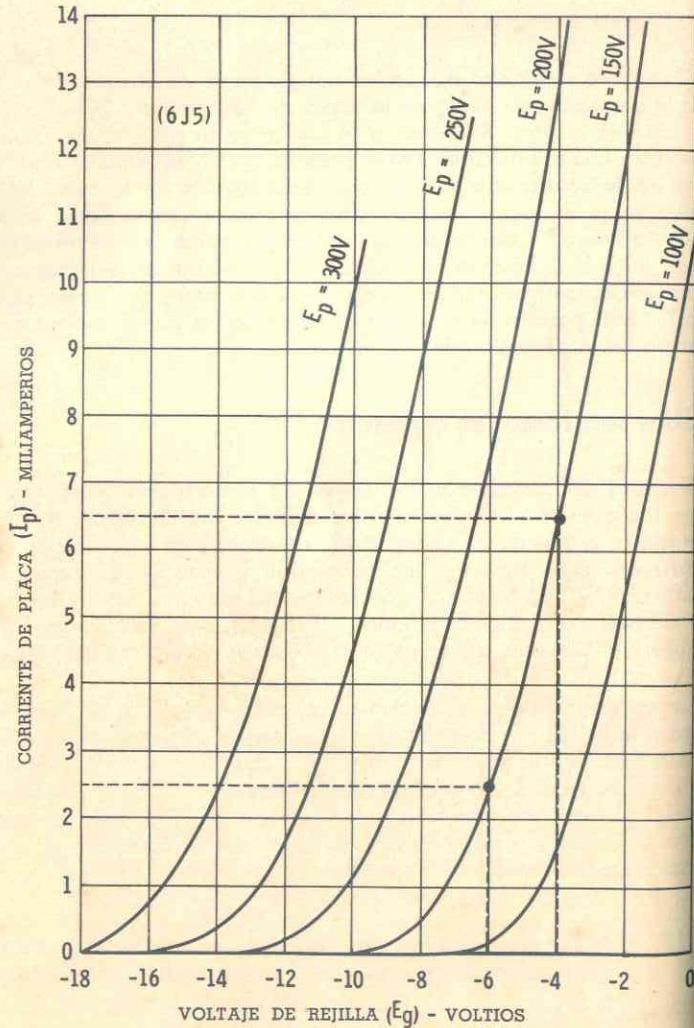
Muchos tipos de señales le dan al conductor una idea de la resistencia de la carretera. El resultado es que le advierten que cambie la velocidad. Pero con qué lentitud debe ir? Hay avisos que le indican la "resistencia" exacta de la carretera. Mucha resistencia requiere una baja velocidad; una resistencia pequeña permite una velocidad mayor. En otras palabras, la señal del límite de velocidad le dice al conductor la cantidad de oposición que ofrece la carretera.

P18. El valor de r_p (es, no es) bastante constante cuando se calcula a partir de puntos en la porción lineal de la curva.

Su respuesta debe ser:

R18. El valor de r_p es bastante constante cuando se calcula a partir de puntos en la porción lineal de la curva.

TRANSCONDUCTANCIA



Transconductancia

El límite de velocidad se basa en una velocidad segura de viaje que se estima para una carretera determinada. En este sentido, es un parámetro. Note lo siguiente; en lugar de aumentar el número a medida que aumenta la resistencia, el número que expresa la "resistencia" de una carretera disminuye a medida que aumenta la "resistencia" de la carretera.

Hay una constante de los tubos que describe un tubo en forma muy parecida a la del límite de velocidad cuando describe una carretera. Esta constante se llama *transconductancia*. La transconductancia es una medida del efecto que ejercen los cambios en el voltaje de rejilla sobre la corriente de placa. El símbolo de la transconductancia es g_m .

Se puede hallar el g_m de la familia de curvas de rejilla en la forma siguiente. Inspeccione la curva del voltaje de placa de 150 voltios. Apunte la corriente en los voltajes de rejilla de -6 y -4 voltios. Para hallar g_m divide el cambio en la corriente de placa entre el cambio en el voltaje de rejilla.

$$g_m = \frac{\Delta i_p}{\Delta e_p} = \frac{6.5 - 2.5 \text{ ma}}{(-4) - (-6) \text{ voltios}} = \frac{4 \text{ ma}}{2 \text{ voltios}} = 2$$

El resultado se expresa en miliamperios sobre voltios. Voltios sobre miliamperios se traducen en una resistencia de miles de ohmios (kilohmios). El inverso del ohmio se llama *mho*. Como la mayoría de las corrientes en los tubos de vacío están en el rango de milésimas de amperio (miliamperio), las unidades de transconductancia están usualmente en el rango de millonésimas de mho (micromho) o milésimas de mho (milimhos). El micromho se escribe generalmente μmho . Volviendo a la respuesta del cálculo anterior, esta debe ser 2 milimhos, o 2,000 μmhos . La transconductancia se mide generalmente en microhmos.

P19. La transconductancia a $e_p = 200$ voltios es..... (use el gráfico en la página opuesta).

P20. La transconductancia a $e_p = 300$ voltios es.....

P21. Escriba las ecuaciones para cada una de las tres constantes de tubos.

P22. La transconductancia se mide generalmente en unidades que se llaman.....

Sus respuestas deben ser:

R19. A $e_p = 200$ voltios:

$$g_m = \frac{\Delta i_p}{\Delta e_g} = \frac{7.5 - 3.4 \text{ ma}}{(-6) - (-8) \text{ voltios}} = \frac{4.1 \text{ ma}}{2 \text{ voltios}} = 2,050 \mu\text{mhos}$$

R20. A $e_p = 300$ voltios:

$$g_m = \frac{\Delta i_p}{\Delta e_g} = \frac{10 - 5.5 \text{ ma}}{(-10) - (-12) \text{ voltios}} = \frac{4.5 \text{ ma}}{2 \text{ voltios}} = 2,250 \mu\text{mhos}$$

R21. $\mu = \frac{\Delta e_p}{\Delta e_g}$ (constante de i_p)

$$r_p = \frac{\Delta e_p}{\Delta i_p} \text{ (constante de } e_g)$$

$$g_m = \frac{\Delta i_p}{\Delta e_g} \text{ (constante de } e_p)$$

R22. La transconductancia se mide generalmente en unidades que se llaman **micromhos**.

La importancia de la transconductancia

La transconductancia es el parámetro que más se usa para describir características de los tubos de vacío. Por ejemplo, un tubo con una transductancia de $2,000 \mu\text{mhos}$ dará una amplificación mayor (con el mismo taje de placa) que un tubo con una transconductancia de $1,500 \mu\text{mhos}$. ve en las respuestas R19 y R20 que el g_m para un triodo en particular manece bastante constante en la familia de curvas de rejilla, excepto las porciones no lineales.

Relación entre las constantes de tubos

Todos los parámetros (μ , g_m , y r_p) se obtienen de la misma familia de curvas. Tal parece que debe existir una relación entre los parámetros. La relación es:

$$\mu = g_m \times r_p = \frac{\text{ma}}{\text{voltios}} \times \frac{\text{voltios}}{\text{ma}}$$

Note como los voltios y los miliamperios se eliminan entre sí. Como resultado, el factor de amplificación no tiene unidad.

Para mostrar esta relación, tome los valores de r_p que hay alrededor de las curvas de 150 y 200 voltios ($10,000 \text{ ohmios}$) y el g_m que hay en la curva de 150 voltios ($2,000 \mu\text{mhos}$). Estos valores de la transconductancia y la resistencia CA de placa se pueden substituir en la ecuación, y calcúlese el valor del factor de amplificación.

$$\mu = 10,000 \text{ ohmios} \times 2,000 \mu\text{mhos} = 20$$

Note como los ohmios eliminan los mhos. Este es el mismo valor que se calculó para el μ del tubo.

Las ecuaciones de μ , g_m , y r_p se pueden usar para comprobar la ecuación de la relación de los parámetros. Empiece con la ecuación de μ :

$$\mu = \frac{\Delta e_p}{\Delta e_g} \quad (1)$$

Reemplace la ecuación $r_p = \frac{\Delta e_p}{\Delta i_p}$, y halle Δe_p :

$$e_p = \Delta i_p r_p \quad (2)$$

Reemplace la ecuación $g_m = \frac{\Delta i_p}{\Delta e_g}$, y halle Δe_g :

$$e_g = \frac{\Delta i_p}{g_m} \quad (3)$$

Substituyendo las ecuaciones (2) y (3) en (1).

$$\mu = \frac{\Delta e_p}{\Delta e_g} = \frac{\Delta i_p r_p}{\frac{\Delta i_p}{g_m}} = g_m r_p$$

MANUALES DE TUBOS

Hasta ahora se le dio la información de como los tubos se comportan en diferentes condiciones. También vio como se produce esta información experimentalmente. Sin embargo, ¿dónde se puede obtener esta información sobre un tubo en particular? Casi todos los fabricantes de los tubos de vacío publican manuales que contienen información sobre los tubos.

P23. $r_p = 7.5K$; $\mu = 15$; $g_m = ?$

P24. $\mu = 45$; $g_m = 9 \text{ milimhos}$; $r_p = ?$

Sus respuestas deben ser:

$$\text{R23. } g_m = \frac{\mu}{r_p} = \frac{15}{7,500 \text{ ohmios}} = 2,000 \mu\text{mhos.}$$

$$\text{R24. } r_p = \frac{\mu}{g_m} = \frac{45}{0.0009 \text{ mho}} = 5,000 \text{ ohmios.}$$

Contenido general de un manual de tubos

La mayoría de los fabricantes de tubos publican un manual nuevo cada año, pero algunos publican solamente un manual cada tres o cuatro años y lo mantienen al día enviando hojas informativas a los suscriptores. Este manual que publica cualquiera de las principales compañías fabricantes de tubos contiene las siguientes secciones.

ELECTRONES, ELECTRODOS, Y TUBOS ELECTRONICOS. Esta sección contiene la teoría básica de los tubos de vacío, desde el electrón al tubo de rayos catódicos. Esta es una versión muy condensada y se usa más como recordatorio que como libro de texto.

CARACTERISTICAS DE LOS TUBOS ELECTRONICOS. Esta sección tiene un breve resumen de las características de los tubos, parámetros, curvas ya estudiadas en este capítulo.

APLICACIONES DE LOS TUBOS ELECTRONICOS. En esta sección encontrará breves descripciones de muchas de las aplicaciones de los tubos de vacío. En este manual, se dividen en las nueve categorías siguientes: amplificación, rectificación, detección, control automático de ganancia, volumen, indicación de sintonización con tubos de rayos electrónicos, oscilación, circuitos de deflexión, conversión de frecuencia, y control automático de frecuencia.

INSTALACION DE LOS TUBOS ELECTRONICOS. Bajo este encabezamiento, hallará varias sugerencias y precauciones que se deben seguir cuando se instalan tubos electrónicos.

INTERPRETACION DE INFORMACION SOBRE LOS TUBOS. Esta sección contiene la información necesaria para interpretar la información que proporciona la sección de Tipos de Tubos en el manual de tubos.

TABLA DE CLASIFICACION DE LOS TUBOS RECEPTORES. Esta sección proporciona una tabla que resume todos los tubos en el manual. Ella agrupa de acuerdo con los tipos de tubos y sus características, así como su configuración física.

TIPOS DE TUBOS: INFORMACION TECNICA. Esta sección comprende la mayoría del manual. Menciona todos los tubos en orden alfa-numérico.

El primer grupo en el código de identificación generalmente es numérico y puede contener hasta tres dígitos. Este grupo indica generalmente el voltaje necesario para el funcionamiento del tubo. Por ejemplo, un 1A3 usa un voltaje para el calentador de 1.4 voltios, un 5U4 usa un voltaje para el calentador de 5.0 voltios, y un tubo de 117Z3 usa un voltaje de 117 voltios para su calentador. (Para tubos de pantalla, los dígitos al principio no dan el voltaje del calentador.) Esta sección del manual se estudiará más adelante con mayor amplitud.

TABLA DE CARACTERISTICAS DE LOS TUBOS DE PANTALLA. Esta tabla resume las características físicas y eléctricas de los tubos de pantalla en forma muy parecida a la tabla de clasificación de los tubos receptores.

COMPROBACION DE LOS TUBOS ELECTRONICOS. Esta sección da información y circuitos que describen e ilustran consideraciones prácticas sobre la comprobación de los tubos.

AMPLIFICADORES DE ACOPLAMIENTO DE RESISTENCIA. Esta sección describe el uso de los amplificadores de acoplamiento de resistencia y proporciona tablas que muestran el voltaje y los componentes necesarios para hacer funcionar más de 50 tipos diferentes de tubos como si fueran amplificadores de acoplamiento de resistencia.

CIRCUITOS. Aquí encontrará un número de circuitos representativos completos con los valores de sus componentes. Algunos de los circuitos que se incluyen son AM, FM, y receptores de autos, amplificadores de micrófonos y de fonógrafos; un oscilador de práctica de códigos; y un voltí-amperímetro.

BOSQUEJO. Esta sección da las dimensiones físicas de cada tubo en el manual. Hay pocas páginas debido a que muchos de los tubos tienen la misma construcción física externa.

INDICE. El índice de este manual está en forma alfabética corriente, sea, igual a la usada en la mayoría de las publicaciones.

P25. Los primeros dígitos en un número que indica el tipo de tubo generalmente representan el..... del tubo.

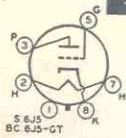
P26. Los manuales de tubos colocan generalmente los tubos en orden..... en la sección de información técnica.

P27. (Algunos, casi todos) los fabricantes de tubos publican manuales dando información sobre los tubos que fabrican.

Sus respuestas deben ser:

- R25. Los primeros dígitos en un número que indica el tipo de tubo, generalmente representan el voltaje del calentador del tubo.
- R26. Los manuales de tubos colocan generalmente los tubos en orden alfanumérico en la sección de información técnica.
- R27. Casi todos los fabricantes de tubos publican manuales dando información sobre los tubos que fabrican.

Page From a Typical Tube Manual



MEDIUM-MU TRIODE

6J5
6J5GT
Related type:
12J5GT

Metal type 6J5 and glass octal type 6J5-GT used as detectors, amplifiers, or oscillators in radio equipment. These types feature high transconductance together with comparatively high amplification factor. Outlines 2 and 14C, respectively, OUTLINES SECTION. Tubes require octal socket and may be mounted in any position. For typical operation as resistance-coupled amplifiers, refer to RESISTANCE-COUPLED AMPLIFIER SECTION. Type 6J5-GT is used principally for renewal purposes.

HEATER VOLTAGE (AC/DC).....	6.3	volts
HEATER CURRENT.....	0.3	ampere
DIRECT INTERELECTRODE CAPACITANCES (Approx):	6J5*	6J5-GT**
Grid to Plate.....	3.4	38
Grid to Cathode and Heater.....	3.4	4.2
Plate to Cathode and Heater.....	3.6	5.0

* Shell connected to cathode. ** Base sleeve and external shield connected to cathode.

CLASS A₁ AMPLIFIER

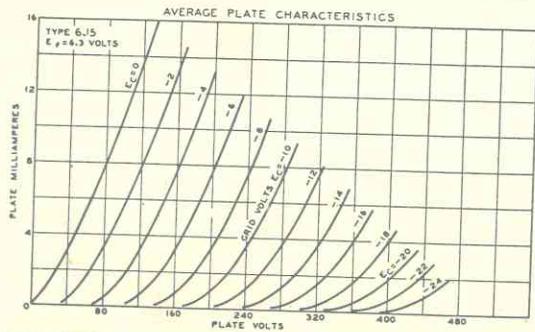
Maximum Ratings, (Design-Center Values):

PLATE VOLTAGE.....	300 max	volts
GRID VOLTAGE, Positive-bias value.....	0 max	volts
PLATE DISSIPATION.....	2.5 max	watts
CATHODE CURRENT.....	20 max	ma
PEAK HEATER-CATHODE VOLTAGE:		
Heater positive with respect to cathode.....	90 max	volts
Heater negative with respect to cathode.....	90 max	volts

Characteristic:

Plate Voltage.....	90	250	volts
Grid Voltage.....	0	-8	volts
Amplification Factor.....	20	20	
Plate Resistance (Approx.).....	6700	7700	ohms
Transconductance.....	3000	2600	μmhos
Grid Voltage (Approx.) for plate current of 10 μa.....	-7	-15	volts
Plate Current.....	10	9	ma

Maximum Circuit Value:
Grid-Circuit Resistance..... 1.0 max megohm



Formación técnica

Una página típica de información técnica se ilustra a la izquierda. Esta formación es para el tipo 6J5 de tubo de vacío, el tipo que se usa para los ejemplos concernientes a las características de los tubos y parámetros. En el lado derecho de la hoja informativa hay un diagrama que muestra como se conecta cada uno de los elementos a las espigas del tubo. Estas conexiones (espigas), se numeran en la dirección de las manecillas del reloj cuando se mira desde la parte superior del tubo. Además, hay letras cerca de estas espigas que identifican los elementos a los cuales se conectan. Estas letras se identifican en el diagrama inferior.

CLAVE DE LOS DIAGRAMAS DE LAS CONEXIONES DE ENCHUFE

= Tubo del tipo de gas.	Vistos por el Fondo	IS = Blindaje interno.
BC = Manga de la base.	F _m = Derivación central del filamento.	K = Cátodo.
BS = Envoltura de la base.	G = Rejilla.	NC = Sin conexión.
C = Capa conductora externa.	H = Calentador.	P = Placa o ánodo.
CL = Colector.	H _L = Derivación del calentador para la lámpara de panel.	RC = Electrodo controlador del rayo.
DJ = Electrodo de desviación.	H _m = Derivación central del calentador.	S = Envoltura.
ES = Blindaje externo.	IC = Conexión interna	TA = Objetivo.
F = Filamento.	No la utilice.	Cortesía de la RCA.

Los subíndices alfabéticos B, D, HP, HX, P y T indican respectivamente, unidad del haz, unidad del diodo, unidad del heptodo, unidad del hexodo, unidad del pentodo y unidad del triodo en los tipos de unidades múltiples.

En la parte superior de la página de muestra hay un corto párrafo que describe las propiedades importantes y los usos que se recomiendan para los tubos. También se hace referencia a otras partes del manual donde se pueden hallar referencias adicionales sobre este tubo. Debajo de este párrafo se encuentran en forma tabular otras características importantes del tubo. Use la hoja de muestra para obtener la siguiente información:

- P28. El factor de amplificación de 6J5 es.....
- P29. El 6J5 se puede usar como.....,, o
- P30. Con un voltaje de placa de 90 y un voltaje de rejilla de 0, el g_m es.....
- P31. Con un voltaje de rejilla de -8 y un voltaje de placa de 250, el r_p es.....

Sus respuestas deben ser:

- R28. El factor de amplificación de 6J5 es 20.
- R29. El factor 6J5 se puede usar como **detector, amplificador, u oscilador.**
- R30. Con un voltaje de placa de 90 y un voltaje de rejilla de 0, el g_m es **3,000 μ mhos.**
- R31. Con un voltaje de rejilla de -8 y un voltaje de placa de 250, el r_p es de **7,700 ohmios.**

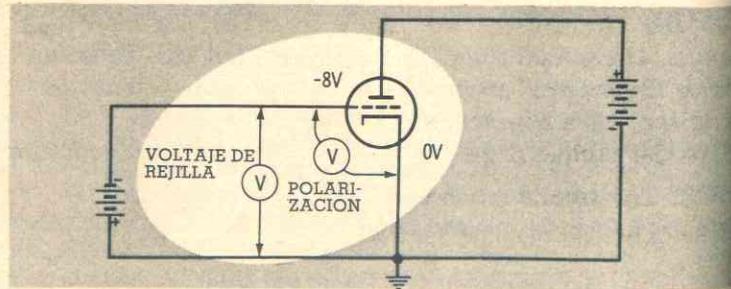
Curvas características

Al final de la página de muestra hay una familia de curvas. Esta es una familia de curvas de rejilla como las que ha estado usando hasta ahora. La familia de curvas de rejilla (también conocidas como *curvas de transferencia de características*) se obtuvo al variar e_g mientras se observaba i_p con varios valores fijos de e_p . La curva en el manual de tubos llama *curva de características de placa*, (que también se conoce como *familia de curvas de placa*) y se obtiene al observar i_p mientras se varía e_p , manteniendo constante e_g .

POLARIZACION

La polarización de la rejilla es la diferencia en potencial CC entre rejilla y el cátodo. La polarización determina el punto de funcionamiento del tubo. Considere el tubo ilustrado en la figura siguiente.

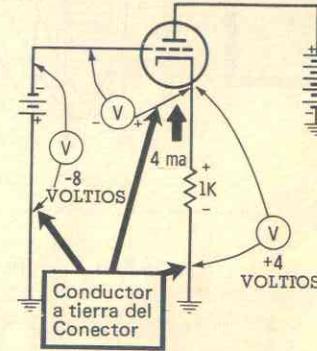
VOLTAJE Y POLARIZACION DE REJILLA



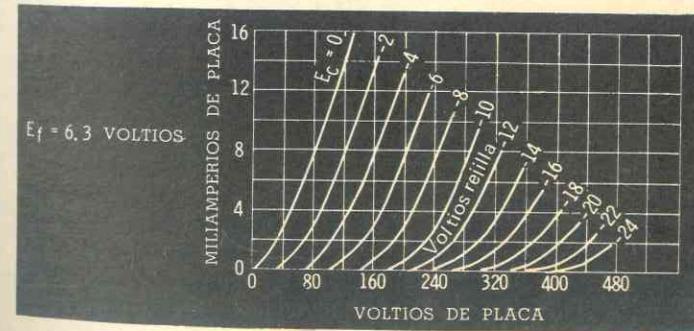
La polarización en el tubo superior es igual a la diferencia entre el voltaje de rejilla (-8 voltios en la figura) y el voltaje del cátodo (0 voltios en la figura). Por lo tanto la polarización en este caso es igual a -8 voltios.

Una forma de medir la polarización en un tubo es la de medir el voltaje en la rejilla y en el cátodo (siempre con respecto al mismo punto común, o tierra). Sume estos voltajes como si fuera a ir de la rejilla al cátodo y observe la polaridad de los voltajes. Por ejemplo, en la figura medirá 8 voltios de la rejilla a tierra. El voltaje del cátodo medirá $+4$ voltios (como $X 1K$). Sin embargo, al ir de la rejilla al cátodo deberá pasar por una batería de negativo a positivo y entonces por el resistor del cátodo de negativo a positivo. Así, pasará por un total de -12 voltios de polarización.

MEDICION DEL VOLTAJE DE POLARIZACION



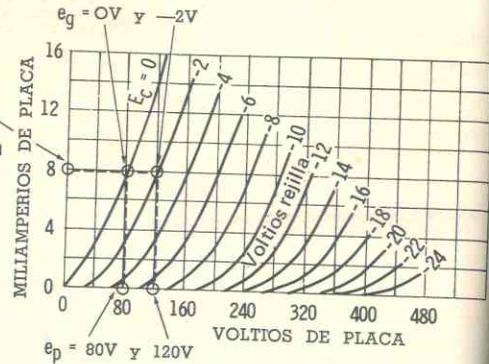
- P32. Use el gráfico inferior para hallar μ con una corriente de placa de 8 ma.
- P33. Use el gráfico para hallar g_m a un E_p de 120 voltios.



- P34. La polarización de la rejilla es la diferencia en el potencial CC entre la..... y el
- P35. El voltaje de polarización es igual al voltaje de la rejilla si el voltaje del..... es cero.

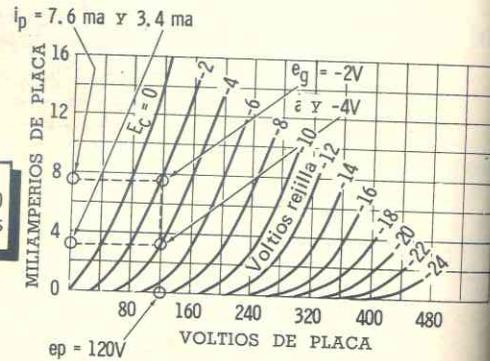
Sus respuestas deben ser:
R32.

$$\mu = \frac{\Delta e_p}{\Delta e_g} = \frac{40V}{2V} = 20$$



R33.

$$g_m = \frac{\Delta i_p}{\Delta e_g} = \frac{4.2 \text{ ma}}{2V} = 2,100 \text{ } \mu\text{mhos}$$



- R34. La polarización de la rejilla es la diferencia en el potencial CC entre la **rejilla** y el **cátodo** (no entre el cátodo y la rejilla).
- R35. El voltaje de polarización es igual al voltaje de la rejilla si el voltaje del **cátodo** es igual a cero.

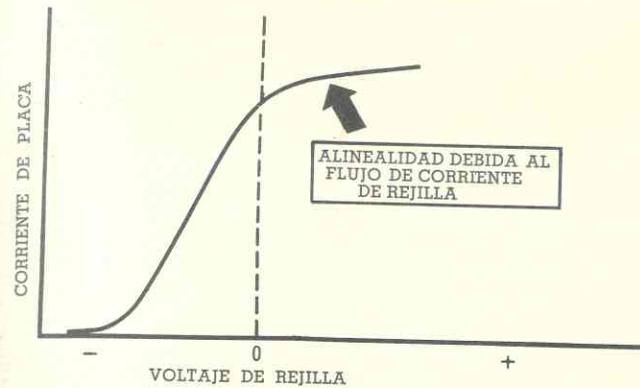
Métodos de polarización

Hay varios métodos de suministrar polarización. El método fundamental es el de aplicar un voltaje CC continuo a la rejilla del tubo. En el capítulo sobre amplificadores de tubos de vacío se discutirán otros métodos.

La polarización determina el punto de funcionamiento del tubo. Es, es, que sin haberse aplicado una señal al tubo fluirá una cierta corriente

placa. Esta corriente es la corriente de placa estática y se controla por medio de la polarización. La polarización es casi siempre negativa. La figura muestra lo que pasa cuando la polarización es positiva.

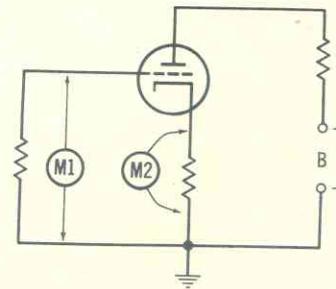
EFFECTO DEL VOLTAJE DE REJILLA POSITIVO



Cuando el voltaje de la rejilla es positivo puede remover electrones de la corriente de éstos. Estos electrones, normalmente, forman parte de la corriente de placa. Así que, al aumentar el voltaje de la rejilla en la región positiva se aumentará el número de electrones que se toman de la carga espacial y también se absorberán más y más electrones de la corriente de placa. Esto resultará en una desalineación en el tope de la curva e_g-i_p , como se muestra en la figura superior. Esto es tan malo como la desalineación en la parte inferior de la curva.

- P36. La polarización determina el..... del tubo.
- P37. Cuando los contadores miden los voltajes abajo ilustrados, ¿cuál será la polarización?

M1	M2	BIAS
0	+6	
-3	+3	
-6	0	



Sus respuestas deben ser:

R36. La polarización determina el punto de funcionamiento del tubo.

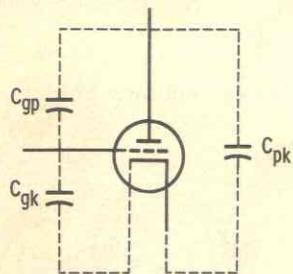
R37. Sus respuestas deben haber sido: —6 voltios. En cada caso, al mirar de la rejilla hacia el cátodo, está mirando 6 voltios de potencial. Por esta razón, la rejilla debe ser 6 voltios negativos con respecto al cátodo.

TUBOS MULTIRREJILLA (O DE REJILLAS MÚLTIPLES)

A medida que la electrónica avanzaba y se hacía más complejo el diseño de los tubos electrónicos también progresó. Muchos de estos progresos requirieron la necesidad de nuevos tipos de diodos y triodos. Esto ha hecho necesario el añadir otros elementos al triodo.

La retroalimentación en el triodo

Los elementos del triodo actúan como condensadores. Este efecto se llama *capacitancia electrónica*. Las capacitancias son muy pequeñas, pero a altas frecuencias se vuelven muy molestas. Esto es especialmente cierto de la capacitancia entre la rejilla y la placa (C_{gp}).

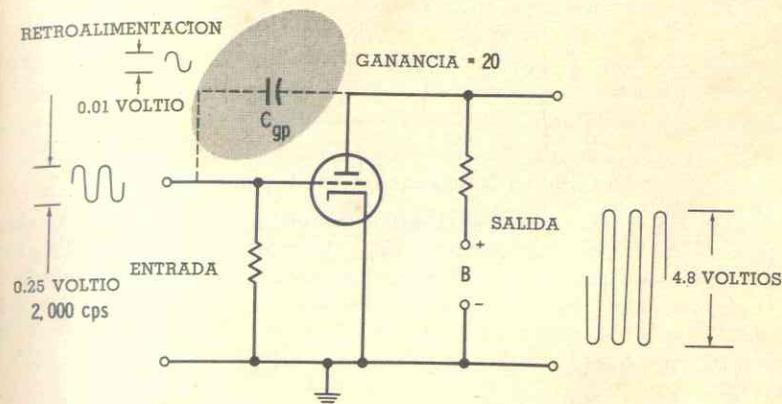


CAPACITANCIAS INTERELECTRODAS DEL TRIODO

En el circuito que aparece en la página siguiente, parte de la señal de salida de la placa del triodo regresa (se retro-alimenta) al circuito de entrada de la rejilla a través de C_{gp} . La naturaleza de este voltaje de retroalimentación es tal que tiende a reducir la señal de salida en la rejilla (se llama *retro-alimentación negativa*). Las razones de esta retroalimentación negativa se demuestran en el capítulo sobre amplificadores de tubo en vacío. Por ahora es suficiente el decir que a medida que la señal va de la rejilla a la placa, sufre un cambio de 180° en su fase. Así, la señal

retro-alimenta de la placa será negativa cuando la señal de la rejilla es positiva. El efecto de esto es el de disminuir la señal en la rejilla.

Efectos de la Capacitancia de la Placa de Rejilla



Arriba se ilustra un típico circuito amplificador de triodo. Más adelante aprenderá exactamente como funciona, pero por ahora observe lo siguiente: la señal de entrada (0.25 voltios de cresta a cresta) se aplica a la rejilla. Ya que la ganancia del amplificador es 20, la señal se debe multiplicar por esa cantidad (0.25×20), resultando en una salida de 5.0 voltios en la placa. Sin embargo, a una frecuencia de 2,000 cps la reactancia capacitativa de C_{gp} es tal que hay un voltaje de retro-alimentación de 0.01 voltio. Debido a que esta es una retro-alimentación negativa, se traduce en una reducción de la señal de entrada ($0.25 - 0.01 = 0.24$). Esta señal se multiplica entonces por la amplificación (0.24×20), resultando en un voltaje de salida de 4.8. Entonces la ganancia del amplificador es de 4.8 voltios \div 0.25, o 19.2 en vez de 20. (Naturalmente que al reducir el voltaje de salida también se reduce ligeramente el voltaje de retroalimentación.) Si la frecuencia de la señal de entrada se aumenta a 20,000 cps, ¿aumentará o disminuirá la ganancia del triodo?

- P38. La capacitancia entre los elementos de un tubo se llama
- P39. La capacitancia más molesta en un triodo es la capacitancia.....
- P40. La retroalimentación negativa..... la ganancia de un amplificador.

Sus respuestas deben ser:

R38. La capacitancia entre los elementos de un tubo se llama **capacitancia interelectrónica**.

R39. La capacitancia más molesta en un triodo es la **capacitancia de la rejilla a la placa**.

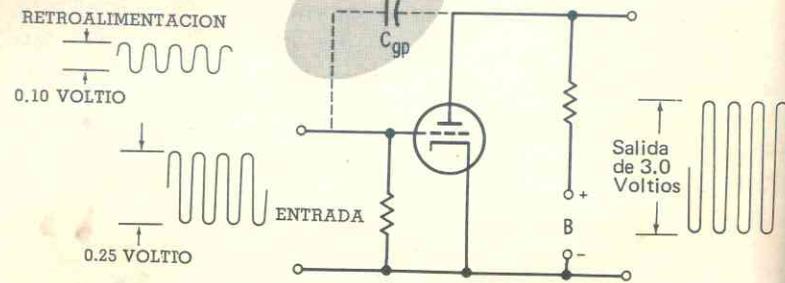
R40. La retroalimentación negativa **reduce** la ganancia de un amplificador.

La retroalimentación a frecuencias más altas

La figura inferior muestra el mismo circuito que antes, pero la señal de entrada es a una frecuencia mayor. Ya que la reactancia capacitiva de C_{gp} disminuye con el cambio en la frecuencia hay un mayor voltaje de retro-alimentación. En este caso es 0.10 voltios. Al restar 0.10 de 0.25 queda una señal de entrada de 0.15 voltios, que al multiplicarlos por 20 da una señal de 3.0 voltios. Por lo tanto, la ganancia es de $3.0 \div 0.25$, sea, 12.

EFFECTOS DE LA PLACA DE REJILLA

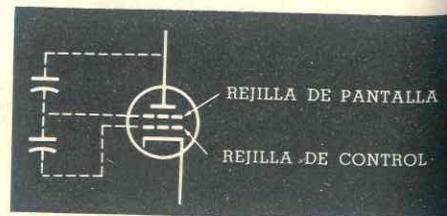
CAPACITANCIA A FRECUENCIAS MAS ALTAS



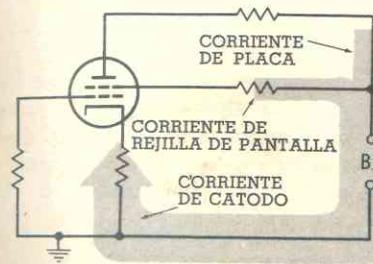
Tetrodos

Para reducir o prevenir la retro-alimentación se debe reducir la capacitancia entre la rejilla y la placa. Para hacer esto se añade otro elemento entre la rejilla y la placa.

CAPACITANCIAS DE REJILLA-PLACA EN UN TETRODO



Este elemento se llama **rejilla de pantalla** y es de construcción similar a la rejilla de control. La rejilla de pantalla introduce dos capacitancias en serie: una capacitancia entre la placa y la rejilla de pantalla y la capacitancia entre la rejilla de pantalla y la rejilla de control. Como resultado, la capacitancia entre la placa y la rejilla de control se reduce considerablemente. La rejilla de control del tetrodo (así llamado por la adición del cuarto elemento) se enrolla con un alambre muy fino. La rejilla de pantalla funciona generalmente con un alto voltaje positivo en ella. Este voltaje nunca es mayor que el existente en la placa.



FLUJO DE CORRIENTE EN UN CIRCUITO DE TETRODO

El voltaje en la rejilla de pantalla ayuda a extraer electrones de la carga espacial. Debido a los alambres delgados y muy separados entre sí, la rejilla de pantalla no absorbe la mayoría de los electrones; estos la atraviesan y van a parar a la placa.

La rejilla de pantalla atraerá algunos electrones, pero su corriente es generalmente menor comparada a la corriente de la placa. El resultado de esta nueva construcción es un tubo con una alta resistencia de placa CA. Un r_p alto significa que los cambios en el voltaje de placa tienen poco efecto en la corriente de placa. Como resultado, el tetrodo tiene un alto μ (de 200 o 300, en lugar de 20 o 50 como en el triodo). Además, la capacitancia interelectrónica es muy baja, y el tubo es más adecuado para aplicaciones de alta frecuencia que un triodo.

- P41. Los efectos de la capacidad de la rejilla a la placa (aumentan, disminuyen) a medida que aumenta la frecuencia.
- P42. Cuando los condensadores se conectan en serie, la capacitancia total es (mayor, menor) que la del condensador más pequeño.
- P43. El elemento que se añade al triodo para hacerlo un tetrodo es el.....

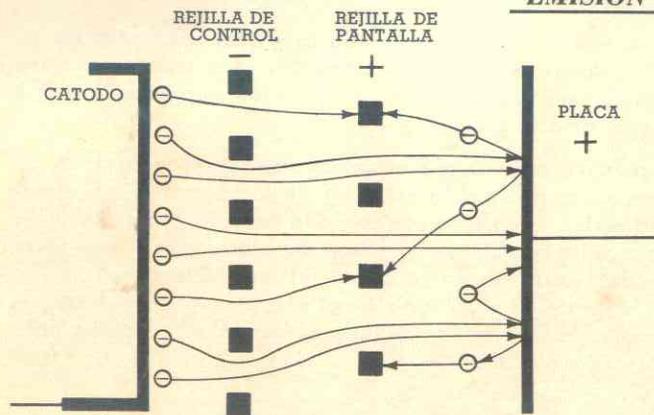
Sus respuestas deben ser:

- R41. Los efectos de la capacitancia de la rejilla a la placa **aumentan** a medida que aumenta la frecuencia.
- R42. Cuando los condensadores se conectan en serie, la capacitancia total es **menor** que la del condensador más pequeño.
- R43. El elemento que se añade al triodo para hacerlo un tetrodo es la **rejilla de pantalla**.

Pentodos

El tetrodo es un tubo de alto mu que puede funcionar a altas frecuencias. Pero este tipo de tubo presenta otro problema: debido a la rejilla extra que funciona a un alto voltaje positivo, la velocidad de los electrones aumenta. Algunos se mueven con tanta rapidez que desplazan a otros cuando chocan con la placa. Esto se llama *emisión secundaria*. La rejilla de pantalla atrae algunos de estos electrones.

EMISION SECUNDARIA

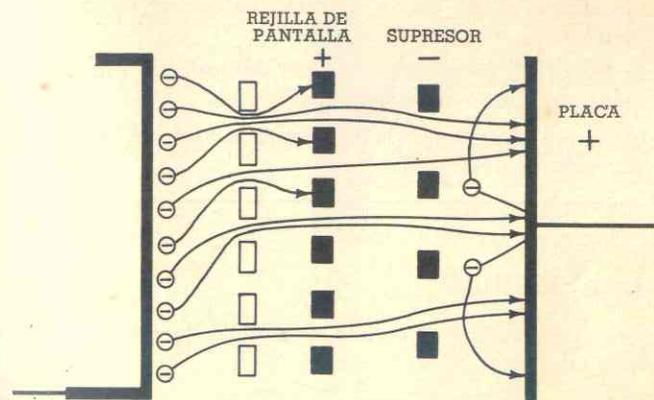


Cuando el voltaje de la rejilla de pantalla es igual o mayor que el voltaje de placa, la cantidad de corriente que atrae la rejilla de pantalla es suficiente para alterar el funcionamiento del tubo. Este problema se solucionó al crear el pentodo.

Para impedir que la rejilla de pantalla absorba demasiada corriente debido a la emisión secundaria, se le añadió otro elemento al tetrodo, que también es en forma de rejilla. Físicamente, este elemento se coloca tam-

bién entre la rejilla de pantalla y la placa; y eléctricamente se conecta al cátodo o a tierra. En relación con la placa este elemento es negativo. Los electrones que abandonan la placa debido a la emisión secundaria son forzados a regresar a ella por este elemento negativo. Dado que este elemento ayuda a suprimir la emisión secundaria se llama *rejilla supresora*.

FUNCIONAMIENTO DE UNA REJILLA SUPRESORA



La adición de la rejilla supresora entre la placa y la rejilla de pantalla sirve también para reducir un poco más la capacitancia interelectrónica entre la placa y la rejilla de control. Esto se traduce en un tubo con un funcionamiento a alta frecuencia mejor que el tetrodo. Los factores de amplificación del pentodo oscilan entre 1,200 y 1,500 (en lugar de 200 a 300 del tetrodo).

- P44. La liberación de electrones de la placa cuando otros electrones que provienen del cátodo chocan con ella, se llama
- P45. Un tubo..... resulta cuando se añade otra rejilla al tetrodo.
- P46. La tercera rejilla en el pentodo se llama rejilla.....
- P47. El factor de amplificación de un pentodo es (mayor, menor) que el de un triodo o un tetrodo.
- P48. La rejilla supresora del pentodo reduce la.....

Sus respuestas deben ser:

- 44. La liberación de electrones de la placa cuando otros electrones que provienen del cátodo chocan con ella, se llama **emisión secundaria**.
- R45. Un tubo **pentodo** se obtiene cuando se añade otra rejilla al tetrodo.
- R46. La tercera rejilla en un pentodo se llama **rejilla supresora**.
- R47. El factor de ampliación de un pentodo es **mayor** que el de un triodo o un tetrodo.
- R48. La rejilla supresora de un pentodo reduce la **emisión secundaria**.

LO QUE HA APRENDIDO

1. Un tubo que contiene un cátodo, una rejilla de control, y una placa es un triodo.
2. El voltaje en la rejilla de control del triodo ejerce un efecto mayor sobre la corriente de placa que el que ejerce el voltaje de placa.
3. El triodo se puede usar para amplificar las señales.
4. La rejilla de control funciona generalmente en forma negativa con relación al cátodo.
5. Hay tres constantes de tubos: factor de amplificación (μ), resistencia de placa CA (r_p), y transconductancia (g_m).
6. Los valores de las constantes de los tubos se pueden determinar por medio de gráficos que se llaman características de los tubos.
7. Los manuales de tubos contienen información sobre éstos.
8. La polarización es la diferencia de potencial entre la rejilla y el cátodo. Ella determina el punto de funcionamiento del tubo.
9. La rejilla de pantalla en un tubo tetrodo reduce la capacitancia deseable entre la rejilla y la placa.
10. La μ y la r_p son mayores en un tetrodo que en un triodo.
11. La rejilla supresora en un pentodo reduce el efecto de la **emisión secundaria**.
12. El factor de amplificación de un pentodo es muy alto.

Aparatos Semiconductores

LO QUE APRENDERÁ

En este capítulo se discutirá la diferencia entre los tipos de materiales semiconductores N y P. Se comparará un diodo semiconductor con un diodo de tubo de vacío. Aprenderá la diferencia entre la polarización delantera y la inversa. También estudiará los elementos de un transistor y como éstos se usan como amplificadores. También se introducen las curvas de característica de los transistores.

¿QUE ES UN SEMICONDUCTOR?

Los materiales se pueden clasificar en tres grupos de acuerdo con sus propiedades eléctricas: conductores, semiconductores, y aisladores. Los materiales como la plata, el cobre, y el aluminio tienen muchos electrones libres, y esto facilita el flujo de la corriente por ellos. Por esta razón, estos materiales se llaman **conductores**.

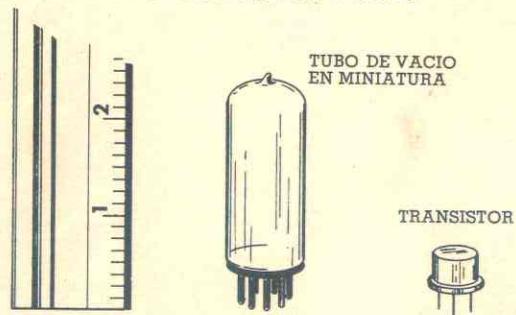
Los materiales como el cristal, la goma, y muchos plásticos no tienen prácticamente electrones libres, lo cual hace muy difícil que la corriente fluya por ellos. Estos materiales se conocen como **aisladores** y se usan en una variedad de aplicaciones, desde la protección de conductores a la formación de dieléctricos en los condensadores.

Los materiales como el selenio, el silicio, y el germanio, tienen algunos electrones libres; más que un aislador pero menos que un conductor. Estos materiales se conocen generalmente con el nombre de **semiconductores**.

¿POR QUE SON IMPORTANTES LOS MATERIALES SEMICONDUCTORES?

Un diodo que se hace con un material semiconductor se llama diodo de estado sólido. Los materiales semiconductores forman también los ingredientes básicos de los transistores. Los diodos de estado sólido pueden reemplazar a los diodos de tubos de vacío, y los transistores pueden reemplazar a los triodos de aquellos. ¿Por qué es esto importante? Los diodos de estado sólido y los transistores son más pequeños, pesan menos, y usan menos fuerza que los tubos de vacío correspondientes. Además, son más resistentes, duran más que los tubos de vacío y no requieren suministro de voltaje para el filamento.

LOS TRANSISTORES SON MAS PEQUEÑOS QUE LOS TUBOS DE VACIO



¿Cómo trabajan los diodos de estado sólido y los transistores? ¿Cómo puede una sustancia sólida mantener un flujo de corriente unidireccional en la misma forma que un diodo de tubo de vacío? ¿Cómo puede una sustancia sólida amplificar como un triodo? Para responder estas preguntas debemos retroceder y examinar el constituyente básico de la materia, el átomo.

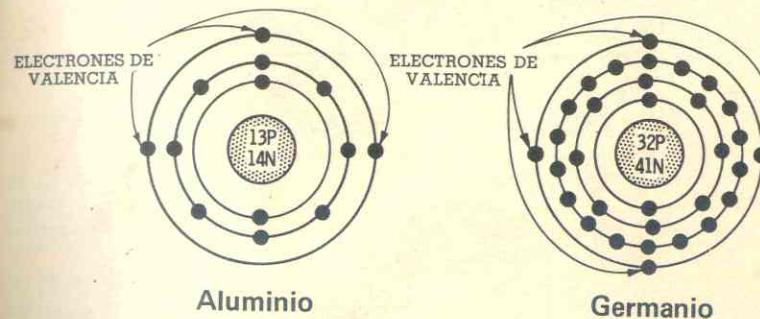
MATERIA, ELEMENTOS, Y ATOMOS

La materia se define como cualquier cuerpo que tiene masa y ocupa un espacio. Como ejemplos tenemos el aire, el agua, los libros, y las personas. La materia consiste de uno o más materiales llamados elementos. Los elementos son sustancias que no se pueden dividir en otras sustancias. El cobre, el aluminio, el silicio, y el germanio, son ejemplos de elementos. La partícula más pequeña de un elemento es el átomo, que tiene todas las propiedades del elemento y puede tomar parte en reacciones químicas.

El átomo de aluminio

El átomo de aluminio tiene trece electrones en órbita alrededor de un núcleo de trece protones y catorce neutrones. Las cargas negativas en los trece electrones quedan exactamente equilibradas por las cargas positivas en los trece protones. Los tres electrones de valencia en la capa exterior o anillo, están ligeramente unidos al átomo y se desplazan con facilidad. Estos tres electrones ligeramente unidos son la razón de que el aluminio sea un conductor. El aluminio tiene una valencia de menos tres. Esto significa que el aluminio cede con facilidad los tres electrones de su anillo exterior.

DIAGRAMAS DE LOS ATOMOS



El átomo de germanio

El núcleo del átomo de germanio es mayor que el núcleo de aluminio. Tiene treinta y dos protones y cuarenta y un neutrones. Hay treinta y dos electrones orbitando, de los cuales hay cuatro en el anillo exterior. Estos cuatro electrones hacen al germanio un elemento semiconductor. El átomo de germanio puede ceder estos electrones o tomar cuatro más para completar su anillo exterior.

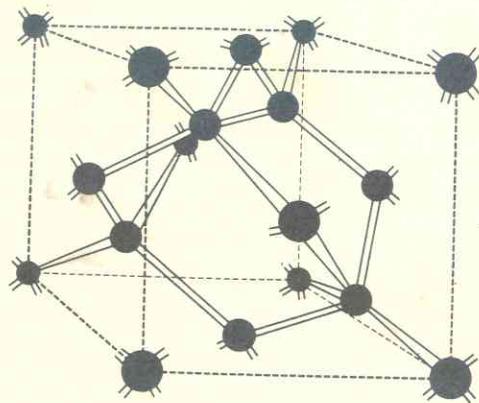
- P1. El cobre es un.....
- P2. El cristal es un.....
- P3. Un conductor tiene muchos.....
- P4. El silicio es un.....
- P5. Una sustancia que no se puede subdividir en otras sustancias se llama.....
- P6. Los electrones en la capa exterior de un átomo se conocen como electrones de.....

Sus respuestas deben ser:

- R1. El cobre es un **conductor**.
- R2. El cristal es un **aislador**.
- R3. Un conductor tiene muchos **electrones libres**.
- R4. El silicio es un **semiconductor**.
- R5. Una sustancia que no se puede subdividir en otras sustancias se llama **elemento**.
- R6. Los electrones en la capa externa de un átomo se conocen como electrones de **valencia**.

CRISTALES DE GERMANIO

La ilustración inferior muestra la configuración típica de un átomo de germanio. Cada uno comparte sus cuatro electrones externos con cuatro de sus vecinos. Esto crea una unión que tiende a mantener los electrones



RED DE CRISTAL DE GERMANIO

unidos. Esta unión de un par de electrones, que se llama *unión covalente*, se forma porque cada átomo de germanio trata de completar el número de ocho electrones en su capa externa. Cuando varias estructuras cúbicas se combinan, se produce un "efecto de panel". Un cristal visible de germanio está compuesto de muchos millones de estos paneles de cristales básicos. Este germanio cristalino es eléctricamente neutral.

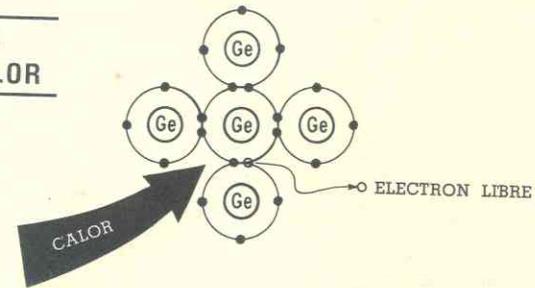
EL GERMANIO INTRINSECO

El cristal que se examinó es un cristal ideal, y probablemente no existe en la naturaleza en esta forma. Debido a su pureza, este cristal se llama *intrínseco*; el germanio intrínseco está libre de impurezas. La construcción del germanio intrínseco es el primer paso en la producción de los diodos de estado sólido y de transistores.

La conducción en el germanio intrínseco

¿Cómo fluyen los electrones en los semiconductores? Las capas externas en los átomos de germanio forman uniones covalentes, por lo que estos átomos compartidos no se desplazan con facilidad para proveer corriente eléctrica. Esto es cierto de todos los semiconductores. La razón del flujo de corriente en los semiconductores es la adición de energía al material. Esta energía puede revestir forma de calor, luz, o aplicación de un campo eléctrico, como el que forma el voltaje. Note que estas propiedades difieren en los diferentes semiconductores. Por ejemplo, cuando los cristales de germanio se calientan, el nivel de energía de uno de los electrones en una unión covalente aumenta. El electrón se libera de la unión y puede vagar por el panel de cristales. Esos electrones libres están disponibles para conducir cuando se aplica un campo eléctrico.

VINCULO COVALENTE
DISUELTO POR EL CALOR



- P7. El germanio libre de impurezas se llama germanio.....
- P8. Los átomos de germanio se mantienen unidos en un cristal por.....
- P9. La conducción en el germanio intrínseco se produce por la adición de.....

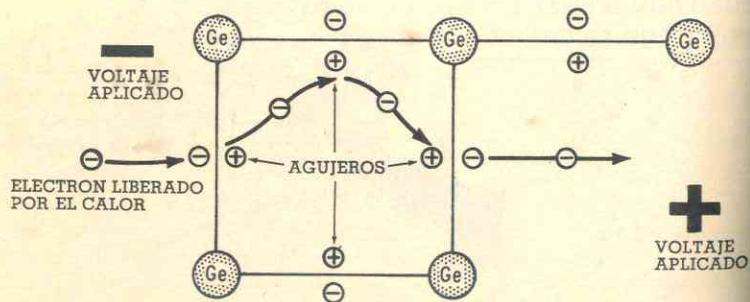
Sus respuestas deben ser:

- R7. El germanio libre de impurezas se llama germanio intrínseco.
- R8. Los átomos de germanio se mantienen unidos en un cristal por uniones covalentes.
- R9. La conducción en el germanio intrínseco se produce por la adición de energía.

El flujo de electrones por el germanio intrínseco

En la figura inferior pueden verse varias uniones covalentes de germanio intrínseco después de calentarse el material. Los electrones se liberaron en cada una de las uniones ilustradas. Al germanio se le aplica un voltaje positivo. Como falta un electrón en cada una de las uniones, hay, en efecto, una carga positiva en cada una de las uniones covalentes. Esta carga positiva se llama *agujero*. Un electrón libre que viaja en la dirección del voltaje positivo que se aplica va de agujero en agujero hasta que finalmente alcanza al voltaje positivo.

FLUJO ELECTRONICO A TRAVES DEL GERMANIO INTRINSECO

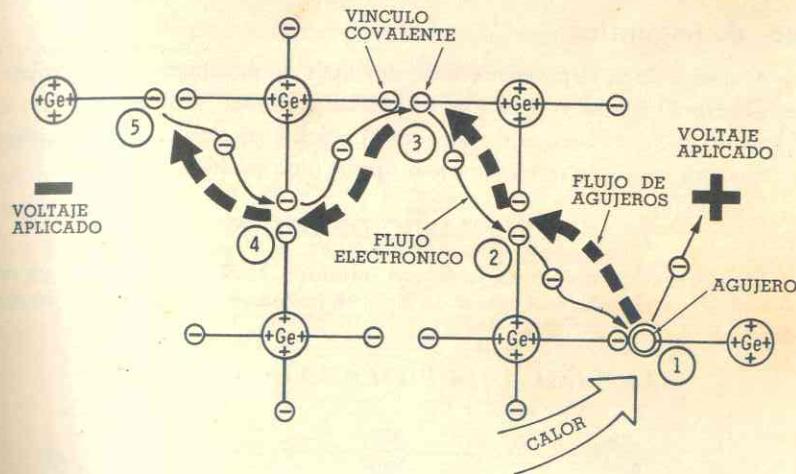


El flujo de agujeros por el germanio intrínseco

Examine la figura en la próxima página. Por cada uno de los cuatro electrones en el anillo exterior de cada átomo, hay un protón correspondiente en el núcleo. Cuando se aplica el calor (1), se libera un electrón y una pieza a viajar hacia el voltaje positivo. El electrón deja un agujero que

puede considerarse como positivo. Este agujero atrae un electrón de la próxima unión covalente (2), por lo que deja un agujero en ese punto. El efecto de esto es que el agujero se ha movido del punto 1 al punto 2. En forma similar, el agujero se moverá a los puntos 3, 4, y 5, y eventualmente se llenará por un electrón de la fuente de voltaje aplicado. Mientras el calor continúe liberando electrones en el punto 1, esta acción continuará produciéndose.

FLUJO DE AGUJEROS EN EL GERMANIO INTRINSECO



Amortiguación del germanio intrínseco

Ya vio como los agujeros y los electrones fluyen por el germanio. Esto se hizo añadiendo calor para liberar los electrones y crear agujeros. Se creó un campo eléctrico para controlar la dirección del flujo (también llamado *viaje*) de los agujeros y los electrones. Sin embargo, para los transistores y los diodos de estado sólido el germanio intrínseco es de poco valor. Hay un método más eficiente de producir conducción en el germanio (o cualquier semiconductor): es añadirle impurezas al material intrínseco. Este proceso se llama *amortiguación*. El tipo de impurezas se debe seleccionar cuidadosamente y la cantidad debe controlarse con precisión. Generalmente se requiere una precisión de hasta una parte en diez millones.

- P10. La adición a un semiconductor de cantidades controladas de impurezas se llama.....
- P11. El flujo de corriente en un semiconductor consiste del movimiento de..... y

Sus respuestas deben ser:

- R10. La adición de cantidades controladas de impurezas a un semiconductor se llama **amortiguador**.
- R11. El flujo de corriente en un semiconductor consiste del movimiento de **electrones y agujeros**.

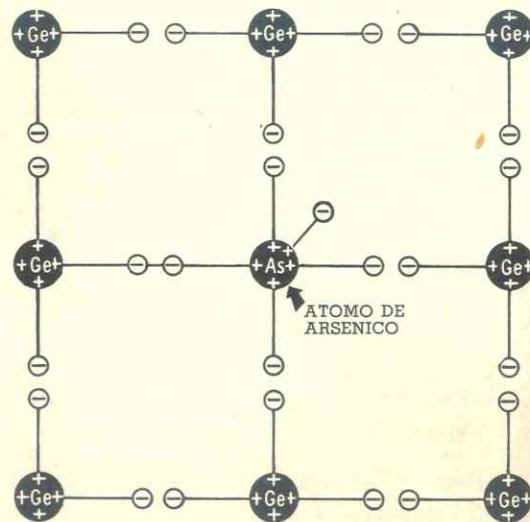
Tipos de impurezas

Al germanio se le pueden añadir dos tipos de impurezas. Un tipo produce electrones libres, y el otro tipo produce agujeros. El tipo de impureza productora de electrones se conoce con el nombre de *tipo N* (tipo negativo) y el tipo productor de agujeros como *tipo P* (tipo positivo).

EL GERMANIO DE TIPO N

Examine el germanio en la figura inferior. Note que el cristal ya no es intrínseco. Un átomo impuro de tipo N (arsénico) reemplazó al átomo

GERMANIO IMPURIFICADO CON ARSENICO

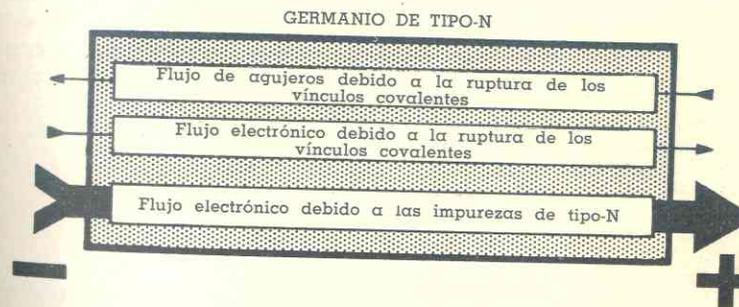


de germanio. El arsénico tiene cinco electrones en su anillo externo, por lo que puede combinarse con cuatro electrones de un átomo adyacente

germanio. Cuando esta unión covalente se establece, queda un electrón extra impar. Este está ligeramente unido al núcleo de arsénico porque el átomo de arsénico tiene ahora ocho electrones en su anillo externo. Para que este electrón se libere, solamente se requiere un séptimo de la energía necesaria para liberar un electrón de una unión covalente. Debido a que el arsénico ha donado un electrón al cristal, este se llama átomo *donante*. El cristal se llama germanio de tipo N por la presencia de electrones negativos ligeramente unidos. El número de electrones extra o portadores de corriente controla la resistencia de un material semiconductor. Lógicamente, los materiales más amortiguados contienen más átomos donantes y más electrones extra para conducir, y por eso su resistencia eléctrica es menor.

Cuando se aplica un campo eléctrico a un cristal de tipo N, la mayoría del flujo de electrones se debe a los átomos donantes. Alguna corriente adicional fluye debido a la ruptura de uniones covalentes, pero ésta es muy pequeña.

Los Electrones como Portadores Mayoritarios



El flujo de electrones y agujeros debido a la ruptura de las uniones covalentes será igual. Como la mayoría del flujo se debe a los electrones donantes, éstos se llaman *portadores mayores*. Los agujeros se llaman *portadores menores*.

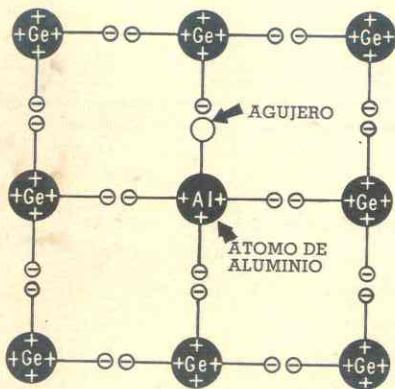
- P12. El tipo de germanio que contiene una impureza que produce electrones libres se llama germanio.....
- P13. Los electrones libres en el germanio de tipo N se llaman portadores.....
- P14. ¿Será igual el flujo de agujeros al flujo de electrones en el germanio de tipo N? ¿Por qué?

Sus respuestas deben ser:

- R12. El tipo de germanio que contiene una impureza que produce electrones libres se llama germanio de tipo N.
- R13. Los electrones libres en el germanio de tipo N se llaman portadores mayores.
- R14. No. El germanio de tipo N se hace añadiendo un átomo donante de tipo N, como el arsénico (hay otros como el antimonio y el borón), al cristal. La mayor parte del flujo de la corriente en el cristal se debe a los electrones ligeramente unidos de los átomos donantes.

EL GERMANIO DE TIPO P

Suponga que un átomo de aluminio reemplaza a un átomo de germanio en un cristal de germanio. El aluminio tiene tres electrones libres en su anillo externo. En el cristal, los átomos de aluminio se combinan con cuatro átomos de germanio. El átomo de aluminio establece una unión covalente



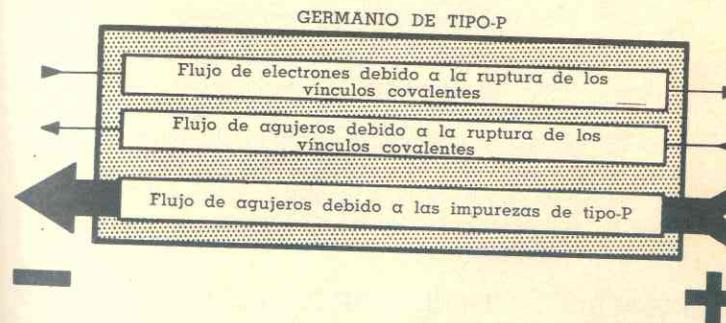
GERMANIO IMPURIFICADO CON ALUMINIO

con tres de sus vecinos. En lugar de la cuarta unión covalente hay una combinación de un electrón y un agujero. Este agujero actúa como una fuerte carga positiva y tiende a atraer electrones de las uniones covalentes cercanas. Cuando un electrón abandona una unión vecina, deja un agujero que se llena entonces con un electrón de otra unión covalente. Así, los agujeros se mueven por el germanio de tipo P como los electrones se mueven por el germanio de tipo N.

Debido a que el átomo de aluminio es capaz de aceptar un electrón, se llama átomo *aceptante*. El cristal se conoce como germanio de tipo P por la presencia de agujeros positivos. Cuando se aplica un campo eléctrico al cristal, los átomos aceptantes de aluminio aceptan más electrones para llenar agujeros que aquellos a los que se les permiten fluir libremente. Por lo tanto, la mayoría de los portadores de corriente son agujeros y los portadores menores son electrones.

Resumiendo, el material semiconductor de tipo N tiene electrones extra donados por el átomo impuro (donante), mientras que el material semiconductor de tipo P tiene un exceso de agujeros contribuidos por impurezas aceptantes. Mientras más se amortigüe el material, su resistencia eléctrica será menor.

Los agujeros como Portadores Mayoritarios



EL TRANSISTOR

En cierta forma, el transistor es una válvula: controla el flujo de los portadores mayores por el cristal semiconductor del que está hecho. El transistor se puede comparar a un triodo. Es más, es conveniente considerar el transistor como un triodo de estado sólido.

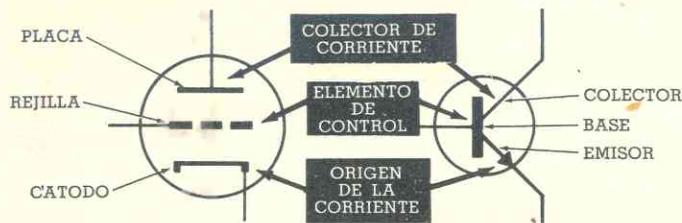
- P15. El agujero que deja un electrón tiene una carga.....
- P16. Un campo eléctrico hace que los electrones fluyan hacia el terminal..... mientras que los agujeros fluyen hacia el terminal.....
- P17. Los portadores mayores en el germanio de tipo P son los
- P18. Los átomos de tipo P también se llaman átomos.....
- P19. El transistor se puede comparar a un..... de tubo de vacío.

Sus respuestas deben ser:

- R15. El agujero que deja un electrón tiene una carga **positiva**.
- R16. Un campo eléctrico hace que los electrones fluyan hacia el terminal **positivo** mientras que los agujeros fluyen hacia el terminal **negativo**.
- R17. Los portadores mayores en el germanio de tipo P son los **agujeros**.
- R18. Los átomos de tipo P se llaman también átomos **aceptantes**.
- R19. El transistor se puede comparar a un **triodo** de tubo de vacío.

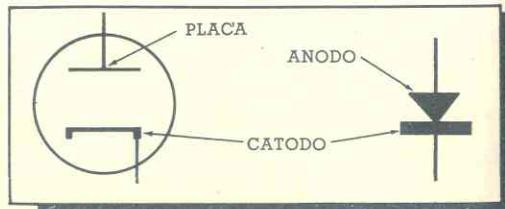
Los símbolos del triodo y del transistor se pueden comparar en la figura inferior. Cada uno tiene tres elementos, uno de los cuales actúa como fuente de corriente. En el triodo este elemento se llama cátodo; en el transistor, se llama emisor. (La flecha en el símbolo apunta en dirección del movimiento de los agujeros). El transistor y el triodo de tubo de vacío tienen un elemento de control: en el triodo se llama rejilla y en el transistor, base. El tubo y el transistor tienen un colector de corriente que en el triodo se llama placa y colector en el transistor.

COMPARACION DEL TRANSISTOR CON EL TUBO DE TRIODO



En forma similar, un diodo de estado sólido se puede comparar a un diodo de tubo de vacío: tienen dos elementos nada más.

COMPARACION DE LOS DIODOS

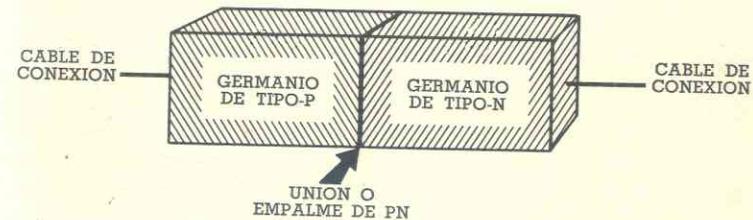


DIODOS SEMICONDUCTORES

Los primeros radios usaron diodos de cristal para detectar las señales de radio. Estos diodos permitían el flujo de corriente en una dirección nada más. Esta propiedad de corriente *unidireccional* es la propiedad sobresaliente del diodo.

Un diodo de estado sólido consiste de una sección de material semiconductor de tipo P unido a una sección de tipo N. La actividad que se

DIAGRAMA DE UN DIODO DE ESTADO SOLIDO



produce en la unión de los materiales es responsable por la propiedad unidireccional del diodo. La superficie de contacto se llama la *unión PN*.

UNION PN

Aunque el germanio de tipo N tiene un exceso de electrones libres, es eléctricamente neutral. Esto se debe a que cada átomo donante se carga positivamente cuando cede un electrón. Así que, por cada electrón que se libera en el cristal, hay un átomo donante cargado positivamente. Por lo tanto, el cristal solamente es negativo en el sentido de que los electrones libres son las partículas que disfrutan de mayor movilidad.

- P20. La facultad del diodo de conducir corriente en una dirección solamente se llama propiedad.....
- P21. Los cristales de germanio de tipo N son eléctricamente.....
- P22. Cuando el germanio de tipo P y el de tipo N se unen, la superficie de contacto se llama.....

Sus respuestas deben ser:

R20. La facultad del diodo de conducir corriente en una dirección solamente se llama propiedad **unidireccional**.

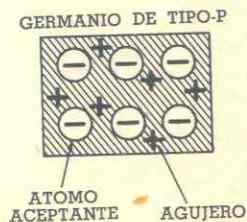
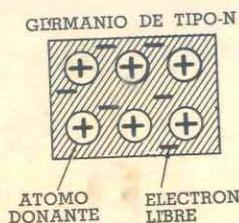
R21. Los cristales de germanio de tipo N son eléctricamente **neutrales**.

R22. Cuando el germanio de tipo P y el de tipo N se unen, la superficie de contacto se llama **unión PN**.

Unión del germanio de tipo P y el de tipo N

El germanio de tipo P, como el germanio de tipo N, es eléctricamente neutral.

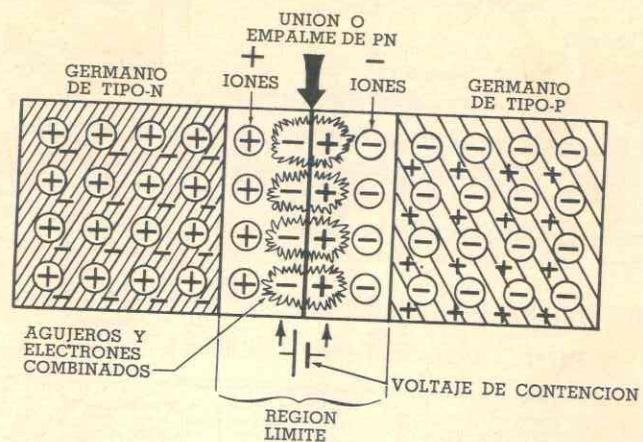
EL GERMANIO IMPURIFICADO ES ELECTRICAMENTE NEUTRAL



Cuando se unen el germanio de tipo N y el de tipo P, algunos electrones y agujeros se combinan en la unión. En este lugar, el germanio de tipo N pierde algunos de sus electrones. Entonces, deja de ser neutral en esta área; ahora tiene una carga positiva. Los electrones que pierde se combinan con los agujeros del germanio de tipo P en la unión. Así el germanio de tipo P se vuelve negativo. Los portadores mayores se combinaron en la unión, dejando átomos cargados (iones) en el área cercana a ésta. Una diferencia de potencial (de varias décimas de voltio) existe entre los iones del germanio de tipo N y los de tipo P. Si más electrones tratan de moverse del de tipo N al de tipo P, son detenidos por los iones negativamente cargados en el germanio de tipo P cerca de la unión. En forma similar, el almacenamiento de los iones cargados positivamente en el germanio de tipo N cerca de la unión impide el cruce de ella por los agujeros del germanio de tipo P. El efecto final de esta acción es el de crear un voltaje de barrera.

que prevenga la futura combinación de electrones y agujeros. El área en la que existe este voltaje se llama *región de barrera*.

FUNCIONAMIENTO EN UNA UNIÓN O EMPALME DE PN



Polarización inversa

Ya sabe que el diodo pasa la corriente con más facilidad en una dirección que en otra. Consideremos el efecto de la región de barrera en el flujo de corriente por un diodo semiconductor. Suponga que el terminal positivo de la batería se conecta al germanio de tipo N del diodo y el terminal negativo al germanio de tipo P.

El terminal positivo de la batería atrae electrones de la unión PN y el terminal negativo atrae agujeros de la misma. Esto se traduce en más iones positivos (átomos donantes que han perdido sus electrones libres) en el germanio de tipo N en la vecindad de la unión PN y más iones negativos (áto-

P23. El área que rodea la unión se llama la.....

P24. En la unión, el germanio de tipo N se carga.....

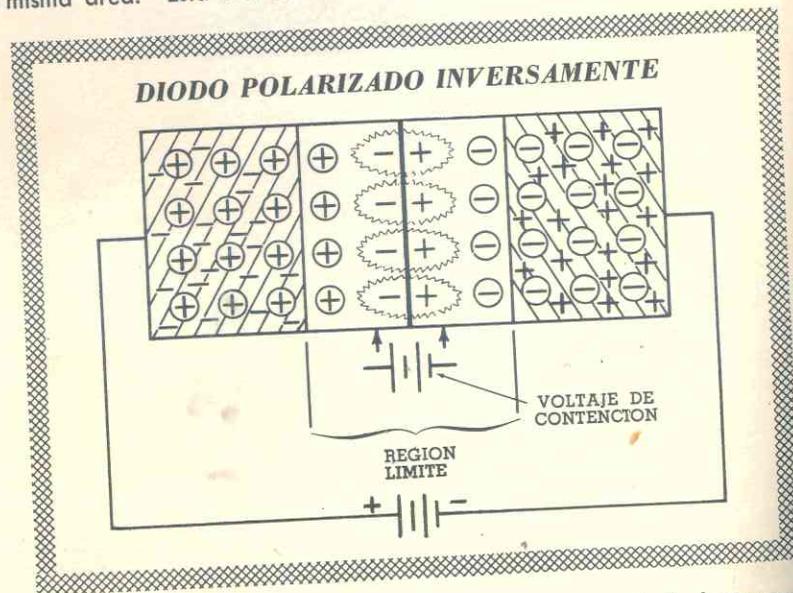
P25. El..... impide la combinación absoluta de todos los agujeros y electrones.

P26. El voltaje de barrera consiste de.....

Sus respuestas deben ser:

- R23. El área que rodea la unión se llama la **región de barrera**.
- R24. En la unión, el germanio de tipo N se carga **positivamente**.
- R25. El **voltaje de barrera** impide la combinación absoluta de todos los agujeros y electrones.
- R26. El voltaje de barrera consiste de **décimas de voltio**.

mos aceptantes que han perdido sus agujeros) en el germanio de tipo P en la misma área. Esta acción crea una región de barrera más ancha y se



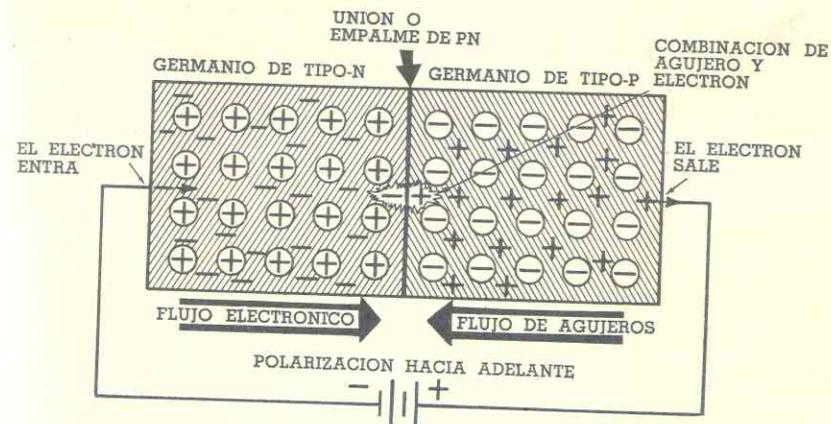
traduce en un voltaje de barrera mayor. La acción continúa hasta que el voltaje de barrera equivale a la polarización inversa (voltaje de la batería). Debido a que estos voltajes son iguales y opuestos no fluye corriente. Esta condición se llama equilibrio.

Polarización delantera

Ahora suponga que los terminales de la batería se invierten. Instantáneamente, el terminal positivo de la batería atraerá electrones. En el germanio de tipo N se crea un flujo de electrones que se mueve hacia la unión

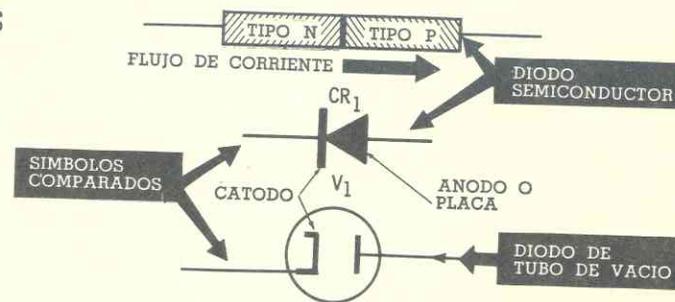
PN. Cuando un electrón llega a la unión, se combina con un agujero. El germanio de tipo N es ahora positivo y puede aceptar un electrón del terminal negativo de la batería. En forma similar, el tipo P se vuelve negativo cuando un agujero se combina con un electrón en la barrera; por lo que

Diodo Polarizado hacia adelante



cede un electrón al terminal positivo de la batería. El símbolo de un diodo de estado sólido se ilustra abajo.

SIMBOLOS DEL DIODO



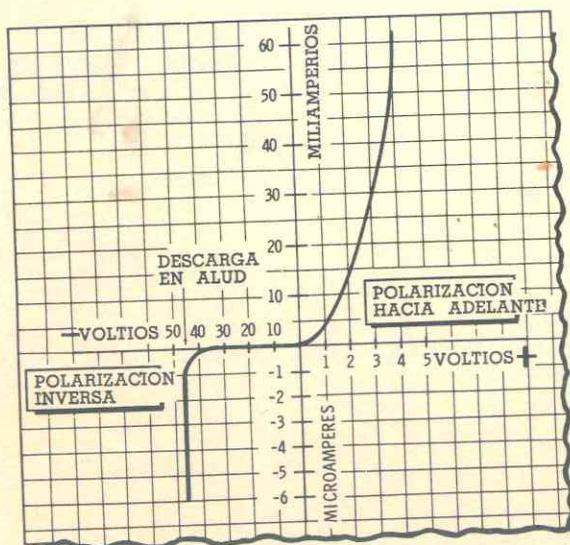
- P27. El equilibrio debido a la polarización inversa ocurre cuando el voltaje de..... equivale al voltaje de.....
- P28. Conecte el diodo a la batería en forma tal que el diodo se polarice inversamente.
- P29. La conducción se debe al flujo de..... en el germanio de tipo P y al flujo de..... en el germanio de tipo N.

Sus respuestas deben ser:

- R27. El equilibrio debido a la polarización inversa ocurre cuando el voltaje de barrera equivale al voltaje de la batería.
- R28. Para que el diodo se polarice inversamente, el terminal positivo de la batería se debe conectar al cátodo, y el terminal negativo de la batería se debe conectar al ánodo.
- R29. La conducción se debe al flujo de agujeros en el germanio de tipo P y al flujo de electrones en el germanio de tipo N.

CARACTERÍSTICAS DEL DIODO

Ya aprendió como funciona un diodo de estado sólido, y examinaremos algunas de sus características importantes. Estas son: las de corriente-voltaje, resistencia, temperatura, y capacitancia.



CURVA CARACTERÍSTICA DE CORRIENTE-VOLTAGE

Relación entre el voltaje y la corriente

El gráfico en la página opuesta muestra la cantidad de corriente que fluirá por un diodo típico cuando se aplican varios voltajes. La región de voltaje positivo es el área en que el diodo está polarizado hacia delante. La región de polarización inversa está a la izquierda del origen. Recuerde que el diodo no conducirá en dirección inversa. Esto es verdad en el gráfico hasta casi los 40 voltios de polarización inversa. Por encima de este valor, algunas corrientes en el orden de varios microamperios empiezan a fluir. Este flujo de corriente se debe a los portadores menores. Cuando la polarización inversa alcanza aproximadamente 45 voltios hay un aumento notable en la corriente inversa. Esto se llama *ruptura de avalancha*.

Resistencia

La resistencia de los diodos de estado sólido varía con el voltaje aplicado. La resistencia es alta para un voltaje de polarización delantera bajo, y es baja para un voltaje de polarización delantera alto. En las polarizaciones inversas, la resistencia es muy alta hasta que se produce la ruptura de avalancha.

Temperatura

Los diodos de estado sólido tienen un coeficiente de temperatura negativo. Esto significa que a medida que la temperatura aumenta, la resistencia del diodo disminuye. Dentro de ciertos límites, los efectos de los cambios de resistencia debido a los cambios de temperatura no resultan en deterioro del funcionamiento del diodo. Sin embargo, cuando se alcanza una temperatura muy alta, la resistencia del diodo disminuye tanto que la corriente que fluye por él puede ser lo suficientemente alta como para dañar permanentemente la estructura cristalina. Esta acción se llama *fuga térmica* y presenta un verdadero problema en el diseño de los circuitos.

- P30. La condición en la cual la corriente que fluye por un diodo de estado sólido inversamente polarizado aumenta notablemente se llama.....
- P31. La resistencia de un diodo de estado sólido varía con el
- P32. Los diodos de estado sólido tienen un coeficiente de temperatura.....

Sus respuestas deben ser:

- R30. La condición en la cual la corriente a través del diodo de estado sólido inversamente polarizado aumenta notablemente se llama **ruptura de avalancha**.
- R31. La resistencia de un diodo de estado sólido varía con el **voltaje aplicado**.
- R32. Los diodos de estado sólido tienen un coeficiente de temperatura **negativo**.

Capacitancia

Dos conductores separados por un dieléctrico constituyen un condensador. Así que, un diodo de estado sólido es un condensador en el que la región de barrera sirve de dieléctrico. A frecuencias bajas, los efectos de esta capacitancia no necesitan tomarse en consideración. Sin embargo, a altas frecuencias (de 3 a 5 microfaradios) constituyen un factor importante.

INFORMACION SOBRE LOS DIODOS SEMICONDUCTORES

La mayoría de los catálogos de piezas electrónicas tienen varias páginas dedicadas a los diodos semiconductores. Un ejemplo de alguna de la información que verá en un catálogo se muestra en la página anterior. Note que los diodos se designan 1N34, 1N58, etc. Al igual que los tubos de vacío, los fabricantes se han puesto de acuerdo para designar los diodos que tienen las mismas características con el mismo número de tipo.

CARACTERÍSTICAS DEL DIODO SEMICONDUCTOR					
TIPO	Máxima inversión voltaje	Temperatura ambiente Orden— °C	Máximo Hacia adelante ma	Corriente promedio ma	Capacitancia $\mu\mu\text{f}$
1N34A	60	-50 to +75	150	50	1.0
1N58A	100	-50 to +75	150	50	1.0

La tabla muestra algunas de las características del 1N34A y del 1N58A. La cima, cresta o máximo del voltaje inverso (PIV) es la polarización inversa en la que se produce la ruptura de avalancha. El alcance de la temperatura ambiente es el alcance de temperaturas sobre las cuales el diodo funcionará manteniendo sus características básicas. Los valores de corriente

delantera se dan para la corriente normal (la corriente en la cual el diodo funciona generalmente) y la corriente máxima (aquella que si se excede, dañará al diodo). La única diferencia entre estos dos diodos está en el máximo del voltaje inverso. Por lo tanto, el 1N34A se puede substituir por el 1N58A en aplicaciones relativas a señales de menos de 60 voltios de cresta a cresta.

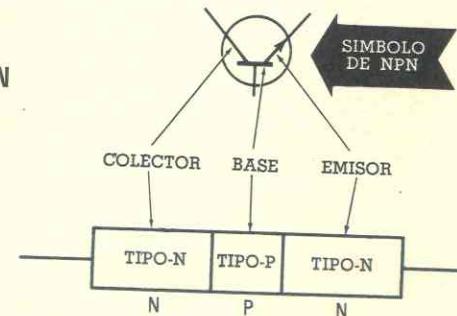
TRANSISTORES

El entender como funciona la unión semiconductor PN fue el primer paso para entender como funciona un transistor. Como verá, el transistor es un aparato semiconductor con dos uniones PN. Las dos uniones están en forma de emparedado hecho de dos tipos de material (N y P). Este emparedado puede formar un transistor NPN o uno PNP.

Transistores NPN

Al hacer un emparedado con una pieza muy delgada de germanio de tipo P entre dos piezas de germanio de tipo N, se forma un transistor NPN. El transistor hecho en esta forma se llama *transistor de unión*. El símbolo de este tipo de transistor, mostrando los tres elementos (emisor, colector, y base) se da abajo. Los tres elementos corresponden al cátodo, la rejilla, y la placa, respectivamente, de un triodo de tubo de vacío.

Símbolo del Transistor de NPN



P33. La capacitancia de un diodo de estado sólido se debe considerar a..... frecuencias.

P34. Los tres elementos del transistor son....., y

Sus respuestas deben ser:

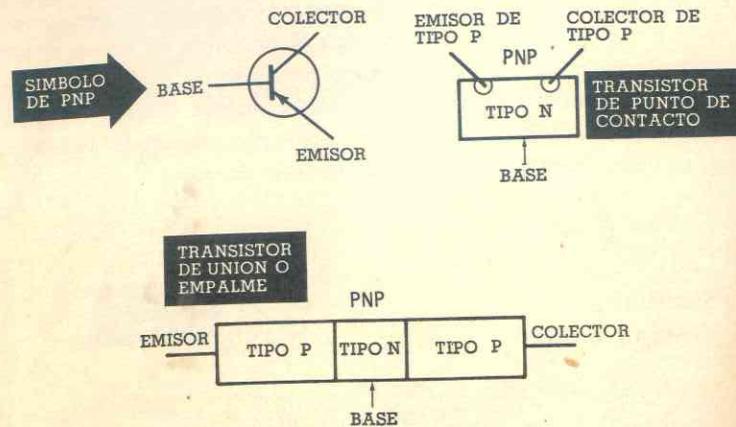
R33. La capacitancia de un diodo de estado sólido se debe considerar a **altas** frecuencias.

R34. Los tres elementos del transistor son **emisor, base, y colector**.

Transistores PNP

Al colocar germanio de tipo N entre dos placas de germanio de tipo P, se forma un transistor de unión PNP. Se puede hacer un transistor de punto de contacto PNP fundiendo dos "bigotes de gato" a una base grande de tipo N.

TRANSISTORES DE PNP



El símbolo del transistor PNP es casi idéntico al del transistor NPN. La única diferencia es la dirección de la flecha emisora. En el transistor NPN ésta apunta fuera de la base, y en el PNP hacia ella. Los electrones siempre fluyen en dirección contraria a la flecha.

El flujo de electrones va siempre del germanio de tipo N al de tipo P. Si la flecha apunta hacia la base, el flujo de electrones tiene lugar en la dirección opuesta, de la base al emisor. Así que, el emisor debe ser de germanio de tipo P y el transistor de tipo PNP. Lo contrario se cumple en los transistores NPN.

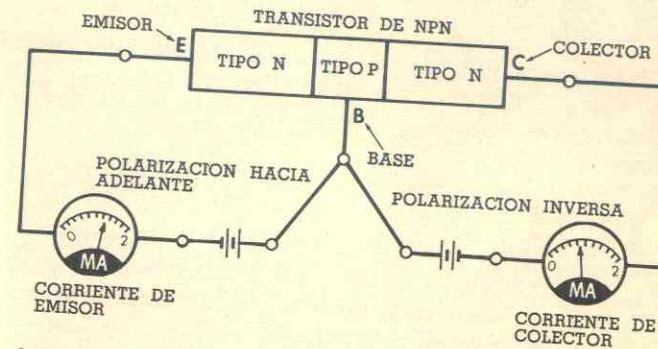
FUNCIONAMIENTO DEL TRANSISTOR

Puede que quiera usted hacer ciertas preguntas. ¿Cómo puede amplificar un material de estado sólido? ¿Hay alguna diferencia entre un transistor de unión y uno de punto de contacto, o, entre un transistor PNP y uno NPN? Una de estas preguntas se puede contestar inmediatamente. Los transistores de unión y de punto de contacto funcionan casi idénticamente. Por lo tanto, nuestro análisis se dirigirá a los transistores de unión, pero se sobreentiende que se aplican a ambos grupos.

Polarizaciones

La unión PN establece un voltaje de barrera en los diodos de estado sólido. En el transistor de unión, se establecen dos uniones PN, cada una con su propio voltaje de barrera. Si estas uniones PN se polarizan correctamente, el transistor se puede hacer funcionar como un amplificador. El método apropiado para polarizar un transistor se explica más abajo.

POLARIZACION PARA AMPLIFICADOR DE TRANSISTOR DE NPN



La figura muestra un transistor NPN polarizado para que funcione como un amplificador. Al añadir ciertos resistores (que más adelante verá) se completará la figura.

- P35. Un transistor es un solo cristal semiconductor con..... uniones PN.
- P36. Un transistor puede realizar la misma función que un.....
- P37. Un material semiconductor de tipo P en forma de emparejado entre dos piezas de material de tipo N forma un transistor.....

Sus respuestas deben ser:

- R35.** Un transistor es un solo cristal semiconductor con dos uniones PN.
- R36.** Un transistor puede realizar la misma función que un triodo de tubo de vacío.
- R37.** Un material semiconductor de tipo P en forma de emparedado entre dos piezas de material de tipo N forma un transistor NPN.

En el sistema ilustrado en la página anterior, se aplica una polarización delantera entre la base y el emisor. Esto resulta en una corriente emisora. Se aplica también una polarización inversa entre el colector y la base; esto se traduce en un flujo de corriente colectora que es casi igual a la corriente emisora. La razón de esta contradicción aparente es que la base es muy delgada, menos de una milésima de pulgada.

Antes de continuar, es tiempo de aprender algunas otras anotaciones taquigráficas usadas en relación con los transistores.

- B — Base
- E — Emisor
- C — Colector
- I_b — Corriente de la base
- I_e — Corriente del emisor
- I_c — Corriente del colector
- V_{eb} — Voltaje del emisor a la base
- V_{cb} — Voltaje del colector a la base

NOTA:
Todos estos son valores normales

El flujo de la corriente en un transistor polarizado

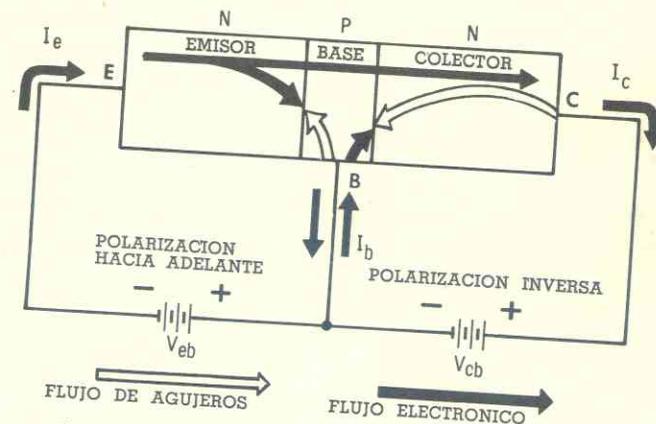
La figura en la página próxima muestra el flujo de electrones y agujeros en un transistor NPN polarizado. Con la unión de la base y el emisor polarizada hacia adelante, los electrones en el emisor viajan hacia la base para combinarse con los agujeros en ella. Para cada combinación un electrón entra en el emisor partiendo de V_{eb} . Al mismo tiempo, un electrón abandona la base (creando otro agujero) y retorna a V_{eb} ; por lo tanto, hay un flujo de electrones en el emisor y un flujo de agujeros en la base.

Ya que la unión de la base y el colector está inversamente polarizada, fluirá muy poca corriente por ella. Esta corriente la producen los portadores

menores, el flujo de agujeros en el colector de tipo N y el flujo de electrones en la base de tipo P, debido al V_{cb} .

¿Por qué I_e es igual a I_c ? Como la base es muy fina, no hay un número suficiente de agujeros en la región de la base para combinarse con el gran número de electrones provenientes del emisor. Estos electrones sobrantes pasan a través de la base hacia el colector debido a la presencia de V_{eb} . La razón de que la barrera de voltaje del colector y la base no detengan estos electrones es la de que hay un fuerte voltaje positivo atrayéndolos. Este voltaje se debe a la combinación en serie de V_{eb} y V_{cb} . La

La Corriente en un Transistor de NPN Polarizado



mayor parte de I_c se debe al flujo de electrones del emisor al colector. Note que el flujo de corriente en la base se debe al flujo de electrones y de agujeros. Por lo tanto, hay flujos de corriente indicados en ambas direcciones. La diferencia entre estas dos corrientes es I_b .

- P38.** La unión del emisor y la base de un transistor amplificador debe polarizarse..... y la unión del colector y la base debe polarizarse.....
- P39.** Bajo estas condiciones la corriente del colector es (igual, poco menos, mayor) que la corriente del emisor.
- P40.** Esto se explica por el hecho de que no existe suficiente..... en la base para combinarse con todos los..... provenientes de la.....
- P41.** Identifique las siguientes anotaciones taquigráficas: I_b , I_c , I_e , V_{eb} y V_{cb} .

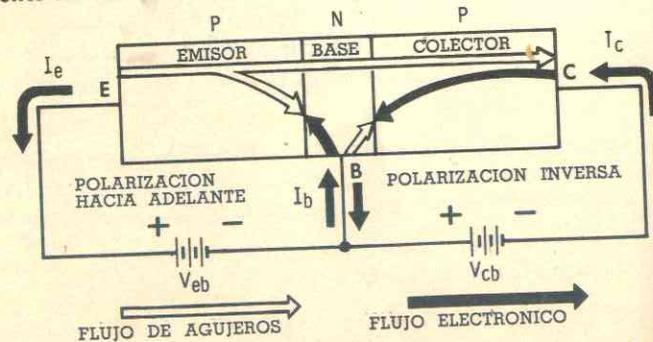
Sus respuestas deben ser:

- R38. La unión del emisor y la base debe polarizarse **hacia adelante** y la unión del colector y la base debe polarizarse **inversamente**.
- R39. Bajo estas condiciones la corriente del colector es un **poco menor** que la corriente del emisor.
- R40. Esto se explica por el hecho de que no hay suficientes **agujeros** en la base para combinarse con todos los **electrones** provenientes del emisor.
- R41. I_b —Corriente de la base
 I_c —Corriente del colector
 I_e —Corriente del emisor
 V_{eb} —Voltaje del emisor a la base
 V_{bc} —Voltaje del colector a la base
- Todos son valores normales

Polarización de transistores PNP

La diferencia de funcionamiento entre los transistores PNP y NPN es la de que los agujeros están en los portadores mayores en los transistores PNP. La polarización correcta de una unidad PNP se realiza usando polaridades de voltajes "negativas", exactamente opuestas a las usadas en un transistor NPN. Sin embargo, la polarización entre el emisor y la base está todavía polarizada hacia adelante y la polarización entre el colector y la base todavía es inversa. Ya que el emisor es de germanio de tipo P y la base de

La Corriente en un Transistor de PNP Polarizado



germanio de tipo N, una batería que se conecta con su terminal positivo al emisor polarizará hacia adelante la unión del emisor y la base. En forma similar, una batería cuyo terminal negativo se conecta a un colector de tipo P polarizará inversamente la unión del colector y la base.

El transistor conduce cuando está polarizado en esa forma. El emisor, que es un semiconductor de tipo P, libera agujeros para que se combinen con electrones en la base. Para cada combinación un electrón en el emisor entra por el terminal positivo de la batería de polarización. Esto deja un agujero para emigrar hacia la base. Al mismo tiempo, un electrón del terminal negativo de la batería entra en la base. Note que los electrones, no los agujeros, fluyen en el circuito externo.

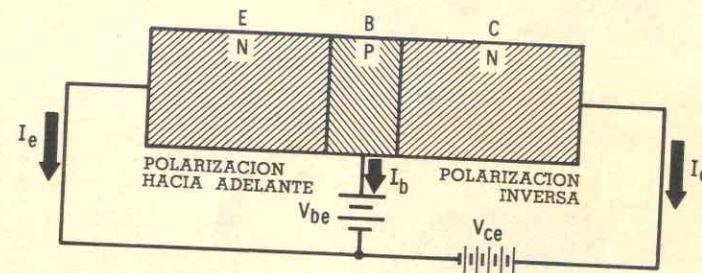
Debido a que la base es delgada, existen muchos más agujeros emisores que electrones de la base. El terminal negativo de la batería conectada al colector atrae el exceso de agujeros.

LA AMPLIFICACION POR MEDIO DE TRANSISTORES

¿Recuerda como la rejilla de control en un triodo de tubo de vacío ejercía un control mucho mayor sobre la corriente de placa que la misma placa? El transistor es capaz de amplificar debido a una disposición similar. La base en el transistor actúa para controlar la corriente que pasa por él en forma muy similar a como la rejilla controla la corriente en el triodo.

Considere otra disposición del transistor. Esta es similar a la que muestra un transistor NPN correctamente polarizado. La única diferencia estriba en que la polarización inversa entre el colector y la base la proporciona V_{ce}

CIRCUITO DE EMISOR PUESTO A TIERRA



en serie con, pero oponiéndose a, V_{be} , y V_{ce} es grande comparada a V_{be} . Por lo que V_{ce} reemplaza a V_{cb} en serie con V_{be} . Esto se llama un circuito con emisor puesto a tierra.

P42. Las polaridades de un transistor PNP son..... a las de un transistor NPN.

P43. La base en un transistor tiene una acción similar a la..... en un triodo.

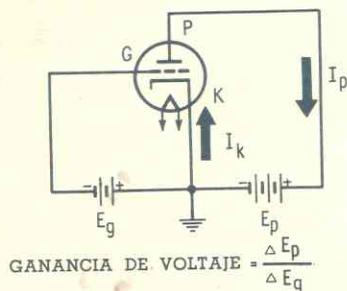
Sus respuestas deben ser:

- R42. Las polaridades de un transistor PNP son opuestas a las de un transistor NPN.
 R43. La base en un transistor tiene una acción similar a la rejilla en un triodo.

El amplificador de triodo contra el transistor amplificador

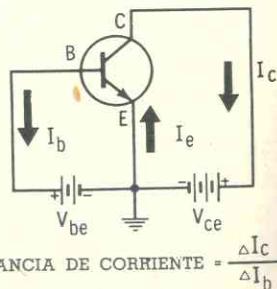
El circuito con emisor puesto a tierra que se mencionó en la página anterior es el arreglo más común de un transistor amplificador. Comparémoslo con el circuito de triodo más común, el amplificador con cátodo puesto a tierra. Se puede ver en la figura por qué este amplificador recibe este nombre.

AMPLIFICADORES BASICOS



$$\text{GANANCIA DE VOLTAJE} = \frac{\Delta E_p}{\Delta E_g}$$

FORMULA DE GANANCIA DE VOLTAJE



$$\text{GANANCIA DE CORRIENTE} = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$$

FORMULA DE LA GANANCIA DE CORRIENTE

Compare los dos circuitos ilustrados en la figura. El triodo está compuesto de un cátodo (K) que emite electrones; una placa, o ánodo, (P) que colecta los electrones; y una rejilla (G) que controla el flujo de electrones a la placa. El transistor está compuesto de un emisor (E) que suministra

electrones, un colector (C) que colecta o recoge los electrones, y una base (B) que controla el flujo de éstos. La base del transistor es muy fina, y la rejilla del tubo de vacío está construida de alambres finos. Por lo tanto, cada uno de estos elementos permite el paso de los electrones acelerados. Sin embargo, cada uno tiene un gran control sobre el número de electrones que finalmente alcanzan el colector de electrones (la placa o el colector).

La ganancia del triodo se determina en la forma siguiente: el cambio en el voltaje de placa necesario para producir un cambio en la corriente de placa se compara con el cambio en el voltaje de la rejilla que produce el mismo cambio en la corriente de placa. En el transistor la polarización de la rejilla (V_{bc}) ejerce la misma función que la polarización negativa en el triodo. Sin embargo, en lugar de una ganancia en el voltaje, se medirá ganancia en la corriente. El símbolo para la ganancia en corriente es la letra griega β . Para obtener esta ganancia en la corriente, se anotan I_b e I_c para un V_{bc} . Se cambia V_{bc} y se anotan el nuevo I_b e I_c (V_{ce} se mantiene constante). La ganancia de corriente se calcula entonces dividiendo el cambio en I_c entre el cambio en I_b . Generalmente β se llama h_{fe} .

Alfa (α) es otro parámetro del transistor (beta es otro, como μ en el tubo de triodo). Alfa es la relación del cambio en la corriente del colector y el correspondiente cambio en la corriente del emisor, cuando el voltaje del colector es constante. Otro símbolo para la α es h_{fb} . Ya se demostró que bajo la mayoría de los métodos de polarización la corriente colectora es un poco menor que la corriente emisora (debido a que la base absorbe alguna corriente del emisor). Por lo tanto, la relación entre ΔI_c ΔI_e debe ser menor que uno. Por ejemplo, si la corriente del colector cambia 4.8 ma y la corriente del emisor cambia 5 ma, entonces la corriente de la base debe cambiar 0.2 ma. Calcule alfa en la forma siguiente:

$$\alpha = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_e} = \frac{4.8 \text{ ma}}{5.0 \text{ ma}} = 0.96$$

- P44. La configuración de un transistor con..... corresponde a un amplificador de triodo con el cátodo puesto a tierra.
 P45. El valor numérico de alfa es.....
 P46. Si I_b es $100 \mu a$ cuando I_c es 1.0 ma, e I_b es $50 \mu a$ cuando I_c es 0.5 ma, ¿cuál será el valor de β ?

Sus respuestas deben ser:

R44. La configuración de un transistor con el emisor puesto a tierra corresponde a un amplificador de triodo con el cátodo puesto a tierra.

R45. El valor numérico de alfa es menor de uno.

$$R46. \beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} = \frac{1.0 \text{ ma} - 0.5 \text{ ma}}{100 \mu\text{a} - 50 \mu\text{a}} = \frac{0.5 \text{ ma}}{50 \mu\text{a}} = 10$$

La amplificación por medio de transistores

¿Cómo puede una ganancia de corriente de menos de uno resultar en amplificación? La respuesta es que se efectúa una ganancia en la fuerza. La razón de esto se puede hallar en los valores de la impedancia (resistencia) de entrada y salida del transistor. La resistencia de entrada de la unión polarizada hacia delante del emisor y la base, es baja. La impedancia de salida de la unión inversamente polarizada del colector y la base, es muy alta. Considere la fórmula de fuerza: $P = I^2R$.

Si usted compara los circuitos de entrada y de salida del transistor en términos de su consumo de fuerza, verá que hay una ganancia de fuerza. Considere un transistor con una resistencia del emisor a la base de 100 ohmios y una resistencia del colector a la base de alrededor de 1 megaohmio. Ya que las corrientes del colector y del emisor son casi iguales, la diferencia en la fuerza que produce cada una dependerá principalmente de la resistencia. Así que, la fuerza en el circuito colector será mucho mayor que la del circuito emisor. El transistor es capaz de igualar circuitos de baja resistencia a circuitos de alta resistencia y proporcionar una ganancia en fuerza. Es esta transferencia de resistencia la que le da su nombre al transistor. Al combinar transferencia y resistor obtendremos transistor.

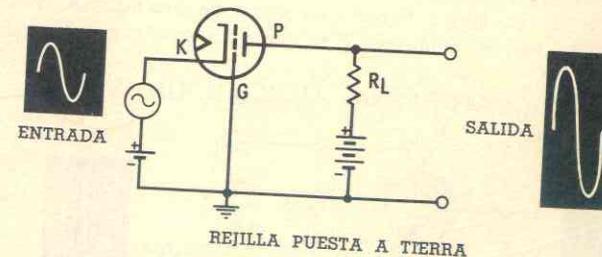
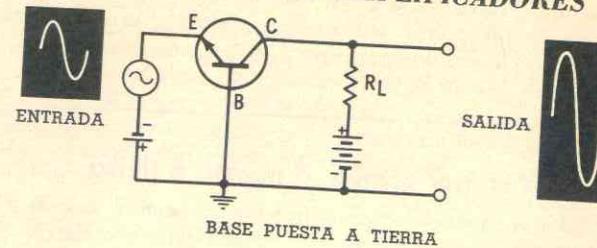
AMPLIFICADORES DE TRANSISTORES BASICOS

Los transistores NPN y PNP también se pueden usar como amplificadores con el colector y la base puestos a tierra. Los tres amplificadores básicos de transistores se pueden comparar con los tres amplificadores básicos de tubo de vacío; de cátodo puesto a tierra, de rejilla puesta a tierra, y de placa puesta a tierra.

Amplificador de base común, o puesta a tierra

Abajo ilustrados hay un amplificador NPN, o de base común, y su tubo de vacío equivalente, el amplificador de rejilla puesta a tierra. La base y la rejilla están puestas a tierra. La señal de entrada se aplica al emisor

COMPARACION DE AMPLIFICADORES



en el circuito de base común, y el cátodo en el circuito de rejilla puesto a tierra. La señal de salida se tomó del colector y la placa. Las señales de entrada y salida de estos amplificadores tienen la misma polaridad; esto es, están en fase. El circuito de base común se usa mayormente como un amplificador de voltaje, y tiene estas características:

1. La impedancia de entrada es baja, de 60 a 100 ohmios.
2. La impedancia de salida es alta, de 0.5 a 1.0 megaohmio.
3. La ganancia de corriente es menos de uno.
4. La ganancia de voltaje es media, alrededor de 150.
5. La ganancia en fuerza es media, sobre 450.
6. La fase no se invierte.

- P47. El cambio de fase de un transistor con base puesta a tierra es.....
- P48. La ganancia de voltaje de un amplificador con base puesta a tierra es.....
- P49. En un amplificador con base puesta a tierra la impedancia de entrada es..... y la impedancia de salida es.....

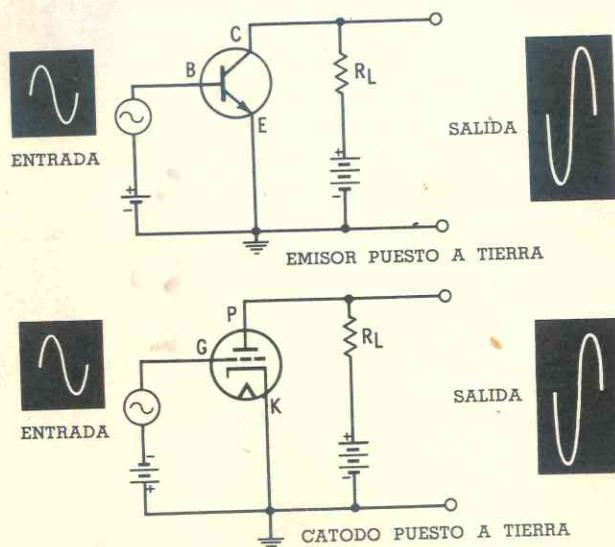
Sus respuestas deben ser:

- R47. El cambio de fase de un transistor con base puesta a tierra es **cero**.
- R48. La ganancia de voltaje de un amplificador con base puesta a tierra es **media**.
- R49. En un amplificador con base puesta a tierra la impedancia de entrada es **baja**, y la impedancia de salida es **alta**.

Amplificador con emisor común, o puesto a tierra

La figura inferior muestra un amplificador con emisor común y su tubo de vacío equivalente, el amplificador con cátodo puesto a tierra. El cátodo y el emisor están puestos a tierra. La señal de entrada se aplica a la base y a la rejilla respectivamente, y se toma la salida amplificada del

COMPARACION DE AMPLIFICADORES



colector y la placa, respectivamente. Ocurre una inversión de 180° en la fase entre la entrada y la salida. Esta inversión en fase se explicará en el capítulo sobre triodos amplificadores. El amplificador de emisor común tiene estas características:

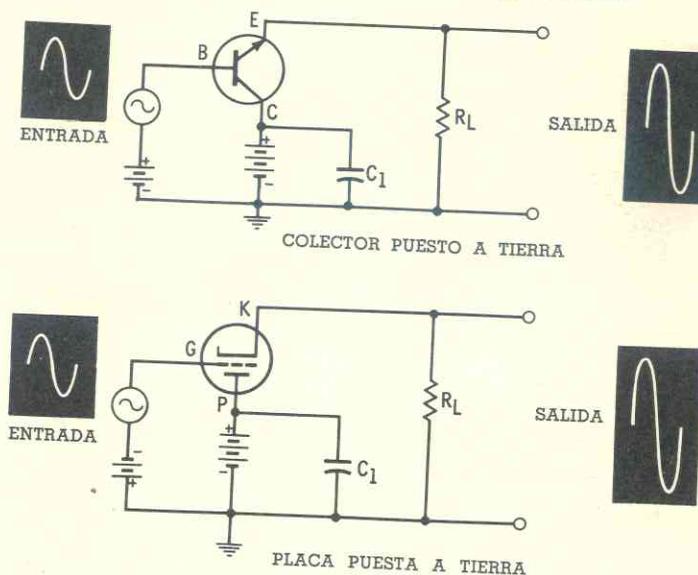
1. La impedancia de entrada es baja, de 700 a 1000 ohmios.
2. La impedancia de salida es alta, de alrededor de 50,000 ohmios.

3. La ganancia de corriente es aproximadamente 50.
4. La ganancia de voltaje es alta, sobre 500.
5. La ganancia en fuerza es muy alta, sobre 800.
6. Ocurre una inversión en la fase.

El amplificador con colector común, o puesto a tierra

La figura muestra un amplificador con colector común y su tubo de vacío equivalente, el amplificador de placa puesto a tierra. Note que el colector y la placa no están puestos a tierra con la CC, sino con la CA, debido a que el condensador grande está derivando a la batería. La señal de entrada se aplica respectivamente a la base y a la rejilla.

COMPARACION DE AMPLIFICADORES



La señal de entrada se toma del emisor y del cátodo respectivamente. Este circuito se llama también seguidor del emisor, y su equivalente se llama un seguidor del cátodo. Las características del amplificador seguidor del emisor se sumarán en la próxima página.

- P50. Un amplificador con emisor común produce un cambio de fase de.....
- P51. La ganancia de voltaje de un amplificador de emisor común es.....

Sus respuestas deben ser:

R50. Un amplificador con emisor común produce un cambio de fase de 180° .

R51. La ganancia de voltaje de un amplificador de emisor común es alta.

Características del seguidor del emisor

La ganancia de un circuito seguidor del emisor y de uno seguidor del cátodo es siempre menor de uno. Estos circuitos se usan generalmente para igualar impedancias entre dos circuitos. El amplificador de colector común tiene estas dos características:

1. La impedancia de entrada es muy alta, sobre 300' a 600 K.
2. La impedancia de salida es baja, sobre 100 ohmios.
3. La ganancia de corriente es de alrededor de 50.
4. La ganancia de voltaje es menor de 1.
5. La ganancia en fuerza es baja, alrededor de -250 (El signo negativo significa que R_1 consume la fuerza).
6. La fase no se invierte.

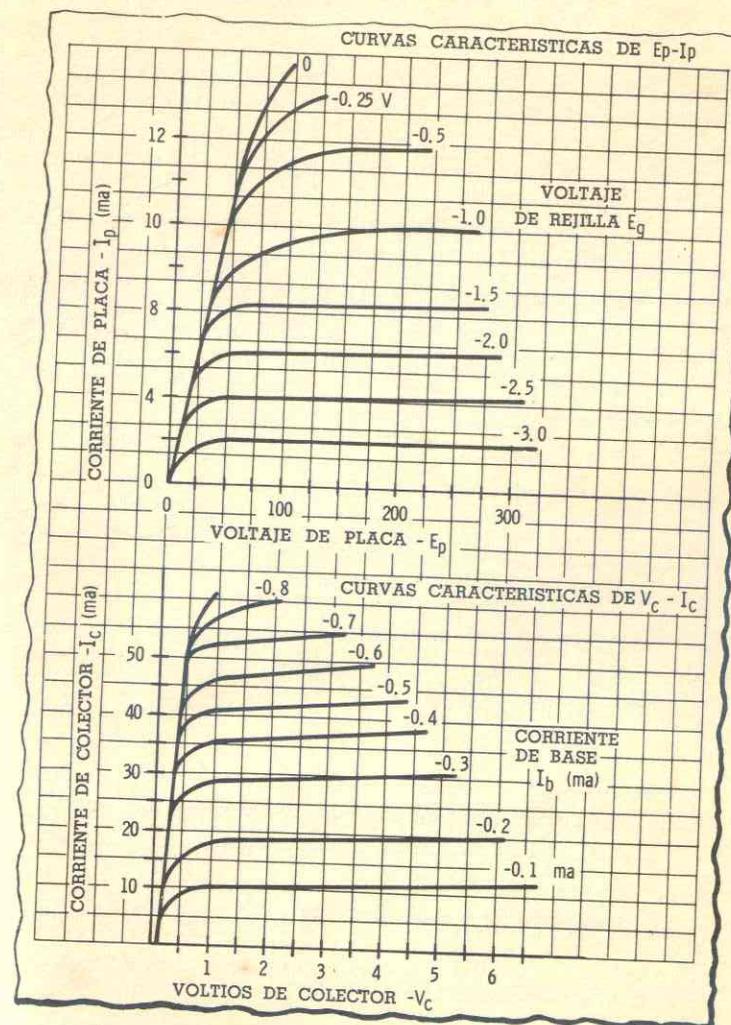
CARACTERISTICAS DE LOS TRANSISTORES

El funcionamiento de los triodos, al igual que los diodos de estado sólido, es afectado por la temperatura. Un cambio en la temperatura varía la resistencia de la unión. Del estudio de los diodos aprendió que la unión PN tiene un coeficiente de temperatura negativo. Esto cambia la polarización de la unión y la corriente fluye por la unión y, por lo tanto, afecta el funcionamiento del transistor. Por esta razón, los fabricantes especifican las temperaturas de funcionamiento de sus transistores.

CURVAS DE CARACTERISTICAS DE LOS TRANSISTORES

¿Se acuerda del modo de obtener información de una familia de curvas asociada con un amplificador de tubos de vacío? Los transistores tienen curvas similares. La figura muestra la familia de curvas de un amplificador pentodo y un transistor de tipo NPN conectado a un amplificador de emisor común. Note la correspondencia entre I_p e I_e , E_p y V_e , y E_g e I_b .

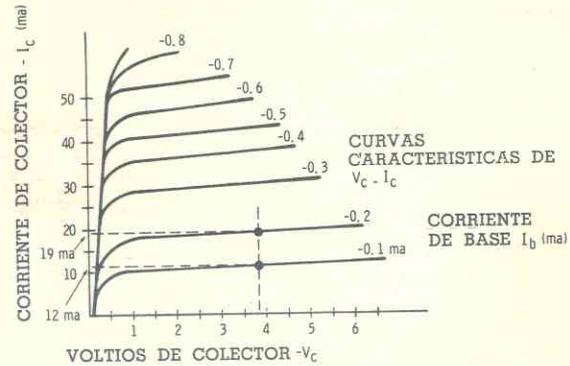
CURVAS CARACTERISTICAS



- P52. ¿Para qué fin se usa mejor el seguidor del emisor?
- P53. El circuito de base común se usa mayormente como.....
- P54. El circuito de..... se usa mejor como un amplificador de fuerza.
- P55. Use las curvas $V_c - I_b$ para obtener beta.

Sus respuestas deben ser:

- R52. El seguidor del emisor se usa mejor para **igualar circuitos de alta impedancia con circuitos de baja impedancia.**
- R53. El circuito de base común se usa mayormente como un **amplificador de voltaje.**
- R54. El circuito de **emisor común** se usa mejor como un amplificador de fuerza.
- R55.



$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} = \frac{19 - 12 \text{ ma}}{0.2 - 0.1 \text{ ma}} = \frac{7 \text{ ma}}{0.1 \text{ ma}} = 70$$

Note que este método es casi idéntico al usado para obtener parámetros de las curvas de tubos de vacío.

HOJAS DE ESPECIFICACIONES DE LOS TRANSISTORES

La mayoría de los fabricantes de transistores presentan información de sus transistores en hojas de especificaciones. Estas hojas son el equivalente de un manual de tubos. La figura en la página próxima muestra alguna de la información típica suministrada.

Cada fabricante selecciona algunas de sus propias especificaciones eléctricas especiales para presentarlas en estas hojas de información. Sin embargo, muchas de ellas son iguales aunque de diferentes fabricantes. Note que se menciona la temperatura a la cual se obtiene esta información. Muchas de estas especificaciones difieren a otras temperaturas. Los valores máximos anotados son los valores límites. Y más allá de ellos la vida y funcionamiento del transistor se afectan en mayor o menor grado.

HOJA DE DATOS DE UN TRANSISTOR TIPICO

2N XXX X TRANSISTOR DE UNION AMPLIFICADOR DE FRECUENCIA DE AUDIO

DATOS MECANICOS

CAJA: MATERIALES

CONDUCTORES: LARGO

IDENTIFICACION: COLECTOR
BASE
EMISOR

DIMENSIONES

X =
Y =
Z =

POSICION DE MONTAJE:

PESO:

DATOS ELECTRICOS

FUNCIONAMIENTO CIRCUITO A 25°C	
CORRIENTE DE COLECTOR DE CC ma	
VOLTIOS DE COLECTOR DE CC	
IMPEDANCIA DE CARGA	
IMPEDANCIA DE ENTRADA	
CIRCUITO *	E B C
CARACTERISTICAS NORMALES A 25°C	
FACTOR DE RUIDO db	
GANANCIA DE POTENCIA db	
FACTOR DE AMPLIFICACION DE CORRIENTE	
RESISTENCIA DE BASE	
RESISTENCIA DE COLECTOR	
CORRIENTE DE EMISOR ma	
VOLTAJE DE COLECTOR	
CORRIENTE MAXIMA DE COLECTOR ma	
VOLTAJE MAXIMO COLECTOR	
TEMPERATURA MAXIMA DE UNION EN	

* EMISOR COMUN
BASE COMUN
COLECTOR COMUN

P56. Las hojas de información de los transistores dan especificaciones..... y

Su respuesta debe ser:

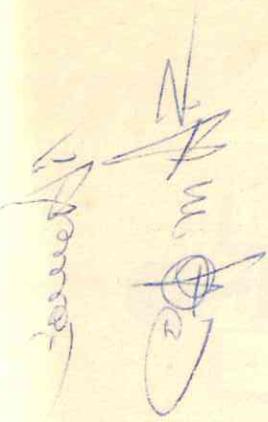
R56. Las hojas de información de los transistores dan especificaciones eléctricas y mecánicas.

LO QUE HA APRENDIDO

1. Los semiconductores son materiales que no son buenos conductores ni aisladores aceptables.
2. Los transistores y los diodos de estado sólido reemplazan a los tubos de vacío porque son más pequeños, pesan menos, son más recios, usan menos fuerza, y tienen una vida útil más larga.
3. El germanio intrínseco no tiene impurezas.
4. Cuando un electrón deja una unión covalente, el espacio que deja se llama agujero.
5. Los agujeros se comportan como si fueran partículas cargadas positivamente.
6. El añadir impurezas a los semiconductores intrínsecos se conoce como amortiguación. En un semiconductor amortiguado con impurezas de tipo N, los electrones sirven como portadores mayores de corriente. En un semiconductor amortiguado con impurezas de tipo P, los agujeros sirven como portadores mayores de corriente.
7. La unión PN establece una región de barrera que impide la recombinación de los agujeros y los electrones.
8. La corriente fluye por una unión PN polarizada hacia delante pero no por una unión PN polarizada inversamente.
9. Los transistores funcionan como válvulas para amplificar señales.
10. El emisor, la base, y el colector de un transistor corresponden al cátodo, la rejilla, y la placa de un tubo triodo.
11. La unión de la base y el colector debe estar inversamente polarizada. La base del transistor es muy fina, por lo que no hay suficientes portadores mayores en ella para combinarse con los portadores mayores en el emisor. Los portadores mayores sobrantes son atraídos hacia el colector por el voltaje que se conecta al terminal de éste.
12. La ganancia de corriente del transistor (que se mide del colector a la base) se llama beta (β) y puede ser muy grande. Otra ganancia de corriente (que se mide del emisor al colector) se llama alfa (α) y generalmente es menor que uno.

4

Suministros de Fuerza



LO QUE APRENDERÁ

En este capítulo aprenderá cómo se usan los diodos para cambiar la CA en corriente CC pulsante. Aprenderá cómo se usan los filtros para proporcionar una CC libre de las variaciones de la CA original. También aprenderá cómo los suministros de fuerza regulados proporcionan una salida de CC casi constante.

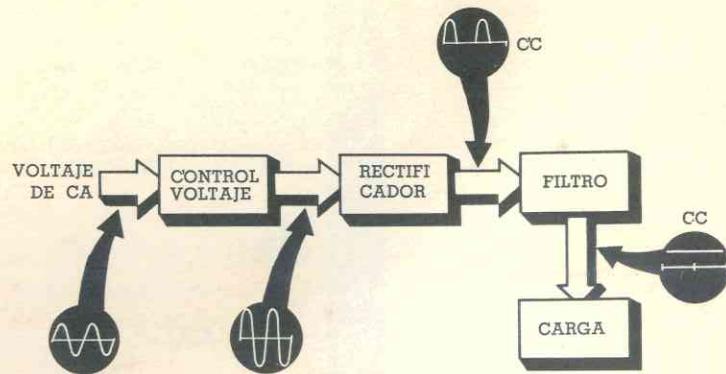
EL PROPOSITO DE UN SUMINISTRO DE FUERZA

Alguna fuente de energía eléctrica se requiere para el funcionamiento de todos los equipos electrónicos. Esta puede ser una fuente de fuerza primaria, como una batería o un generador. Sin embargo, la mayoría de los equipos electrónicos no pueden hacer uso directo de fuentes de fuerza primarias. Para tales equipos es necesario invertir la salida de una fuente de fuerza primaria en una forma eléctrica adecuada al equipo en cuestión. Los aparatos que se usan para este objetivo se llaman suministros de fuerza.

COMPONENTES DE UN SUMINISTRO DE FUERZA CC

Los componentes de un suministro de fuerza CC son el control de voltaje, el rectificador, y el filtro. El control de voltaje sirve para ajustar la salida del suministro de fuerza para que ella sea correcta para los circuitos que el suministro de fuerza alimenta. El rectificador sirve para cambiar el voltaje CA en voltaje CC pulsante. (El rectificador puede ser un diodo de tubo de vacío, un diodo semiconductor, o un rectificador de óxido metálico.) El filtro cambia la corriente CC pulsante en una CC lisa.

COMPONENTES DE UN SUMINISTRO DE ENERGIA DE CC



Las funciones básicas de un suministro de fuerza son las de *rectificar* y *filtrar*. La función de control de voltaje es, actualmente, incidental a la operación de suministro de fuerza. Cuando aprenda a separar los circuitos de filtro y rectificador del suministro de fuerza, verá que los componentes que quedan están en la porción de control de voltaje.

EL PRINCIPIO DE LA RECTIFICACION

El principio de la rectificación es muy sencilla. Si se desea cambiar un voltaje CA en voltaje CC pulsante se debe usar un aparato de control de corriente unidireccional, como el diodo. Cualquier aparato que produzca este resultado se llama un *rectificador*.

PRINCIPIO DE LA RECTIFICACION

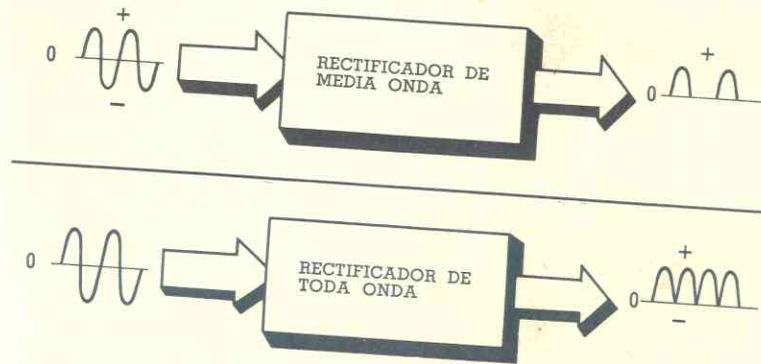


Este simple principio se ilustra arriba. Se aplica un voltaje de CA a un aparato de control de corriente unidireccional. La corriente fluye solamente durante la porción positiva de la señal de entrada. El voltaje de

salida está, por lo tanto, compuesto solamente de las porciones positivas de la entrada. Esta salida se llama *CC pulsante*.

Los dos rectificadores más comunes en uso son el *de onda completa* y el *de media onda*. Examinando bien la figura, las diferencias entre los dos resultan obvias. Cuando se aplica un voltaje CA a un rectificador de media onda, solamente se le proporciona a la carga la mitad de un ciclo. Más adelante verá como este tipo de rectificación no solamente es ineficiente, sino que también hace más difícil el obtener el voltaje CC puro que requieren algunos circuitos electrónicos.

TIPOS DE RECTIFICADORES



Cuando se aplica un voltaje CA a un rectificador de onda completa, la carga recibe corriente durante ambos medios ciclos. Note que se invirtieron los medios ciclos negativos para que todos los medios ciclos sean positivos a la salida del rectificador. Este tipo de CC pulsante es más fácil de alisar (filtrar) que la salida del rectificador de media onda. Por esta razón, se pueden usar componentes más pequeños y baratos en la sección del filtro.

- P1. Un voltaje CA se convierte en voltaje CC por medio de un....
- P2. Las dos funciones principales de un suministro de fuerza son y
- P3. El componente de un suministro de fuerza que convierte el voltaje CA en CC pulsante es el.....
- P4. El componente de un suministro de fuerza que alisa la CC pulsante convirtiéndola en una CC casi pura es el.....

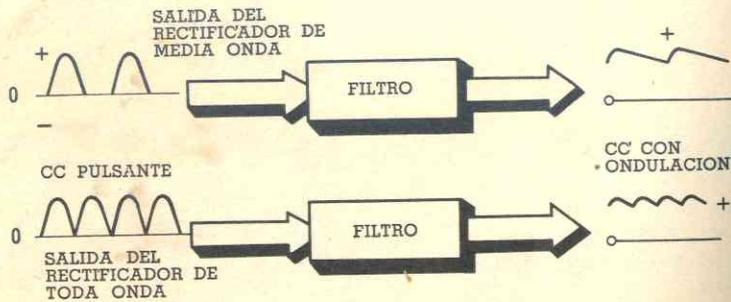
Sus respuestas deben ser:

- R1. El voltaje CA se convierte en voltaje CC por medio de un **rectificador**.
- R2. Las dos funciones principales de un suministro de fuerza son las de **rectificar y filtrar**.
- R3. El componente de un suministro de fuerza que convierte el voltaje CA en CC pulsante es el **rectificador**.
- R4. El componente de un suministro de fuerza que alisa la CC pulsante convirtiéndola en CC casi pura es el **filtro**.

ACCION FILTRADORA

La función del filtro es la de alisar la CC pulsante y proporcionar una CC casi pura. Puede ver en la figura que la salida real no es una CC completamente pura. La amplitud de la oscilación es el factor que determina

FUNCIONAMIENTO DE FILTRO



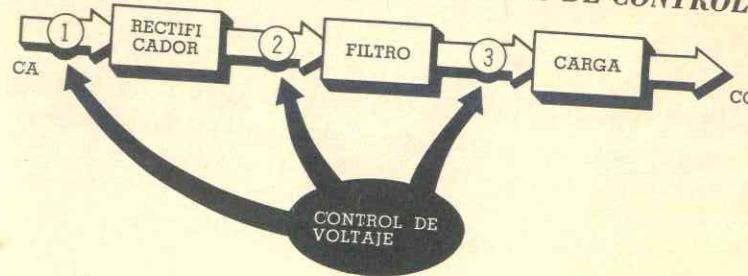
la cercanía de la salida a la CC. Mientras mayor sea la amplitud del voltaje de ondulación, menos será la salida una CC.

CONTROLES DE VOLTAJE

En los suministros de fuerza se usan algunos tipos de control de voltaje. La figura en la página opuesta indica el lugar que pueden ocupar en un suministro de fuerza. Los tipos de control de voltaje se pueden dividir generalmente en dos tipos: automáticos y manuales. Cada tipo cumple la misma función, la de suministrar el voltaje correcto a la carga.

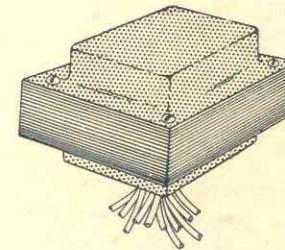
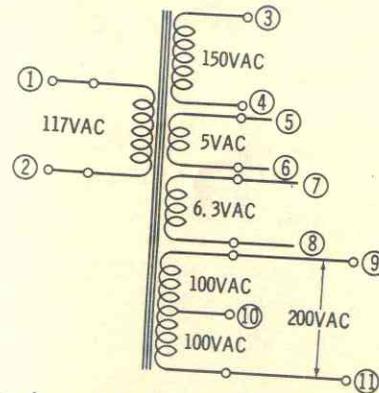
El voltaje de control que se usa en el punto 1 es el transformador de fuerza. Este puede ser algún tipo de transformador variable que se puede controlar manualmente para proporcionar la salida de voltaje deseada. Puede ser también un transformador de fuerza con varios enrollados, cada uno de ellos proporcionando un voltaje diferente.

LOCALIZACIONES DE LOS CIRCUITOS DE CONTROL



El transformador de fuerza en la figura inferior tiene un enrollado de entrada (1 y 2), un enrollado de filamento de 5 voltios (5 y 6) para el rectificador, un enrollado de filamento de 6.3 voltios (7 y 8) para los tubos de vacío del equipo, y dos enrollados elevadores de voltaje para suministrar

UN TRANSFORMADOR DE ENERGIA



voltaje al resto de la carga. Uno de estos enrollados (3 y 4) proporciona 150 voltios CA, y el otro (9, 10 y 11) proporciona 200 voltios CA con una derivación central. Más adelante se explicará el uso de ésta.

- P5. La función del filtro es la de..... la CC pulsante.
- P6. Los controles de voltaje pueden ser..... o

Sus respuestas deben ser:

- R5. La función del filtro es la de **alisar** la CC pulsante.
 R6. Los voltajes de control pueden ser **automáticos** o **manuales**.

El tipo de control de voltaje que se usa en el punto 2 (vea la figura al principio de la página anterior) puede efectuar cambios de voltaje automáticamente, y se llama *circuito regulador*. Su función principal es la de mantener un voltaje de salida constante del suministro de fuerza. El suministro de fuerza que usa un regulador se llama un *suministro de fuerza regulado*.

FUNCIONAMIENTO DE SUMINISTRO DE ENERGIA SIN REGULAR



La figura muestra un suministro de fuerza sin regular que se alimenta por medio de una línea de voltaje de 115 voltios CA. Ella proporciona a su carga un voltaje de salida de 140 voltios CC. Suponga que la línea de voltaje cambia a 120 voltios CA.

Cuando hay un aumento en la línea de voltaje, hay un aumento en el voltaje de salida. En la figura, este aumento es de 10 voltios CC. A muchos circuitos electrónicos no los afecta este cambio. Otros se afectan ligeramente y, sin embargo, muchos circuitos se perturban considerablemente por este tipo de cambio, por lo que se debe usar un regulador de voltaje para corregirlo.

El suministro de fuerza inferior tiene un regulador de voltaje. Cuando la línea de voltaje aumenta 5 voltios, el voltaje de salida permanece en 140 voltios CC. Cambios en la corriente de carga afectarán también la salida de un suministro de fuerza. Los reguladores de voltaje se diseñan

FUNCIONAMIENTO REGULADO DEL SUMINISTRO DE ENERGIA



para evitar también los cambios bajo estas condiciones. Note que muchos reguladores de voltaje también se pueden controlar manualmente, al incorporar un ajuste que se usa para seleccionar una salida de voltaje particular.

RECTIFICADORES DE SEMICONDUCTORES Y DE TUBO DE VACIO

El diodo es sensible a la polaridad de un voltaje aplicado. Un voltaje positivo que se aplica a la placa, o ánodo, hace que el diodo conduzca rápidamente, mientras que un voltaje negativo que se aplica en el mismo punto da como resultado la no-conducción (en el caso del diodo al vacío) o muy poca conducción (en el caso de un semiconductor). Esta es la propiedad unidireccional que hace útil al diodo como rectificador.

- P7. En un suministro de fuerza sin regular, el voltaje de salida cuando varía el voltaje de entrada.
 P8. El voltaje de salida de un suministro de fuerza sin regular (varía, no varía) cuando varía la corriente de carga.
 P9. Se usa un..... para mantener constante el voltaje de salida de un suministro de fuerza.
 P10. El diodo conduce solamente cuando la placa, o ánodo, es

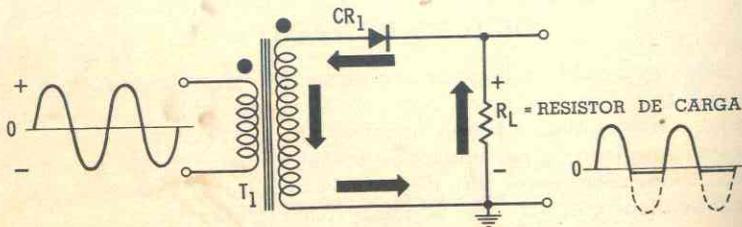
Sus respuestas deben ser:

- R7. En un suministro de fuerza sin regular, el voltaje de salida **varía** cuando varía el voltaje de entrada.
- R8. El voltaje de salida de un suministro de fuerza sin regular **varía** cuando varía la corriente de carga.
- R9. Se usa un **regulador de voltaje** para mantener constante el voltaje de salida de un suministro de fuerza.
- R10. El diodo conduce solamente cuando la placa o ánodo, es **positivo**.

Circuitos rectificadores de media onda

Un rectificador de media onda convierte el voltaje de CA en un voltaje pulsante. Verifica esto al suprimir los medios ciclos positivos, o los negativos, del voltaje de entrada. En otras palabras, solamente se usa la mitad de cada ciclo de la onda sinusoidal para proporcionar fuerza a la carga. Se puede notar con facilidad que este tipo de suministro es relativamente ineficiente.

RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA



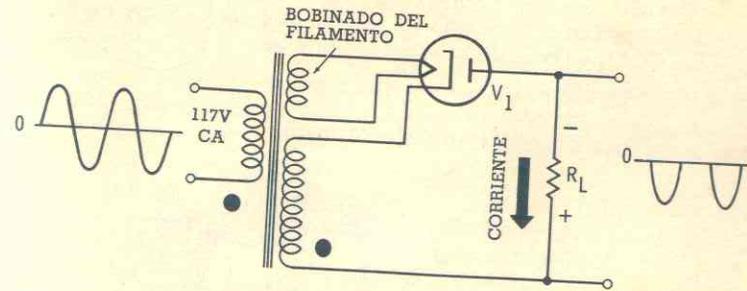
Arriba se encuentra un rectificador de media onda típico con un transformador de fuerza en la entrada. Note los puntos arriba de cada enrollado de T_1 . Estos puntos indican que el transformador se enrolló en forma tal que los voltajes en las puntas de los enrollados marcados con los puntos están en fase mutuamente; cuando la cresta del primario es positiva, la del secundario será también positiva.

Cuando se aplica el medio ciclo positivo del voltaje de entrada al enrollado primario de T_1 , también hay un voltaje positivo aplicado al ánodo del semiconductor CR_1 , haciendo que éste se polarice hacia delante. Entonces, CR_1 conduce, produciendo un flujo de corriente y una caída de voltaje a través del resistor de carga (R_L). Durante el medio ciclo negativo,

CR_1 se polariza inversamente y fluye muy poca corriente. Hay muy poca caída de voltaje a través de R_L durante este medio ciclo.

También se puede hacer un rectificador de media onda usando un diodo de tubo de vacío, como el circuito que se muestra en la figura inferior. El pequeño enrollado secundario es un enrollado de filamento que suministra corriente para calentar el filamento de V_1 . (Note que este enrollado no se necesita en el diodo semiconductor en la página anterior.) Observe la salida del voltaje negativo que se muestra en la figura, que se obtiene al conectar el diodo en forma tal que permita el flujo de la corriente por el resistor de carga (R_L). Por lo tanto, la placa del diodo se conecta al tope de R_L . La parte inferior de R_L se conecta a la parte inferior de T_1 , y el cátodo de V_1 se conecta al tope de T_1 . El diodo se puede conectar con la misma facilidad en dirección inversa para obtener la polaridad opuesta.

Rectificador de Media Onda de Tubo al Vacío



Este circuito es muy similar en su funcionamiento a un rectificador semiconductor de media onda. En el medio ciclo positivo, se aplica un voltaje positivo al cátodo del diodo, y éste no conduce. En el medio ciclo negativo, se aplica un voltaje negativo al cátodo, y el diodo conduce. La corriente fluye por R_L , produciendo una salida de la polaridad mostrada. Por lo que los medios ciclos negativos son los únicos que aparecen en la salida.

- P11. Un rectificador de media onda pasa corriente a la carga durante (la mitad, las dos mitades) de cada ciclo del voltaje que se aplica.
- P12. Un rectificador de media onda se puede hacer usando un o un diodo.....
- P13. La polaridad del voltaje de salida depende de las conexiones al.....

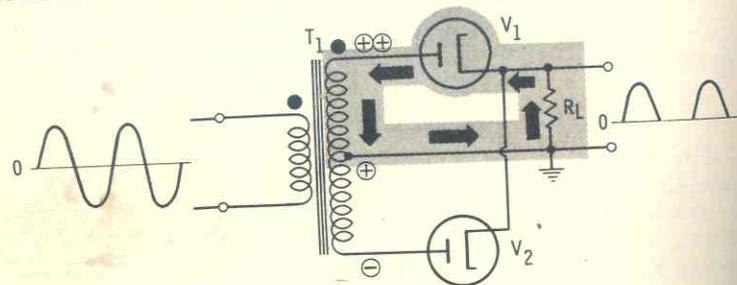
Sus respuestas deben ser:

- R11. Un rectificador de media onda pasa corriente a la carga durante la mitad de cada ciclo del voltaje que se aplica.
- R12. Un rectificador de media onda se puede hacer usando un semiconductor o un diodo de tubo de vacío.
- R13. La polaridad del voltaje de salida depende de las conexiones al diodo.

Circuitos rectificadores de onda completa

Un rectificador de onda completa se diferencia del rectificador de media onda en que utiliza ambas mitades de los ciclos del voltaje de entrada para su voltaje CC pulsante de salida. En la figura inferior se muestra un rectificador de este tipo.

Rectificador de Toda Onda (Medio Ciclo Positivo)

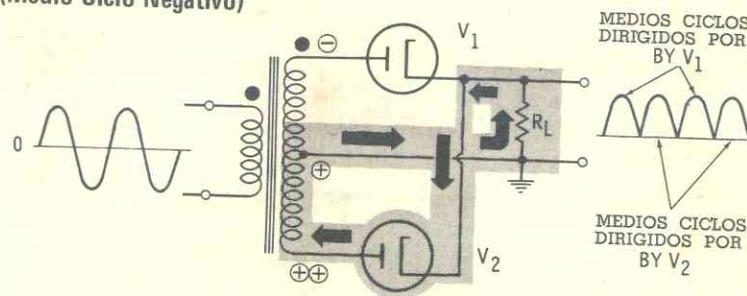


En este circuito se emplean dos diodos. Se usa un transformador especial con su derivación central conectada a un lado de R_L y a tierra. Cuando el lado punteado de T_1 es positivo con respecto a la derivación central, V_1 conducirá. La placa de V_2 se conecta a la otra punta de T_1 , que es negativa con respecto a la derivación central; por lo tanto, V_2 no conducirá. La salida del circuito es tal como se muestra en la figura. Compare esta salida con la del rectificador de media onda.

En el medio ciclo negativo, el tope de T_1 es negativo con respecto a la derivación central, por lo que V_1 no conducirá. La parte inferior de T_1 es positiva con respecto a la derivación central, y V_2 no conducirá. Note la dirección del flujo de corriente, por V_2 , a la parte inferior de T_1 , saliendo de la derivación central, subiendo por R_L , y de vuelta al cátodo de V_2 . La

corriente fluye por R_L en la misma dirección que lo hizo en el medio ciclo positivo. Esto hace que todos los medios ciclos de salida sean positivos. El efecto es igual que si se pasaran los medios ciclos positivos y se invirtieran los negativos. El resultado es la forma de onda que se muestra en la figura.

Rectificador de Toda Onda (Medio Ciclo Negativo)



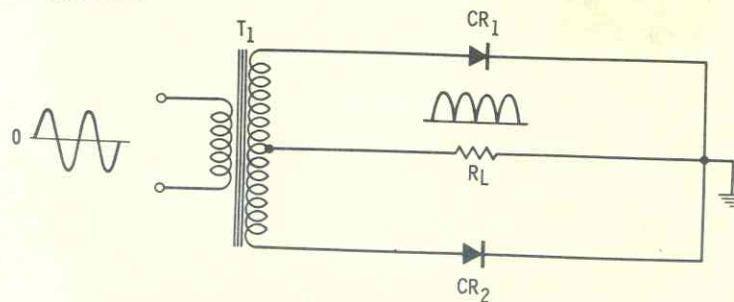
COMAR

MACOMAR

Note la diferencia entre la CC pulsante de un rectificador de media onda y la de un rectificador de onda completa. La variación en la salida de un rectificador de media onda tiene la mitad de la frecuencia que la variación del rectificador de onda completa.

Se puede hacer un rectificador de onda completa usando diodos semiconductores. El circuito inferior muestra un ejemplo. Aunque la posición de R_L se cambió en el diagrama, el circuito sigue siendo igual.

Rectificador Semiconductor de Toda Onda



- P14. Un rectificador de onda completa usa un transformador con el secundario.....
- P15. Un rectificador de onda completa conduce durante (la mitad, ambas mitades) del ciclo del voltaje que se aplica.

Sus respuestas deben ser:

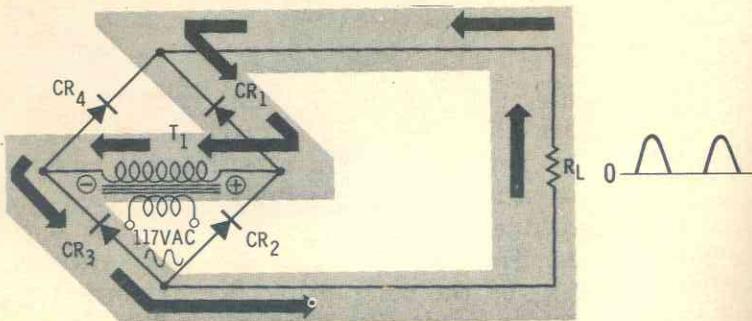
R14. Un rectificador de onda completa usa un transformador con el secundario derivado centralmente.

R15. Un rectificador de onda completa conduce durante ambas mitades del ciclo del voltaje que se aplica.

Circuito rectificador en puente

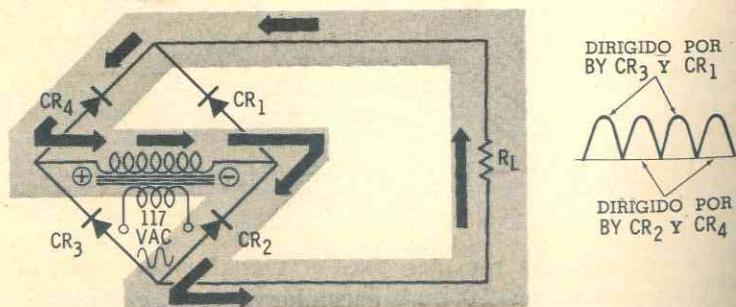
Hay un tipo de circuito rectificador de onda completa que no requiere un transformador con una derivación central. En su lugar, usa cuatro diodos. Este circuito se llama *circuito rectificador en puente*.

Rectificador de Puente (Medio Ciclo Positivo)



En el medio ciclo positivo, la corriente fluye por CR₃, por el resistor de carga, y de nuevo por el de CR₁. CR₃ y CR₄ están polarizados inversamente y actúan como interruptores abiertos.

Rectificador de Puente (Medio Ciclo Negativo)

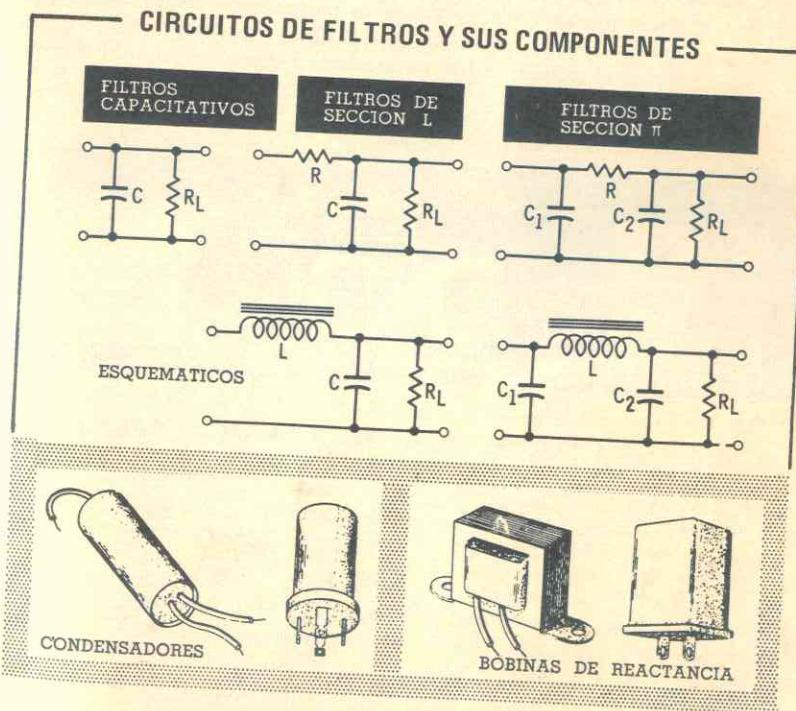


La figura superior muestra la dirección de la corriente en el medio ciclo negativo.

El rectificador en puente se usa generalmente en los suministros de fuerzas que deben entregar una gran cantidad de corriente. Dado que los diodos semiconductores comunes no son adecuados para funcionar con estas grandes corrientes, generalmente se usan rectificadores especiales de selenio o de óxido de cobre.

FILTROS

El filtro es la sección del suministro de fuerza que alisa la CC pulsante para hacerla una CC casi pura. Los tipos de filtros más comúnmente usados se ilustran abajo. Como puede verse, los filtros son circuitos simples compuestos de resistencias, condensadores, e inductores, en diferentes combinaciones. El funcionamiento de los filtros depende de la forma en que L, C, y R, afectan los voltajes y las corrientes que están cambiando.



P16. Un rectificador en puente es un tipo de rectificador de (media onda, onda completa).

P17. ¿Cuáles son los tres tipos de filtros que se usan más comúnmente?

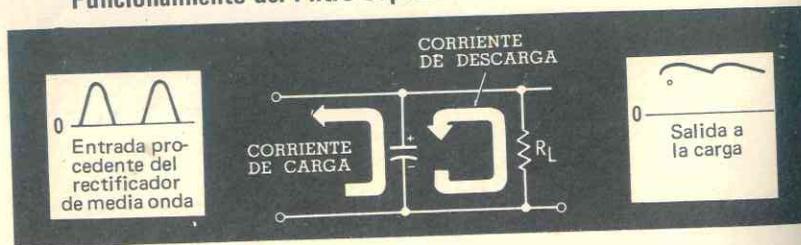
Sus respuestas deben ser:

- R16. Un rectificador en puente es un tipo de rectificador de **onda completa**.
- R17. Los tres tipos de filtros que se usan más comúnmente son: el **filtro de condensador**, el **filtro de sección L**, y el **filtro de sección μ (pi)**.

El filtro de condensador

Básicamente, el filtro de condensador es simplemente un condensador que se conecta en paralelo con la resistencia de la carga. A medida que el voltaje CC pulsante de un rectificador de media onda o de onda completa se aplica a través del condensador, éste se carga hasta alcanzar la cresta del voltaje que se aplica. Si no se conecta una resistencia de carga a través de la salida, el condensador permanecerá cargado con el voltaje máximo.

Funcionamiento del Filtro Capacitivo



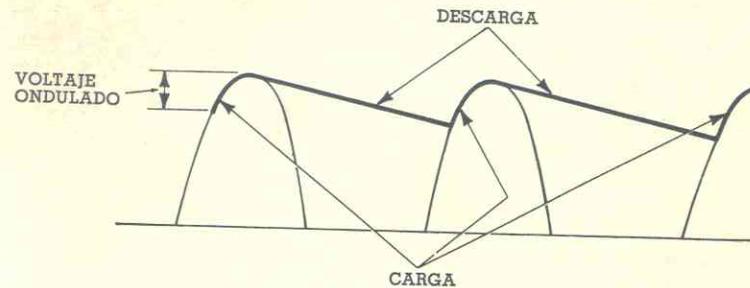
En la práctica, siempre se conecta una resistencia de carga a través del condensador. Entre las crestas, el condensador se descarga por la resistencia de carga, y el voltaje disminuye gradualmente. La cantidad en que disminuye el voltaje antes de que una cresta de la CC pulsante cargue de nuevo al condensador se llama **voltaje de ondulación**.

La cantidad de la descarga del condensador entre las crestas del voltaje se controla por la constante de tiempo RC del condensador del filtro y de la resistencia de carga. Si la resistencia de carga y la capacitancia son grandes, el voltaje de ondulación es pequeño; la CC pulsante se alisa hasta que es casi un voltaje de CC pura y constante.

Las variaciones en el voltaje de salida no son deseables porque afectan el funcionamiento de los circuitos de tubos de vacío, o de transistores que están recibiendo la CC. El aumento en el voltaje de ondulación que se produce al reducirse la resistencia de carga es una cualidad indeseable del filtro de condensador.

Otra cualidad indeseable del filtro de condensador es la corriente de carga grande. Esta corriente excesiva fluye en el condensador para cargarlo cuando el suministro de fuerza se conecta por primera vez. La corriente inicial se llama generalmente **corriente de irrupción**. Al cabo de un tiempo,

CARGA Y DESCARGA DEL FILTRO CAPACITATIVO



las corrientes de irrupción pueden dañar los fusibles y rectificadores, quemándose eventualmente. Cada corriente de irrupción, por ejemplo, hace que una pequeña parte del fusible se queme ligeramente, hasta que finalmente éste se quema. Una pequeña irrupción de corriente fluye por el rectificador durante cada ciclo para recargar el condensador parcialmente descargado. Bajo ciertas circunstancias estas irrupciones de carga pueden tornarse lo suficientemente grandes como para dañar el diodo. Los dos tipos de filtros restantes tienen componentes que reducen el efecto de las variaciones del voltaje de ondulación y de las corrientes de irrupción.

- P18. ¿Qué le pasará a la constante de tiempo RC del condensador y de la resistencia de carga si se disminuye la resistencia de carga?
- P19. Si se disminuye la resistencia de carga, el condensador de filtro se descargará con (más, menos) rapidez.
- P20. ¿Qué le pasará a la cantidad del voltaje de ondulación si se disminuye la resistencia de carga?
- P21. La corriente grande que fluye por un corto tiempo para cargar el condensador se llama.....
- P22. ¿Qué le pasará al voltaje de salida si no se conecta una resistencia de carga a través del condensador de filtro?

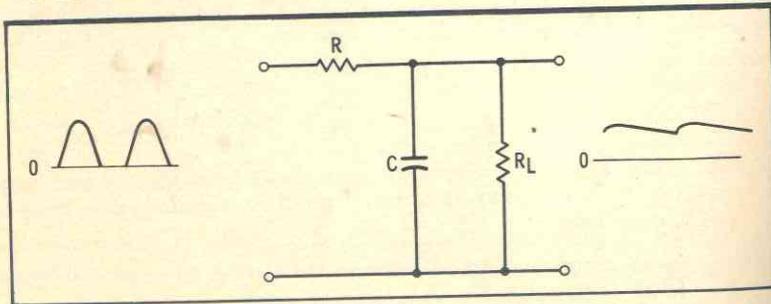
Sus respuestas deben ser:

- R18. La constante de tiempo RC será **menor** si se disminuye R_L .
- R19. Si se disminuye la resistencia de carga, el condensador de filtro se descargará con **más** rapidez.
- R20. La cantidad del voltaje de ondulación **disminuye** a medida que la resistencia de carga del filtro de condensador disminuye.
- R21. La corriente grande que fluye por un corto tiempo para cargar el condensador se llama **corriente de irrupción**.
- R22. Si no se conecta una resistencia de carga a través del condensador de filtro, el condensador se cargará **hasta alcanzar la cresta del voltaje de entrada del filtro y el voltaje de salida permanecerá en este valor**.

Filtros de sección en L

Un filtro de sección en L reduce las corrientes de irrupción mediante un resistor o inductor limitador de corriente. Este dispositivo se conecta en serie con el condensador. Un resistor limitador controla las corrientes de irrupción al introducir una constante de tiempo RC para atrasar la carga del condensador.

FILTRO DE SECCION L CON RESISTORES EN SERIE

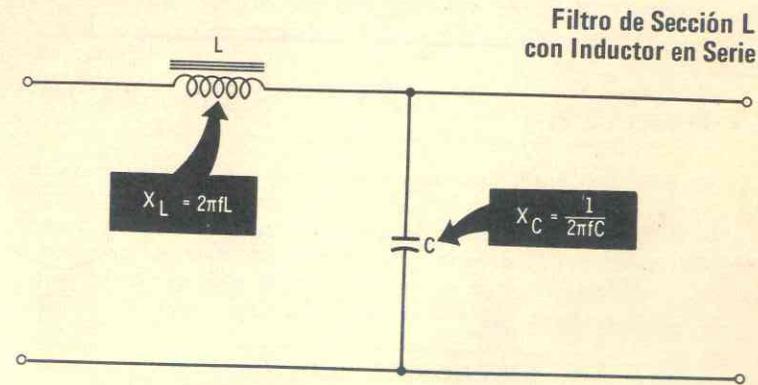


Cuando se usa un inductor como elemento en serie, las corrientes de irrupción se reducen en forma diferente. El inductor se opone a un cambio en la corriente al crear una fem contraria. Como resultado, la corriente de irrupción se reduce grandemente y el condensador se carga con mayor lentitud.

El inductor que se usa en un filtro de sección en L se añade también a la acción filtradora del condensador. El inductor reacciona a los cam-

bios en la corriente que produce el voltaje de ondulación en la misma forma que reacciona a la corriente de irrupción. La fem contraria tiende a cancelar los efectos del voltaje de ondulación.

El funcionamiento de un filtro de sección en L también se puede explicar en términos de reactancia. En un simple filtro de condensador, y en un filtro de sección en L con un resistor limitador, la acción filtradora resulta solamente de la reactancia del condensador (X_C). El condensador presenta una baja resistencia a la CA y una reactancia muy alta a la CC. La parte CA de la entrada, por lo tanto, se deriva a través del condensador, pero la parte CC va directamente a la carga.



Para el filtro de sección en L con un inductor, la reactancia del inductor se debe considerar también. La reactancia es alta para la CA, pero no existe con la CC. El inductor presenta una alta resistencia a la corriente CA que produce el voltaje de ondulación. Por lo tanto, el inductor tiende a bloquear esta corriente; le presenta cero reactancia a la CC y le permite pasar rápidamente. La CA que el inductor no bloquea la deriva en su mayoría el condensador.

- P23. En un filtro de sección en L, un..... puede bloquear la ondulación CA.
- P24. En un filtro de sección en L, un..... puede derivar la ondulación CA.
- P25. Un filtro de sección en L con un resistor limitador es (más, menos) efectivo que uno con un inductor.
- P26. Un inductor tiene una reactancia..... para la CA que para la CC.

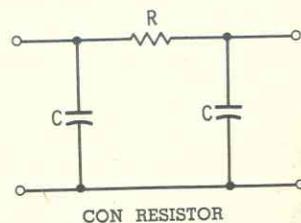
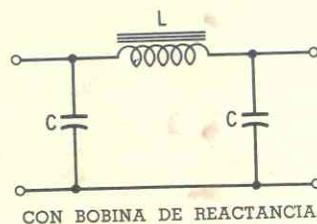
Sus respuestas deben ser:

- R23. En un filtro de sección en L, un inductor puede bloquear la ondulación CA.
- R24. En un filtro de sección en L, un condensador puede derivar la ondulación CA.
- R25. Un filtro de sección en L con un resistor limitador es menos efectivo que uno con un inductor.
- R26. Un inductor tiene una reactancia mayor para la CA que para la CC.

Filtros de sección Pi

Un filtro de sección Pi tiene tres elementos: un condensador de derivación de entrada, una inductancia en serie (inductor), y un condensador de derivación de salida. A medida de que el voltaje de entrada alcanza el primer condensador, el condensador deriva a tierra en mayor parte de la corriente de ondulación. Esto presenta una forma de onda más lisa a la inductancia en serie. La inductancia en serie presenta una reactancia

FILTROS DE SECCION PI



inductiva alta a la corriente de ondulación CA y tiende a bloquearla. Es decir, la inductancia en serie se opone a un cambio en la corriente, y al hacerlo, alisa la corriente pasando por ella. Finalmente, el segundo condensador se diseña para que derive a tierra cualquier componente de CA que quede. La salida resultante es un voltaje CC liso.

Para ahorrar dinero, la inductancia en serie se reemplaza a veces con un resistor. Esto provoca una acción menos lisa. Un filtro de sección Pi provisto de un resistor depende para lograr una parte de su efectividad de la constante de tiempo larga del resistor en serie y del condensador de salida. Si esta constante de tiempo es mucho mayor que el período de la

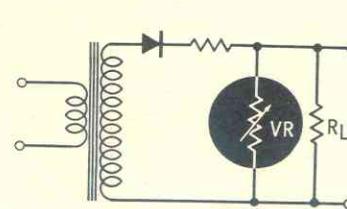
ondulación CA, el condensador de salida cargará y descargará muy poco durante cualquier impulso del voltaje de ondulación. La forma de onda se alisará entonces. Sin embargo, el resistor también consume fuerza. Esta es una consideración importante en un circuito de suministro de fuerza.

SUMINISTROS DE FUERZA REGULADOS

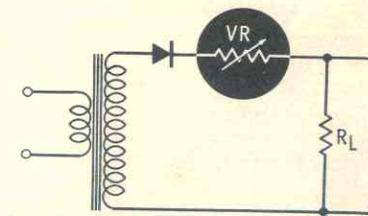
Los suministros de fuerza regulados son aquellos que mantienen constante el voltaje (o la corriente) que suministran a la carga, aunque el voltaje de la fuente de fuerza fluctúe o la carga cambie.

Básicamente, la parte reguladora de voltaje del suministro de fuerza regulado es una resistencia variable que cambia automáticamente a medida que el voltaje de salida cambia. (No se usa un filtro en la figura a fin de simplificar ésta.)

REGULADORES DE VOLTAJE REPRESENTADOS COMO RESISTORES VARIABLES



EN DERIVACION CON EL SUMINISTRO DE ENERGIA



EN SERIE CON EL SUMINISTRO DE ENERGIA

Un regulador de voltaje de derivación se combina con la resistencia del suministro de fuerza, o con un resistor adicional, para formar un divisor de voltaje. A medida que aumenta la resistencia de la derivación, aparece más voltaje a través de ella como una salida a la carga. A medida que la resistencia de la derivación disminuye, menos voltaje aparece a través de ella.

El regulador de voltaje en serie forma un divisor de voltaje en serie con la resistencia de la carga. A medida que aumenta la resistencia en serie, menos voltaje aparece a través de la resistencia de la carga. A medida que la resistencia en serie disminuye, aparece más voltaje a través de la carga.

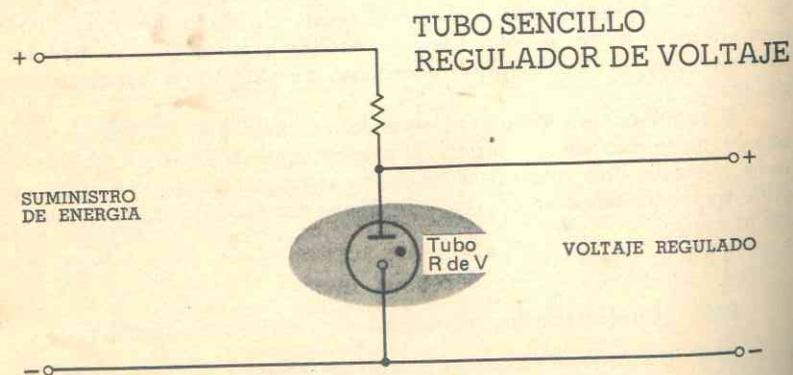
- P27. ¿Cuáles son los elementos de un filtro de sección pi?
- P28. Un filtro de sección pi con un resistor da una acción filtradora (mejor, peor) que uno con una inductancia en serie.
- P29. Un regulador de voltaje se puede comparar a un resistor....
.....

Sus respuestas deben ser:

- R27.** Los tres elementos de un filtro de sección pi son el condensador de derivación de entrada, una inductancia en serie y un condensador de derivación de salida.
- R28.** Un filtro de sección pi con resistor da una acción filtradora peor que uno con una inductancia en serie.
- R29.** Un regulador de voltaje se puede comparar a un resistor variable.

La resistencia del regulador de voltaje de derivación aumenta cuando disminuye el voltaje de salida, y disminuye cuando aumenta éste. Por lo que, automáticamente, hace retornar el voltaje de salida a un nivel normal. Similarmente, la resistencia de un regulador de voltaje en serie aumenta a medida que el voltaje de salida aumenta, y disminuye a medida que el voltaje de salida disminuye.

Hay varias formas de obtener una resistencia que varíe con el voltaje de salida. Una de estas es el tubo regulador de voltaje gaseoso (VR). Este es un diodo que se llena con un gas conductor de corriente. A medida que aumenta el voltaje que se aplica a través de este tubo, el gas se ioniza más, y la resistencia del tubo disminuye. Este tipo de tubo se puede usar como un regulador de voltaje de derivación.

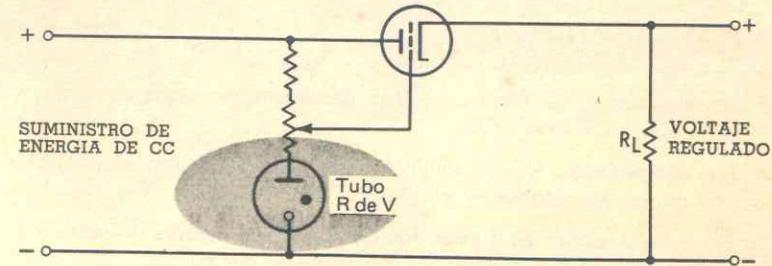


El resistor limitador en serie con el tubo VR se selecciona para limitar la corriente a través del tubo a un valor seguro. Los reguladores de voltaje gaseosos mantienen el voltaje de salida constante cerca del 1%. Vienen

en un número de valores específicos de voltaje. Para cambiar de salida constante, es necesario cambiar el tubo. Para obtener un valor de voltaje mayor, los tubos VR se pueden conectar en serie en forma tal que solamente parte del voltaje de salida aparezca a través de cada uno.

El voltaje que se regula por medio de un tubo regulador VR se fija en un valor. Se usan generalmente tubos de vacío, cuando es deseable variar el valor del voltaje que se regula.

REGULADOR DE VOLTAJE DE TUBO DE VACIO



Se puede usar un circuito de tubos de vacío como un regulador de voltaje en serie. La corriente que pasa por el tubo, del cátodo a la placa, depende de la polarización de la rejilla. Es decir, que la resistencia del tubo depende de la polarización de la rejilla. Por lo tanto, al variar el voltaje en la rejilla, se puede cambiar la resistencia del tubo si es necesario.

Se necesita una fuente para la polarización de la rejilla. Esta puede ser una batería o un regulador VR que se conecta a la fuente de fuerza. Un potenciómetro en el circuito de la rejilla hace posible el ajuste de la polarización.

Si el voltaje de la fuente de fuerza se eleva, el voltaje en el cátodo del triodo también aumenta. Esto produce un aumento en la polarización negativa de la rejilla y reduce la corriente que fluye por el tubo, aumentando la resistencia de la placa efectivamente, por lo que se reduce el voltaje de salida. Si el voltaje de la fuente de fuerza cae, se produce una acción opuesta. Este circuito también compensará los cambios ocurridos en la resistencia de la carga. Se puede usar un transistor en lugar de un tubo en un circuito similar.

- P30.** La resistencia de un regulador de voltaje de derivación disminuye a medida que el voltaje de salida.....
- P31.** La resistencia de un regulador de voltaje en serie..... a medida que el voltaje de salida disminuye.

Sus respuestas deben ser:

R30. La resistencia de un regulador de voltaje en serie **disminuye** a medida que el voltaje de salida disminuye.

R31. La resistencia de un regulador de voltaje en serie **disminuye** a medida que el voltaje de salida disminuye.

LO QUE HA APRENDIDO

1. Los suministros de fuerza se usan generalmente para convertir voltajes CA en voltajes CC.
2. Los componentes de un suministro de fuerza CC son el control de voltaje, el rectificador, y el filtro.
3. Un transformador de fuerza facilita CA a los valores de voltaje que se desean como una entrada al suministro de fuerza.
4. Se usa un diodo (o una combinación de ellos) para convertir la CA en CC pulsante.
5. Básicamente hay dos tipos de rectificadores: de media onda y de onda completa.
6. Un rectificador de puente es un tipo de rectificador de onda completa; otro tipo usa dos diodos.
7. El filtro alisa la CC pulsante y proporciona una CC casi pura.
8. Tres de los filtros más comúnmente usados son el capacitativo, el de sección L, y el de sección pi.
9. El componente de CA de la CC que se filtra se llama voltaje de ondulación.
10. Los reguladores de voltaje se usan para suministrar una CC bastante constante.
11. Los reguladores de voltaje hacen ajustes en el voltaje de salida del suministro de fuerza al variar la resistencia de los tubos de vacío y, o, de los transistores.
12. Los reguladores de voltaje se conectan en serie o en paralelo con la resistencia de la carga.
13. Los tubos de gas y los triodos son dos aparatos comunes que se usan para suministrar una resistencia variable en los circuitos reguladores.

Amplificadores y Osciladores

LO QUE APRENDERÁ

Va usted a aprender cómo se usan los tubos de vacío en los circuitos amplificadores prácticos, y recibirá más práctica en el uso de las curvas de características de los tubos. Aprenderá a crear circuitos equivalentes para tubos, y algo sobre la polarización de circuitos. Descubrirá la diferencia entre los amplificadores de voltaje y los de fuerza. Se discutirán los métodos comunes de acoplar una serie de amplificadores de un solo tubo para producir un amplificador de etapas múltiples, o escalonadas. Se familiarizará con la forma en que los osciladores generan voltajes de CA mediante el uso de la retroalimentación positiva.

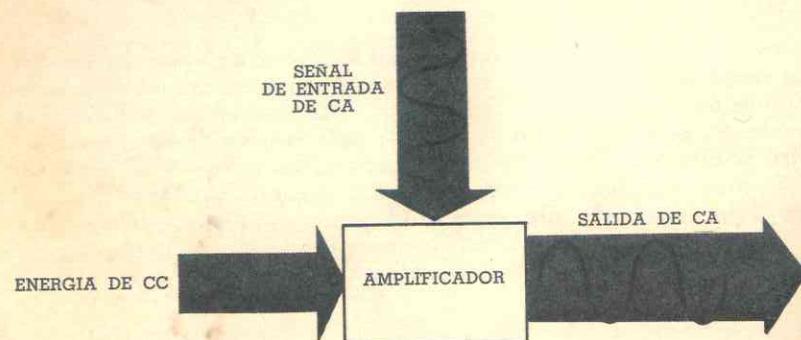
¿QUE ES UN AMPLIFICADOR?

Los amplificadores probablemente son los circuitos más comunes en electrónica. Se usan en todas partes, desde los receptores de radio y transmisores de televisión hasta los aparatos de radar y computadores gigantes.

Todos sabemos lo que realiza un amplificador de sonido de alta fidelidad. Toma una señal muy débil del fonocaptor o de la cabeza de una cinta magnetofónica y aumenta la amplitud de esta señal hasta que la misma tiene la fuerza suficiente para impulsar varios altoparlantes. Todos los amplificadores aumentan la amplitud de una señal de entrada hasta que ésta es lo suficientemente amplia para la aplicación que se intenta realizar. Una de las funciones principales del receptor de televisión es la de amplificar las señales de voltaje extremadamente débiles que se inducen en la antena lo suficiente para que produzcan una imagen en el tubo de pantalla.

Hay muchas clases diferentes de amplificadores. Algunos tienen la función principal de amplificar una señal de voltaje; éstos son los amplificadores de voltaje. Otros son los amplificadores de fuerza para conducir cargas finales. Algunos se diseñan para funcionar a baja frecuencia: éstos son amplificadores operacionales y de CC. Otros funcionan mejor en el alcance de la audiodiferencia (AF). Hay amplificadores de radiofrecuencia (RF) que se diseñan para alcances de frecuencia mayores. Algunos tienen una banda de paso muy estrecha; amplifican solamente un estrecho alcance de frecuencias. Los amplificadores en un receptor de radio son un ejemplo de este tipo: se usan para amplificar ondas sinusoidales. Otros, como los amplificadores de señales de video en los aparatos de televisión deben tener una banda de paso bastante ancha para que no se distorsionen las formas de onda complejas.

PRINCIPIO DEL AMPLIFICADOR BASICO



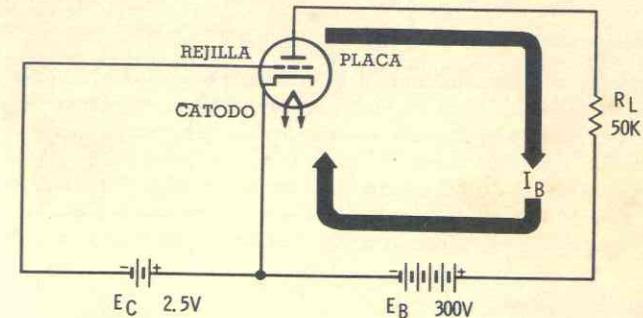
En el diagrama superior se puede ver que el amplificador no transforma mágicamente una señal de un voltaje de fuerza baja en una señal mayor. Es imposible aumentar la fuerza de entrada. En su lugar, el amplificador controla la fuerza CC del suministro de fuerza de acuerdo con las variaciones en la señal CA de entrada.

Generalmente es deseable tener una salida que es una duplicación razonablemente buena de la entrada. Pero debido a las limitaciones de los tubos y los circuitos, no es siempre posible lograrlo. Cuando la salida no sigue exactamente a la entrada, hay una distorsión. La cantidad de distorsión permisible depende del propósito de la señal de salida. Los amplificadores libres de distorsión generalmente son caros y complejos.

El flujo de la corriente de placa en un amplificador

Examinemos ahora un simple amplificador de tubo de vacío. Este usa un triodo, o sease un tubo con tres elementos: cátodo, rejilla y placa. También hay un calentador para mantener el cátodo en temperatura de emisión, pero normalmente éste no se considera un elemento activo del circuito. A

Circuito del Amplificador de Triodo Básico



medida que el cátodo se calienta hasta alcanzar la temperatura de emisión, empieza a emitir electrones en el espacio que lo rodea. Un voltaje positivo (E_B) que se aplica a la placa del tubo atrae los electrones negativos. Los electrones abandonan la batería de 300 voltios por su terminal negativo, fluyen en el cátodo, son emitidos y entran en la nube de electrones. Entonces éstos son atraídos a la placa y fluyen a través del resistor de carga para regresar al terminal positivo de la batería. Esta es la corriente de placa CC de estado constante (I_B).

La corriente del tubo fluye en una gaza, como se muestra, y encuentra varias resistencias en su camino. Estas incluyen la pequeña resistencia interna de la batería, la resistencia del camino del cátodo a la placa a través del tubo resistencia de placa (R_P), y la resistencia de la carga (R_L). La suma de estas tres resistencias y la cantidad del voltaje de la batería determinan la magnitud de la corriente de placa (I_B). El voltaje de la batería e I_B determinan la entrada de fuerza CC al amplificador.

- P1. Un amplificador tiene dos entradas: una entrada de..... grande y una entrada de..... pequeña.
- P2. La salida de un amplificador es la entrada de..... que se altera en forma tal que se asemeja a la..... de entrada.

Sus respuestas deben ser:

- R1. Un amplificador tiene dos entradas: una entrada de fuerza CC grande y una entrada de señal CA pequeña.
- R2. La salida de un amplificador es la entrada de fuerza CC que se altera en forma tal que se asemeja a la señal de entrada.

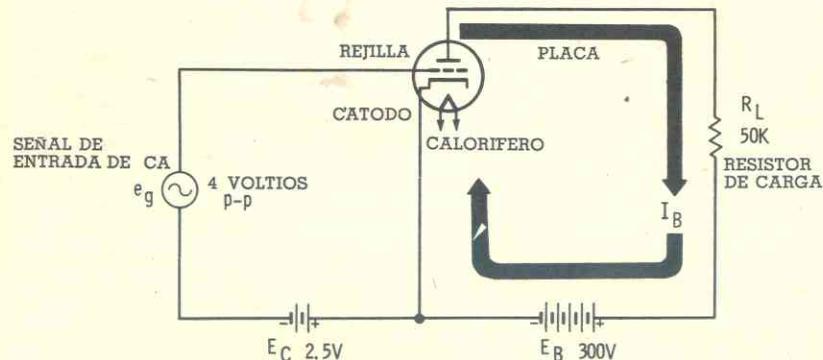
Control de la corriente de placa

El diagrama del circuito amplificador muestra un voltaje negativo pequeño (E_c) en la rejilla. Por lo tanto, la rejilla tiene el efecto de repeler los electrones negativos en la nube de electrones que rodea al cátodo. Como que la rejilla está más cerca del cátodo que la placa, un pequeño cambio en el voltaje de la rejilla afecta a la corriente de placa tanto como un gran cambio en el voltaje de placa. Es decir, un pequeño voltaje de rejilla controla una corriente de placa grande, haciendo posible la amplificación.

Ganancia de voltaje

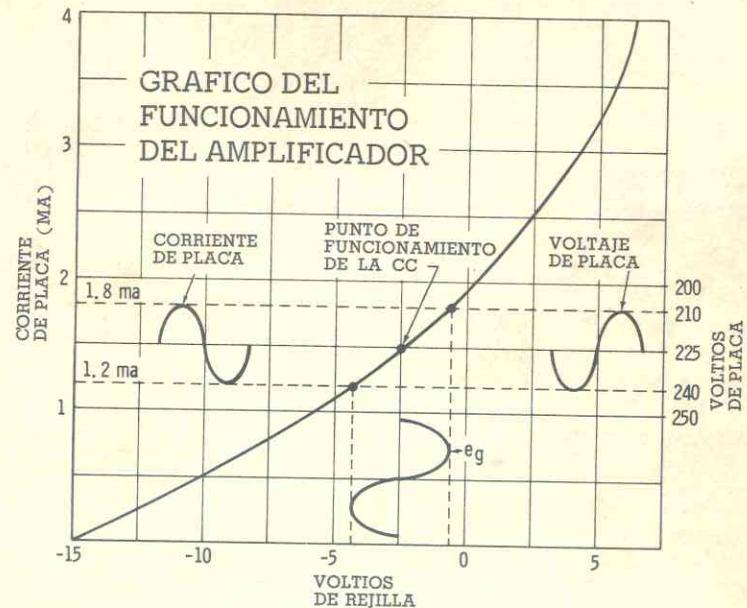
La polarización de la rejilla (E_c) se ajusta en forma tal que permite el flujo de una pequeña cantidad de corriente de placa cuando no hay una señal de entrada presente. Ahora se introduce una señal de voltaje CA (e_g) de entrada. Suponga que el voltaje CC de polarización de la rejilla es -2.5 voltios y se superpone sobre él una señal CA que varía 2 voltios en cada dirección (4 voltios de cima a cima). El gráfico en la próxima pá-

AMPLIFICADOR CON SEÑAL DE ENTRADA



gina muestra como la corriente de placa y el voltaje cambian con el voltaje de la rejilla en un tipo de tubo en particular que se usa en el circuito que se muestra arriba. La corriente de placa cambia de 1.2 a 1.8 miliamperios.

Esta corriente, fluyendo por el resistor de carga R_L , produce un cambio en la caída del voltaje de $50,000 \times 0.0012 = 60$ voltios a $50,000 \times 0.0018 = 90$ voltios. La caída de voltaje con la polarización CC que solamente se aplica (no hay una señal de entrada) es de 75 voltios.



Debido a que el voltaje entre la placa y el cátodo es de 300 voltios, el voltaje entre la placa y el cátodo será de 300 menos la caída en el voltaje de la carga al resistor (sin contar la pequeña resistencia de la batería). Así, el voltaje de placa tiene un valor quiescente (no hay señal) de 225 voltios, y con los 4 voltios (de cima a cima) de la señal de entrada, varía entre 210 y 240 voltios.

Una señal CA con una cima de 2 voltios se colocó en el amplificador, y se obtuvo una salida CA con una amplitud de cima de 15 voltios ($\frac{1}{2}$ de 240 — 210). Este voltaje CA de salida tiene 7.5 veces la amplitud del voltaje CA de entrada. Esta es una ganancia neta de voltaje de 7.5.

- P3. En el circuito que se mostró, la señal CA de entrada se aplica a la..... del tubo.
- P4. El voltaje de salida se produce por cambios en el flujo de por el resistor de.....

Sus respuestas deben ser:

- R3. En el circuito que se mostró, la señal CA de entrada se aplica a la **rejilla** del tubo.
- R4. El voltaje de salida se produce por cambios en el flujo de la **corriente** a través del resistor de **placa**.

Inversión de fase

En el amplificador que se describió en las páginas anteriores, el voltaje de placa es la diferencia entre el suministro del voltaje de placa y la caída del voltaje del resistor de carga. Así, cuando la caída del resistor de carga es mayor, el voltaje de placa que queda está en su valor menor. La caída del resistor de carga es mayor (el voltaje de placa está en su valor menor) cuando la señal de voltaje de la rejilla se encuentra en su cima positiva. Cuando el voltaje de la rejilla está en su cima negativa, el voltaje de placa se encuentra en su nivel mayor. Entonces, esto significa que existe una diferencia de fase de 180 grados entre los voltajes de entrada y de salida.

TETRODOS Y PENTODOS

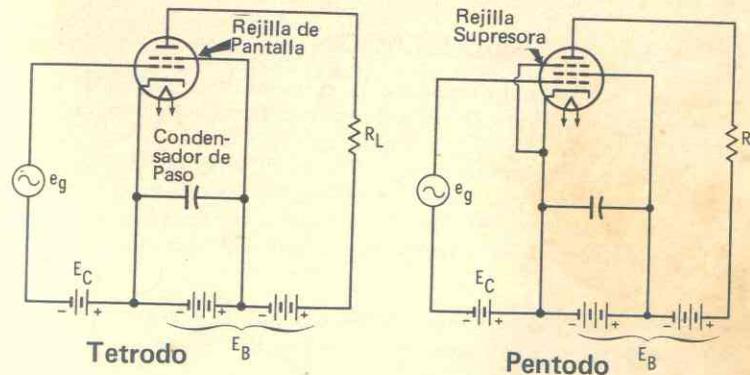
Como ya usted sabe, muchos tubos tienen más electrodos que los tres del triodo descrito hasta ahora en este capítulo. El *tetrodo* (cuatro electrodos) tiene un cuarto elemento, llamado *rejilla de pantalla*, entre la rejilla de control y la placa. Este tubo se creó para vencer una diferencia particular del triodo.

Una de las limitaciones prácticas de los amplificadores de triodo es la de que a altas frecuencias la *capacitancia interelectrónica* cobra importancia. Esta capacitancia existe entre el cátodo y la rejilla, entre la rejilla y la placa y entre el cátodo y la placa, y normalmente es muy pequeña. A medida que la frecuencia de entrada aumenta, las reactancias de estas capacitancias disminuyen, produciendo efectos indeseables. El acoplamiento capacitativo de la placa (salida) a la rejilla (entrada) es especialmente indeseable. Esta capacitancia puede resultar en una retroalimentación indeseable, reducción en la ganancia, y distorsión. La rejilla de pantalla del tetrodo funciona como un blindaje electrostático entre la rejilla y la placa. De esta forma, ella reduce la capacitancia indeseable entre la placa y la rejilla a un valor mucho menor.

El *pentodo* tiene una tercera rejilla situada entre la rejilla de pantalla

y la placa. Este quinto electrodo se llama *rejilla supresora*. El propósito de la rejilla supresora es el de impedir una forma de conducción inversa que ocurre en los tetrodos. Cuando los electrodos chocan contra la placa con suficiente velocidad, la fuerza desplaza otros electrones que rebotan hacia la rejilla de pantalla. Esta *emisión secundaria* es en efecto, un flujo de corriente inversa de la placa hacia la rejilla de pantalla.

AMPLIFICADORES CON TUBOS MULTIREJILLA



La rejilla supresora impide el flujo de esta corriente. Se conecta eléctricamente al cátodo, haciéndolo negativo con respecto a la placa y así repele cualquier electrón que trate de viajar de la placa hacia la rejilla de pantalla. La rejilla supresora es en realidad una rejilla bastante ancha para que no interfiera con el flujo de corriente principal entre el cátodo y la placa.

Aunque las curvas de características del tetrodo y del pentodo difieren de las del triodo, la acción amplificadora básica es igual. A través de este capítulo, los amplificadores se explicarán en términos de triodos. Se sobreentiende que, en caso de necesidad, los tetrodos y pentodos también se pueden usar como amplificadores.

- P5. La diferencia de fase entre las señales de entrada y de salida en el amplificador de voltaje que se acaba de describir es de.....
- P6. La acción amplificadora básica de los tetrodos y pentodos (es, no es) igual que la de los triodos.

Sus respuestas deben ser:

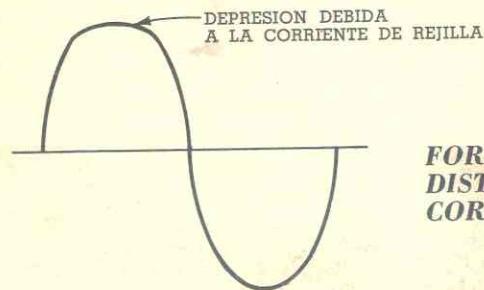
- R5. La diferencia de fase entre las señales de entrada y de salida en el amplificador de voltaje que se acaba de describir es de 180° .
- R6. La acción amplificadora básica de los tetrodos y pentodos es igual que la de los triodos.

POLARIZACION

El gráfico en la página 143 muestra la corriente y el voltaje de placa para un voltaje de rejilla dado en un circuito amplificador determinado. Un punto en la curva indica el voltaje de polarización CC que se aplica a la rejilla. Este se llama el punto de funcionamiento CC o el punto quiescente. Con cada circuito amplificador, este punto se debe escoger correctamente para obtener un funcionamiento correcto. Para una reproducción exacta de la señal de entrada, la polarización de la rejilla se escoge usualmente para que:

1. Sea mayor que el valor máximo de la señal; por lo que el cambio de la señal de voltaje nunca hace positiva la rejilla con respecto al cátodo.
2. El cambio completo de la señal de voltaje se realiza sobre una porción lineal (derecha) de la curva de característica.

Las reglas que se mencionan arriba se ignoran en tipos de circuitos especiales. Sin embargo, la rejilla no se torna positiva durante parte alguna del ciclo de entrada. Si esto sucede, la rejilla positiva atrae electrones y fluye una corriente del cátodo a la rejilla. Esto produce distorsión porque,

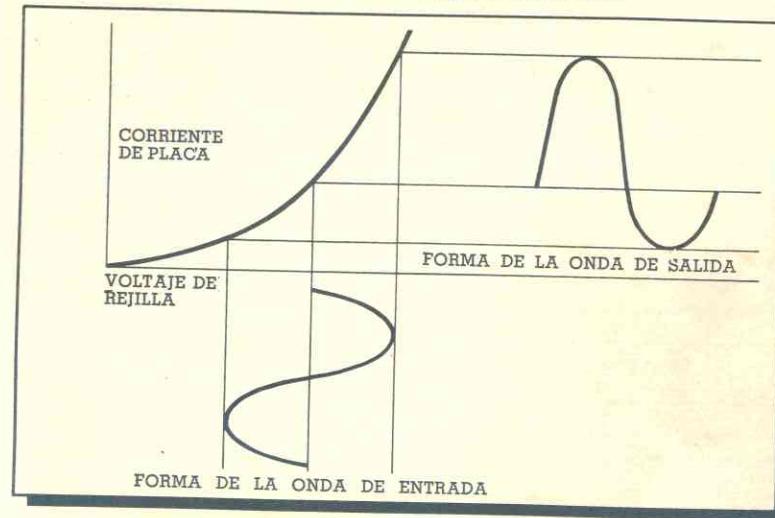


FORMA DE ONDA DISTORSIONADA DE CORRIENTE DE PLACA

durante la parte del ciclo en que fluye la corriente de rejilla, la cantidad de corriente de rejilla disminuye la cantidad de corriente que fluye hacia la placa. Por lo tanto, en lo que se refiere a la placa, hay una caída en la forma de onda, y ésta se distorsiona. También, la fuerza total que se crea

en la placa se hace menor resultando en una pérdida de fuerza general. Si se viola la regla 2 y se hace funcionar el tubo en la porción curvada de su curva de característica, la onda de salida se distorsionará, como se ilustra abajo. Las mitades positivas y negativas de la señal de entrada son

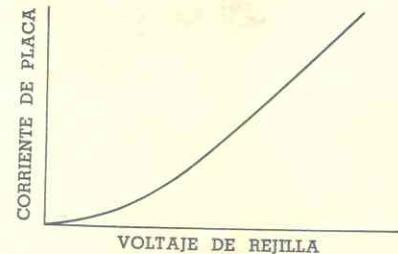
Distorsión debida al Funcionamiento Alineal



iguales, pero debido a la forma de la curva, las dos mitades positiva y negativa de la salida son muy diferentes.

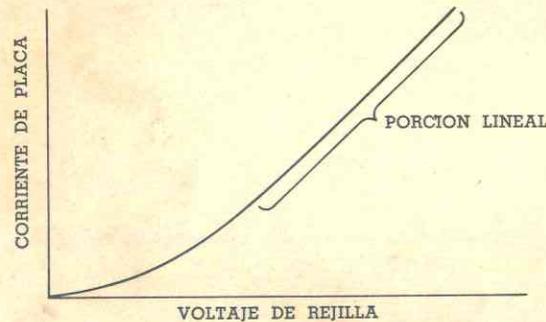
Distorsión

- P7. ¿Cuáles son las dos reglas para determinar un voltaje CC de polarización de rejilla adecuado?
- P8. El voltaje CC que se aplica a la rejilla se llama.....
- P9. Indique en la curva que se ilustra abajo dónde se podría situar un punto de funcionamiento de CC adecuado.



Sus respuestas deben ser:

- R7. El voltaje de rejilla CC debe ser **superior** al voltaje más alto de la señal CA. El voltaje CC, más el voltaje de señal debe estar en la porción de línea recta de voltaje de placa-corriente-rejilla.
- R8. El voltaje CC que se aplica se llama **polarización de rejilla**.
- R9. El punto de funcionamiento se debe colocar en la **porción lineal** de la curva.



LINEA DE CARGA

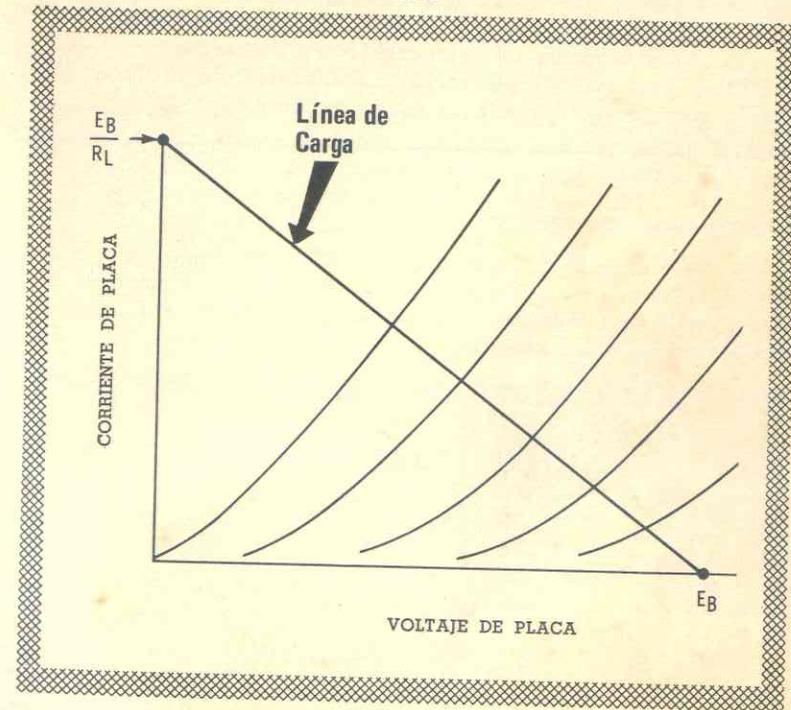
Una forma conveniente de analizar un amplificador es mediante una línea de carga que se traza en la curva de característica de la placa del tubo. Estas curvas relacionan la corriente de placa (I_p) al voltaje de placa (E_p) para valores diferentes del voltaje de rejilla (E_g).

La línea de carga se traza en la forma siguiente: se selecciona en el eje horizontal un punto correspondiente al valor del suministro del voltaje de placa (E_B). Se marca otro punto en el eje vertical a un valor de I_p igual al suministro del voltaje de placa dividido entre el valor efectivo de la resistencia de carga. La línea de carga une estos dos puntos.

Estos puntos representan los extremos teóricos que el tubo puede alcanzar. Si el voltaje de rejilla es tal que no puede fluir corriente, I_p es cero, y todo el voltaje E_B aparece a través del tubo. Este es el punto en el eje X. Si el voltaje de rejilla es tal que el tubo conduce tanto que tiene una resistencia cero, la resistencia de carga estará limitada solamente por

la corriente de carga, y no hay una caída de voltaje entre la placa y el cátodo. Este es el punto en el eje Y. Desde luego, este punto es teórico solamente. El tubo nunca es un conductor perfecto, por lo que nunca puede alcanzar ese punto en la línea de carga.

UNA LINEA DE CARGA



Cambiando el suministro del voltaje de placa se cambia la posición de la línea de carga. Cambiando la resistencia de carga se cambia la inclinación de la línea de carga.

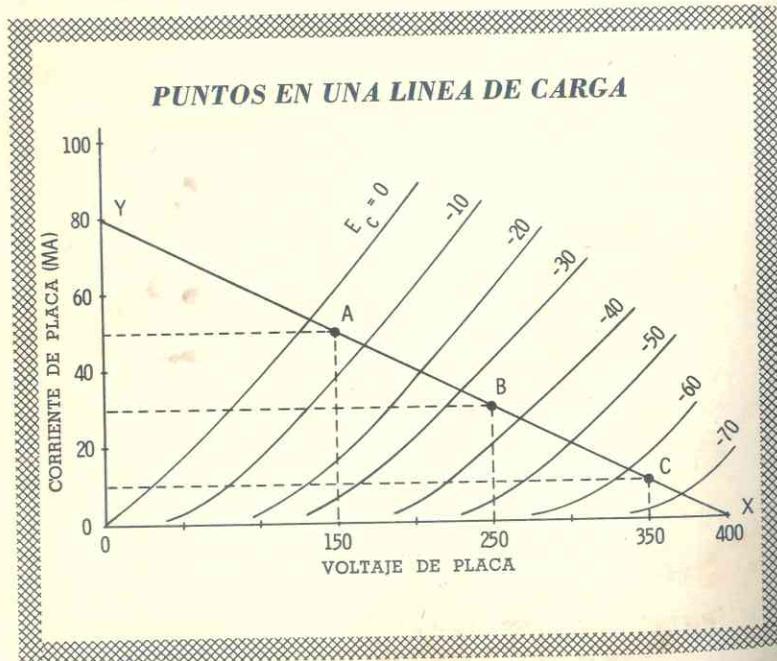
- P10. Un extremo de la línea de carga pasa por el punto en el eje horizontal correspondiente al voltaje.....
- P11. ¿A qué valor de la corriente de placa corresponde el punto en el eje vertical por el cual pasa el otro extremo de la línea de carga?
- P12. ¿Cómo afecta el cambio de R_p y E_B a la línea de carga?

Sus respuestas deben ser:

- R10. Un extremo de la línea de carga pasa por el punto en el eje horizontal correspondiente al voltaje de alimentación de placa.
- R11. El otro extremo de la línea de carga pasa por un punto en el eje vertical que corresponde a un valor de la corriente de placa igual al voltaje de alimentación de placa dividido entre la resistencia de carga.
- R12. El cambio de R_P cambia la inclinación de la línea de carga, y el cambio de E_B su posición.

Punto de funcionamiento

Al marcar la línea de carga con el punto correspondiente a la polarización negativa que se aplica a la rejilla, se encuentra el punto de funcionamiento del tubo. Este punto da los valores de E_P , I_P , y E_G , cuando no se aplica una señal de entrada.



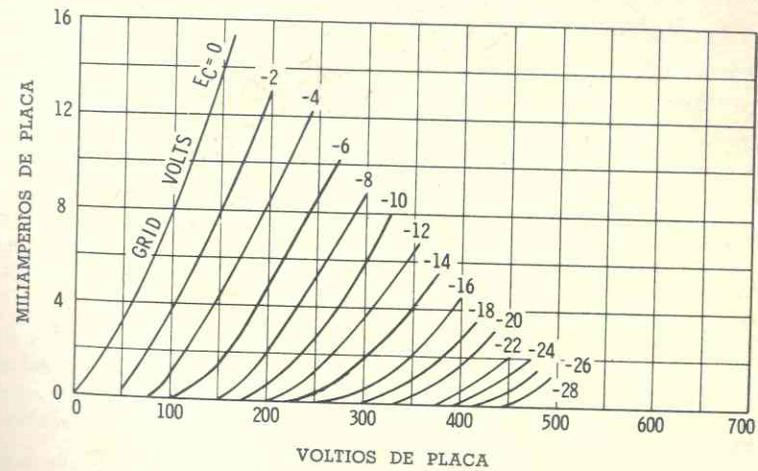
Si se conoce la amplitud de la señal de entrada CA, esta se puede marcar a lo largo de la línea de carga, tal como se ilustra en la figura.

Al trazar líneas horizontales y verticales de los dos extremos donde se hallan las cimas de E_G (puntos A y C en la figura), se pueden determinar el voltaje y la corriente de placa correspondiente.

En el diagrama que se ilustra, el voltaje de suministro de placa es de 400 voltios (punto X). El punto de funcionamiento quiescente (B) muestra que la polarización CC de la rejilla es de -35 voltios. Una señal que tiene un valor máximo de 30 voltios produce variaciones en el voltaje de rejilla de -5 a -65 voltios, produciendo variaciones en la corriente de placa de 10 a 50 miliamperios. El voltaje de placa varía de 150 a 350 voltios.

La inclinación de la línea de carga depende solamente del valor de la resistencia efectiva de la carga (R_L). Esta resistencia puede ser una combinación en paralelo de un resistor de carga y un resistor de polarización automática. O puede ser un valor equivalente del primario de un transformador de acoplamiento. En cualquier caso, los puntos para la línea de carga se calculan siempre como si la resistencia de carga fuera un solo resistor en el circuito de placa.

La figura inferior muestra un conjunto de curvas de características de un tubo. Suponga que el voltaje B es de 400 voltios y la resistencia de carga 40K.



P13. Trace la línea de carga.

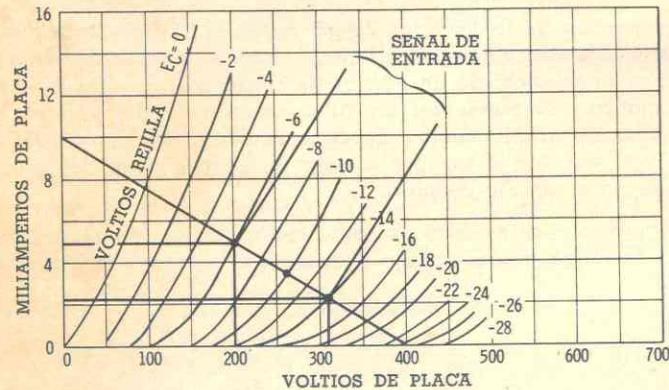
P14. Si la polarización de la rejilla es de -10 voltios y la señal de voltaje CA tiene un valor máximo de 4 voltios, trace unas líneas para mostrar los límites de la corriente de placa y el voltaje de placa.

Sus respuestas deben ser:

R13. La línea de carga debe conectar estos dos puntos:

$$I_P = 0, E_B = 400 \text{ voltios}; I_P = 10 \text{ ma}, E_B = 0$$

R14. La corriente de placa varía aproximadamente entre 2 y 5 ma. El voltaje de placa varía aproximadamente entre 200 y 310 voltios.



CLASES DE AMPLIFICADORES

La clase de un amplificador depende del alcance del voltaje de rejilla. El *amplificador de clase A* es aquel en que el voltaje de la señal nunca hace positiva a la rejilla, o la corta. Esto significa que la corriente de rejilla no fluye durante porción alguna del ciclo, y no se consume fuerza en el circuito de la rejilla.

El *amplificador de clase B*, es aquel en que la rejilla se polariza en el estado de corte, o cerca de él. El tubo conduce durante la mitad del ciclo aproximadamente (generalmente un poco menos de la mitad). La corriente de rejilla puede fluir durante una parte del período de conducción.

El *amplificador de clase C* es aquel en que el voltaje de rejilla supera al corte durante la mayoría del ciclo, pero se torna positivo en las cimas de las señales positivas. La corriente de rejilla fluye en las cimas de las señales positivas.

Como ve, los amplificadores de clase B y de clase C violan las reglas para establecer un punto de funcionamiento CC. Estos amplificadores se usan cuando no es necesario obtener una reproducción precisa de la señal de entrada completa.

CIRCUITOS EQUIVALENTES

Es difícil analizar un circuito amplificador porque los tubos de vacío son unos elementos complejos del circuito. Una forma conveniente de analizar los circuitos de tubos de vacío es la de sustituir el circuito de tubos por un *circuito equivalente* compuesto de elementos convencionales. Durante el análisis, el circuito equivalente representa con precisión el funcionamiento del tubo en lo que respecta a la señal CA.

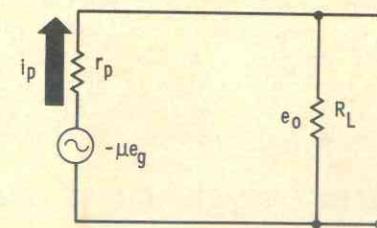
Hay dos circuitos equivalentes básicos de los tubos de vacío. Cualquiera de ellos se puede usar, dependiendo solamente de cuál es más conveniente. Estos circuitos equivalentes hacen uso de los conceptos del generador de voltaje constante y el generador de corriente constante.

En el Capítulo 2 estudió los parámetros de los tubos. Estos son: el factor de amplificación μ (μ); la transconductancia (g_m) en microohmios; y la resistencia de placa (r_p) en ohmios. También aprendió la relación entre estas tres cantidades: $\mu = g_m \times R_p$.

El generador de voltaje constante

El circuito equivalente a un generador de voltaje constante representa un tubo de vacío como una fuente de voltaje de $-\mu e_g$ voltios en serie con una resistencia r_p . El símbolo e_g representa la señal de voltaje que se aplica a la rejilla. El voltaje en los terminales de salida de este circuito depende de la resistencia de carga (R_L). El voltaje de salida e_o se crea a través de R_L .

CIRCUITO EQUIVALENTE QUE EMPLEA UN GENERADOR DE VOLTAJE CONSTANTE



P15. ¿Qué clase de amplificador se debe usar cuando se desea una distorsión mínima de la señal?

P16. ¿Qué es un circuito equivalente?

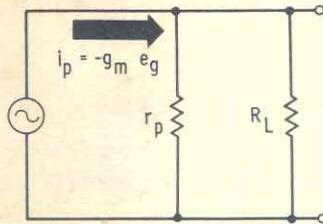
Sus respuestas deben ser:

R15. Se debe usar un **amplificador de clase A** cuando se desea una distorsión mínima de la señal.

R16. Un circuito equivalente es un circuito que se compone de elementos convencionales y se usa para representar un circuito de tubos de vacío.

El generador de corriente constante

La representación del generador de corriente constante usa una fuente de corriente constante. Esta fuente genera una corriente de $g_m e_g$ amperios. (Recuerde que $I = E/R$ y la conductancia $= 1/R$.) La corriente total es i_p , la corriente de placa. Esta fuente de corriente está siempre en paralelo con r_p , y el circuito completo se conecta a una carga (R_L).



Círculo Equivalente que emplea un Generador de Corriente Constante

Los dos circuitos equivalentes producen el mismo resultado. Generalmente, cuando se trata de corrientes usted querrá usar el circuito de corriente constante y al tratarse de voltaje, generalmente el circuito de voltaje constante es más conveniente.

Debe observar cierta precaución, porque los dos circuitos equivalentes sólo se pueden usar con seguridad con pequeños valores de señales de voltaje. Esto se debe a que ellos se basan en las curvas lineales de características de tubos. En realidad, los tubos no tienen características de líneas rectas. Cuando el circuito está funcionando con numerosos alcances de voltaje, la aproximación de línea recta deja de tener validez.

GANANCIA Y RESISTENCIA DE LA CARGA

La ganancia de voltaje, o *amplificación*, de un circuito de amplificación se da mediante la fórmula siguiente:

$$\text{amplificación} = \mu \frac{R_L}{R_L + r_p}$$

En un tubo dado, la única variable de esta fórmula es la resistencia de carga (R_L). Si se aumenta la resistencia de placa, se aumentará la ganancia; pero nunca será mayor que el factor de amplificación (μ) ideal del tubo. Ella se acercará a este valor a medida que R_L se vuelve apreciablemente mayor que la resistencia de placa (r_p).

AMPLIFICADORES DE VOLTAJE Y DE FUERZA

Para obtener una gran amplificación de *voltaje*, se debe usar un resistor de carga que es grande comparado con r_p . Sin embargo, a medida que se aumenta el valor del resistor de carga, el voltaje de salida a través de él se alza con mayor lentitud. Finalmente, cualquier aumento de R_L produce solamente un aumento insignificante en el voltaje de salida. Esto se debe a que el tubo empieza a funcionar en una porción no lineal de la curva de característica de la rejilla a medida que se aumenta la resistencia de carga. Como ya ha visto, esto se traduce en una salida pequeña y produce distorsión. El mejor valor de la resistencia de carga normalmente es uno que da una cantidad razonable de ganancia. Una carga con una resistencia de aproximadamente cuatro veces la resistencia de placa del tubo generalmente es un valor satisfactorio.

Se obtiene una fuerza máxima de la salida de un amplificador de tubos de vacío cuando el valor de la resistencia de carga es igual a r_p . Sin embargo la distorsión de la señal de salida ocurre cuando se usa este valor de la resistencia de carga. En los triodos, el mejor equilibrio entre la salida de fuerza y la distorsión existe cuando R_L es de dos a cuatro veces r_p . En los pentodos, el mejor valor de R_L es de alrededor de un décimo de r_p .

P17. Si un tubo triodo que se usa como amplificador tiene una resistencia de placa de 32,000 ohmios y una resistencia de carga de 68,000 ohmios, es probable que éste se use para producir una salida de..... máxima, con una distorsión.

P18. ¿Cuál es la amplificación de un circuito si el tubo tiene un μ de 100, una resistencia de placa de 32,000 ohmios, y una resistencia de carga de 50,000 ohmios?

P19. ¿Cuál será la ganancia si se aumenta R_L a 1,000,000 ohmios?

P20. ¿Cuál será la ganancia si se aumenta R_L a 1 megohmio?

Sus respuestas deben ser:

R17. fuerza - distorsión.

$$\text{R18. Ganancia} = \frac{\mu R_L}{R_L + r_P} = \frac{100 \times 50,000}{50,000 + 32,000} = 61$$

R19. Ganancia = 76

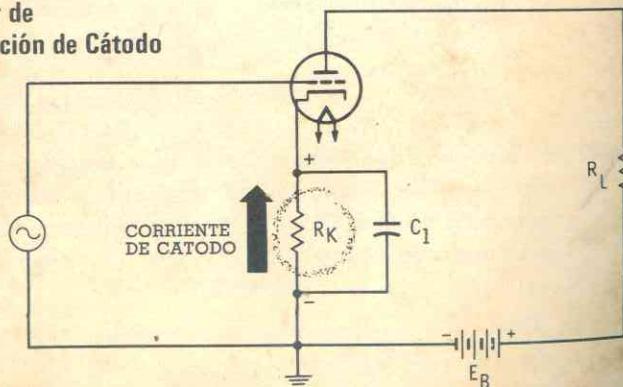
R20. Ganancia = 97

POLARIZACION AUTOMATICA DE REJILLA

Con los circuitos amplificadores mostrados hasta ahora, se usa una batería (E_c) para suministrar un pequeño voltaje negativo para la polarización de la rejilla. Sin embargo, esta no es siempre una combinación práctica. También es posible obtener este voltaje de polarización por medio de una resistencia divisora de voltaje en el suministro de fuerza. El método del divisor de voltaje y el método de la batería proporcionan lo que se conoce con el nombre de *polarización fija*.

En los circuitos prácticos, otro método común de suministrar el voltaje de rejilla es por *polarización automática*. Un tipo de polarización auto-

Circuito que emplea
Resistor de
Polarización de Cátodo



mática se obtiene mediante el uso de un resistor de polarización del cátodo, como el circuito que se ilustra arriba. Hay tipos de polarización automática que se basan en principios similares.

En el circuito que se mostró, toda la corriente del cátodo fluye por el resistor R_K . La corriente del cátodo en un circuito de triodo equivale a la corriente de placa. En un circuito de tetrodos o pentodos, la corriente del cátodo es la suma de las corrientes de placa y de rejilla de pantalla.

La corriente que pasa por R_K se traduce en una caída de voltaje que hace más positivo al cátodo que el extremo negativo del voltaje de alimentación de placa al que se conecta la rejilla. Esto es lo mismo que hacer la rejilla negativa con respecto al cátodo.

Si se conoce el voltaje de polarización de rejilla que se desea y la corriente total del cátodo, se puede calcular el valor del resistor R_K que se requiere. Por ejemplo, si E_c debe ser -5 voltios y la corriente del cátodo para esta polarización de rejilla es de 0.25 miliamperios, el valor de R_K es:

$$R_K = \frac{E_c}{I_k} = \frac{5 \text{ voltios}}{0.25 \text{ ma.}} = 20K$$

En esta combinación el voltaje de rejilla depende de la cantidad de la corriente del cátodo. A su vez, la corriente depende del voltaje de placa del tubo. A medida que aumenta el voltaje de placa del tubo, la polarización aumenta automáticamente (se hace más negativa). A medida que se reduce el voltaje de placa, la polarización se hace menos negativa. A esto se debe que el circuito se llame un circuito de polarización automática. Sin embargo, no es deseable que la polarización se afecte por una señal de voltaje que varía continuamente. Por lo tanto, el resistor polarizador R_K se deriva con un condensador C_1 en forma tal que el componente CA de la corriente del cátodo no tiene efecto sobre el voltaje de polarización. El condensador C_1 se elige de forma que su reactancia en la frecuencia de la señal de voltaje sea pequeña comparada con R_K , generalmente alrededor de una décima parte. La corriente CC debe pasar a través de R_K porque el condensador aparece como un circuito abierto a la CC. Sin embargo, el componente CA de la señal puede pasar a través de C_1 , diez veces más fácilmente que por el resistor. Por lo tanto, el voltaje CA a través del resistor es muy pequeño. Entonces el cátodo está con un potencial de tierra en lo que se refiere a la CA.

P21. ¿Cómo puede el resistor polarizador del cátodo proporcionar una polarización de rejilla?

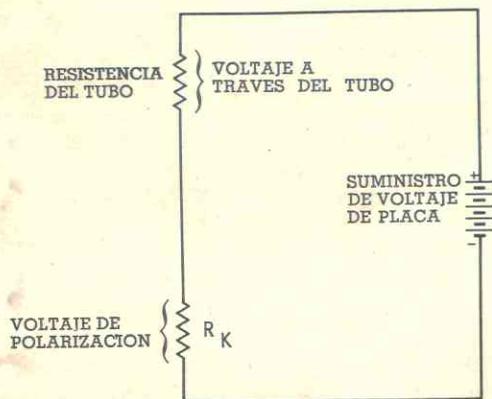
P22. ¿Por qué se coloca un condensador a través de un resistor polarizador del cátodo?

Sus respuestas deben ser:

- R21. El flujo de la corriente de cátodo a través del resistor polarizador de cátodo produce una caída de voltaje que hace el **cátodo positivo con respecto a la rejilla**. Esto es lo mismo que hacer la rejilla negativa con respecto al cátodo.
- R22. El condensador a través del resistor polarizador del cátodo **impide que un voltaje de señal de frecuencia aparezca a través del resistor**.

Efecto de la polarización del cátodo

Cuando se usa un resistor polarizador del cátodo, es necesario tener un voltaje de suministro de placa mayor que el que se necesita con una polarización fija. El voltaje de polarización de rejilla se extrae del suministro del voltaje de placa por medio de un divisor de voltaje que consiste



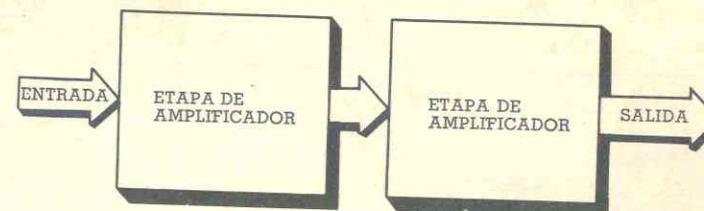
del resistor de polarización y la resistencia de placa CC del tubo. El voltaje de placa en lo concerniente al tubo es solamente aquella parte del suministro de voltaje que aparece a través de la resistencia de placa. Por lo tanto, el suministro de voltaje de placa debe proporcionar el voltaje de polarización además del voltaje de placa.

AMPLIFICADORES DE ETAPAS MULTIPLES

En muchas aplicaciones un amplificador de un solo tubo no puede proporcionar toda la amplificación que se requiere. Entonces es necesario conectar dos o más circuitos amplificadores (que se llaman *etapas*), uno des-

pues del otro. Entonces cada etapa amplifica la salida de la etapa anterior, hasta que se alcanza la cantidad deseada de amplificación. Esto sucede, por ejemplo, en los receptores de televisión que tienen varios amplificadores de FI conectados consecutivamente. Esta combinación se llama a veces *amplificador en cascada*.

AMPLIFICADOR EN CASCADA



En una cadena amplificadora de etapas múltiples, generalmente se usan amplificadores de voltaje en todas las etapas excepto la de salida. En esta forma sólo se trabaja con corrientes muy pequeñas. La señal se aumenta gradualmente a un voltaje mayor pero con muy poca fuerza. La señal se convierte en la salida de fuerza que se necesita en la última etapa. Cuando varias etapas de amplificación se acoplan mutuamente, es necesario tener algún medio de conectarlas para obtener una transferencia de la señal máxima sin afectar la polarización de los tubos individuales.

Hay cuatro formas principales de acoplar las etapas amplificadoras de tubos de vacío. Estas son: *acoplamiento de resistencia-capacitancia*, *de impedancia-capacitancia*, *de transformador* y *directa*. Las dos primeras usan un condensador acoplador para bloquear la CC; la tercera realiza lo mismo con un transformador.

Algunos amplificadores especiales se diseñan para amplificar frecuencias muy bajas, hasta las que tienen cero cps (CC). Las etapas de estos amplificadores se acoplan directamente, porque un condensador o transformador acoplador bloqueará la CC y las señales de frecuencias muy bajas.

P23. En un amplificador que tiene un resistor polarizador de cátodo el voltaje de placa es menor que el voltaje de alimentación de placa en una cantidad igual a.....

P24. ¿Cuáles son las cuatro formas principales de acoplar las etapas amplificadoras de tubos de vacío?

Sus respuestas deben ser:

R23. En un amplificador que tiene un resistor polarizador de cátodo el voltaje de placa es menor que el voltaje de alimentación de placa en una cantidad igual al voltaje de polarización.

R24. Estas son: **acoplamiento de resistencia-capacitancia, de impedancia-capacitancia, de transformador, y directa.**

Igualación de las impedancias

Cuando se acoplan mutuamente dos etapas amplificadoras, o una etapa amplificadora y un aparato de salida como una bocina, es importante el considerar las impedancias de entrada y de salida correspondientes.

Por ejemplo, consideremos el acoplamiento de un amplificador a una bocina. El amplificador de tubo de vacío es un aparato que funciona mejor con un nivel de corriente más bien bajo y un nivel de voltaje más bien alto (en el circuito de placa). Por otra parte, la bocina es un aparato que funciona con una corriente alta y un bajo voltaje. Es decir, que el amplificador tiene una alta impedancia de salida y la bocina tiene una baja impedancia de entrada.

Para una transferencia máxima de energía entre las dos etapas (u otros circuitos eléctricos), es necesario que las impedancias de entrada y de salida se igualen. Si no son iguales, se pueden igualar por medio de una *red igualadora de impedancia*.

Recuerde que esto se aplica solamente a la transferencia de energía y no a la transferencia de voltaje. Cuando se acopla un amplificador de voltaje a la etapa siguiente es deseable el hacer el resistor de carga tan alto como sea práctico, aunque esto no resulte en una máxima transferencia de fuerza.

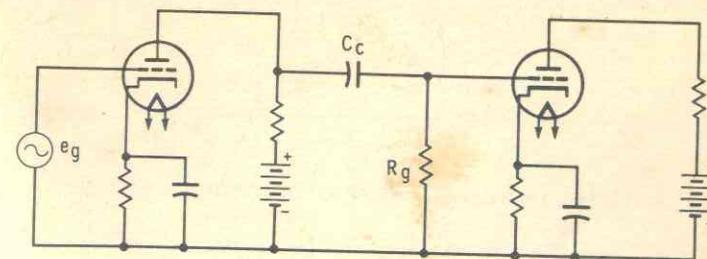
Acoplamiento de resistencia-capacitancia

El acoplamiento de resistencia-capacitancia es la forma más común y simple de acoplar en cascada las etapas amplificadoras. Los amplificadores acoplados en RC se usan en los sistemas de radio, amplificadores de video, osciloscopios, sistemas de radar, etc.

El acoplamiento entre las etapas de un amplificador acoplado en RC se realiza tomando el voltaje variable a través de la resistencia de carga de una etapa y conectándolo a través de un condensador acoplado (C_c) a la

rejilla del tubo en la etapa siguiente. El valor apropiado del C_c se determina por el límite menor del alcance de las frecuencias que se van a amplificar. Si el C_c es muy pequeño, bloqueará las frecuencias bajas en el alcance de la señal que se desea.

AMPLIFICADOR ACOPLADO POR RESISTENCIA-CAPACITANCIA



El resistor R_g se denomina *resistor de escape de rejilla*. Este resistor se usa para mantener la rejilla a un potencial de tierra, manteniendo así la diferencia de voltaje entre la rejilla y el cátodo. Este resistor realmente lleva a cabo un doble propósito, ya que también se usa como el componente a través del cual fluye el voltaje de la señal de la etapa anterior.

El resistor R_L se llama resistor de carga, igual que antes. Sin embargo, note que R_L no es la carga completa que se relaciona con el primer tubo. La combinación de C_c y de R_g está en paralelo con ella. Por lo tanto, la verdadera impedancia de carga es siempre menor que R_L . Un amplificador acoplado en RC es sensitivo a la frecuencia. Una razón es que la reactancia de CC varía con la frecuencia. Otra razón es que cada circuito tiene varias capacitancias parásitas (involuntarias) inevitables. A altas frecuencias, estas capacitancias tienen bajos valores de reactancia y comienzan a tomar parte en el funcionamiento del circuito.

P25. Si dos impedancias no son iguales, se pueden igualar mediante el uso de.....

P26. La igualación de impedancias no se emplea generalmente cuando se acopla una etapa..... a la etapa siguiente.

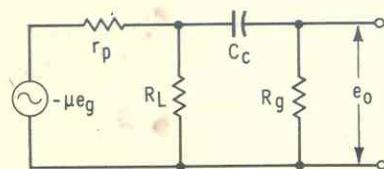
P27. En un amplificador acoplado en RC, la verdadera carga es (igual, menor, mayor) que R_L .

Sus respuestas deben ser:

- R25.** Si dos impedancias no son iguales, se pueden igualar mediante el uso de una red igualadora de impedancia.
- R26.** La igualación de impedancias no se emplea generalmente cuando se acopla una etapa amplificadora de voltaje a la etapa siguiente.
- R27.** En un amplificador acoplado en RC, la verdadera carga es menor que R_L .

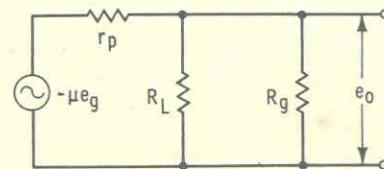
El efecto de la frecuencia sobre el acoplamiento RC

Para analizar un circuito con precisión las reactancias variables que se mencionaron con anterioridad deben tenerse en cuenta. Ya que estas reactancias varían con la frecuencia, se debe hacer un análisis diferente para la frecuencia alta, la baja, y la intermedia. Para cada alcance de frecuencia, se escoge un circuito equivalente que sea una representación bastante precisa del funcionamiento del amplificador. Recuerde que el análisis del circuito equivalente solamente es válido con señales razonablemente pequeñas. Los tres circuitos equivalentes de un amplificador de triodo acoplado en RC que se diseñan para funcionar en el alcance de audio se muestran en las tres ilustraciones siguientes:



CIRCUITO EQUIVALENTE DE BAJA FRECUENCIA

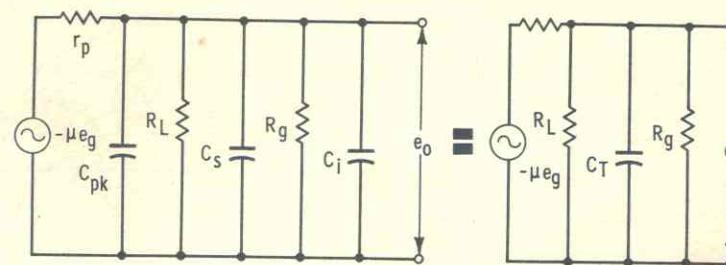
En el alcance de baja frecuencia (hasta 1,000 cps) no hay que considerar las capacitancias parásitas, pero el condensador acoplador C_c tiene una reactancia considerable. Se utiliza el circuito arriba ilustrado. Se pueden usar técnicas de circuito sencillas para determinar el voltaje e_o , que aparece en la rejilla de la próxima etapa.



CIRCUITO EQUIVALENTE DE FRECUENCIA INTERMEDIA

En el alcance de frecuencia media el condensador acoplador C_c se puede eliminar porque tiene una reactancia muy pequeña comparada con R_g . Similarmente, la capacitancia parásita no muestra ningún efecto apreciable en este alcance.

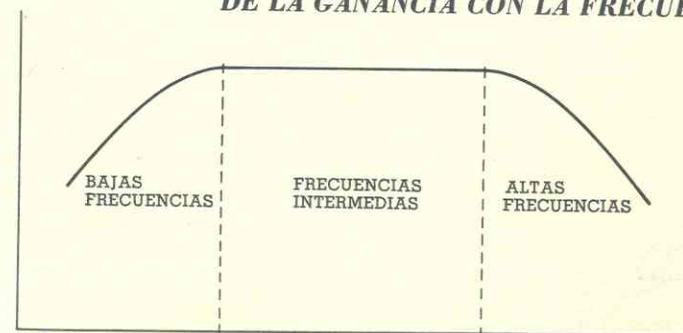
CIRCUITO EQUIVALENTE DE ALTA FRECUENCIA



En el alcance de alta frecuencia, tres capacitancias indeseables cobran importancia. Estas son la capacitancia de placa-cátodo (C_{pk}), la capacitancia parásita del alambrado (C_s), y la capacitancia del circuito de entrada de la segunda etapa (C_i). Ya que el circuito equivalente está en paralelo, las tres capacitancias se pueden combinar en una capacitancia parásita total (C_T).

El gráfico inferior muestra como la ganancia de un amplificador acoplado en RC varía a medida que cambia la frecuencia de la señal.

GRAFICO QUE ILUSTR LA RELACION DE LA GANANCIA CON LA FRECUENCIA



- P28.** ¿Qué factores afectan la ganancia de un amplificador acoplado en RC a diferentes frecuencias?
- P29.** Para analizar completamente el funcionamiento de un amplificador acoplado en RC, se deben considerar..... alcances de frecuencias.

Sus respuestas deben ser:

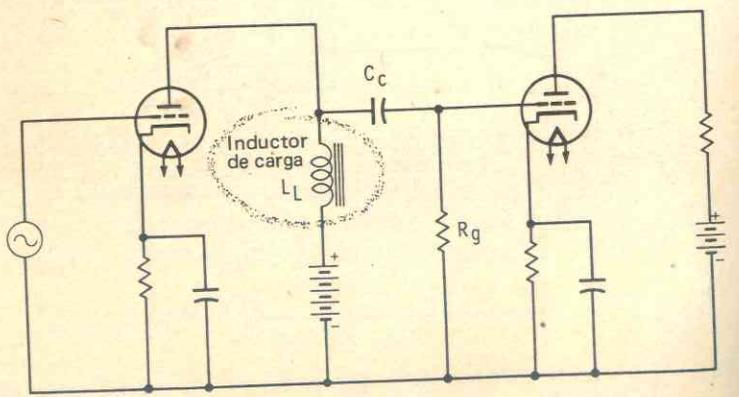
R28. A baja frecuencia, la ganancia de un amplificador acoplado en RC depende de μ_r , r_{p_r} , R_{L_r} , R_{g_r} y la reactancia C_c . A frecuencias medias los factores son μ_r , r_{p_r} , R_{L_r} y R_{g_r} . A altas frecuencias, los factores son μ_r , r_{p_r} , R_{L_r} , C_{PK_r} , la capacitancia parásita, y la capacitancia de entrada de la etapa siguiente.

R29. Para analizar completamente el funcionamiento de un amplificador acoplado en RC, se deben considerar tres alcances de frecuencia.

El acoplamiento de la impedancia

En el amplificador acoplado por resistencia hay una caída de voltaje CC a través del resistor de carga. Esta caída de voltaje a veces es indeseable porque requiere un suministro de fuerza con un alto voltaje. La caída de voltaje se puede reducir usando un inductor en el lugar del resistor de carga. El inductor, o inductancia en serie, tiene una baja resistencia CC pero una alta reactancia a la CA. Esto hace posible el uso de un voltaje de alimentación de placa que solamente sea un poco mayor que el voltaje de placa necesario. El enrollado del inductor solamente crea una pequeña caída de voltaje debido a la resistencia del alambre.

AMPLIFICADOR ACOPLADO POR IMPEDANCIA



En la práctica, los amplificadores acoplados por impedancia no se usan comúnmente. Posiblemente se les encuentre en circuitos amplificadores de fuerza,

La capacitancia parásita que se distribuye entre las vueltas de la bobina reduce la ganancia del amplificador a las frecuencias más altas. A bajas frecuencias, la inductancia en serie (inductor) tiene una baja reactancia, haciendo que se cree una caída de voltaje relativamente pequeña a través de él. Al mismo tiempo, el condensador acoplador tiene una reactancia muy alta, por lo que impide una buena transferencia de la señal a la próxima etapa. Estos dos factores se combinan para reducir la ganancia de la baja frecuencia.

La inductancia en serie generalmente se escoge para que tenga una alta impedancia a la frecuencia que se va a amplificar en forma que se pueda crear a través de ella un voltaje de alta señal de frecuencia.

Los análisis de circuitos y los cálculos de la ganancia de voltaje de los amplificadores acoplados por impedancia son muy similares a aquellos del amplificador acoplado por RC. Los valores de la ganancia de voltaje que se obtienen son de la misma magnitud general.

Acoplamiento del transformador

El acoplamiento del transformador es un medio muy popular de conectar los amplificadores en cascada. Ofrece la misma ventaja que el acoplamiento por impedancia, o sea, que no aparece una gran caída de CC a través del enrollado primario del transformador en el circuito de placa. El aislamiento de la CC se obtiene por medio del aislamiento natural existente entre los enrollados del transformador (el transformador sólo puede transferir voltajes alternantes).

El acoplamiento del transformador tiene también la ventaja de una buena igualdad de la impedancia entre las etapas. Esto hace posible una transferencia de fuerza máxima. El acoplamiento del transformador es adecuado para usarse en las etapas de fuerza, como en los circuitos de salida de amplificadores de audio. La reacción a la frecuencia de un amplificador acoplado por transformador puede ser excelente usando técnicas modernas para el diseño de los transformadores. La mayor desventaja del acoplamiento por transformador es su alto costo relativo comparado con otros medios de acoplamiento.

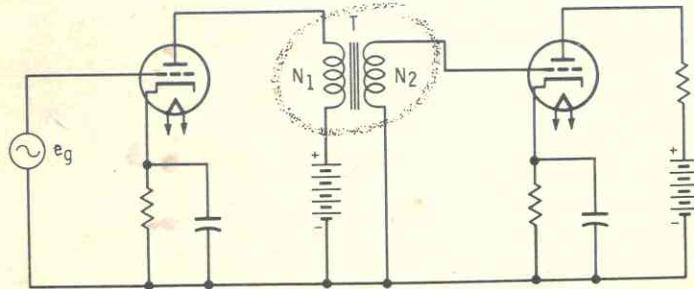
- P30. La ganancia de un transformador acoplado por impedancia a bajas frecuencias es (buena, regular, pobre).
- P31. El inductor de carga se llama también.....
- P32. La impedancia del inductor de carga..... a medida que disminuye la frecuencia de la señal.
- P33. El acoplamiento por transformador (no es, es) adecuado para usar en amplificadores de fuerza.

Sus respuestas deben ser:

- R30. La ganancia de un transformador acoplado por impedancia a baja frecuencia es **pobre**.
- R31. El inductor de carga se llama también **inductancia en serie**.
- R32. La impedancia del inductor de carga **disminuye** a medida que disminuye la frecuencia de la señal.
- R33. El acoplamiento por transformador es adecuado para usar en amplificadores de fuerza.

Ahora verá como se usa un transformador acoplador en un amplificador. El componente CC de la corriente de placa fluye por el enrollado primario sin inducir voltaje en el secundario. Pero cualquier fluctuación, como la corriente CA fluyendo a través del primario, induce voltajes CA correspondientes en el enrollado secundario que se conecta directamente a la rejilla del tubo próximo.

ACOPLAMIENTO POR TRANSFORMADOR



Ya que el tubo funciona en forma tal que la rejilla no se hace nunca positiva, no fluye una corriente de rejilla y no se toma fuerza del enrollado secundario. Esto significa que no ocurre una interacción entre el secundario y el primario y, por lo tanto, el primario no tiene que entregar fuerza al secundario. El circuito primario sólo ve la impedancia del enrollado primario, como si fuera una sola bobina, y su valor se puede escoger para el valor correcto de reactancia a fin de obtener una ganancia máxima en la primera etapa. El voltaje que se crea a través del enrollado secundario depende de la relación de vueltas del transformador. Este voltaje es igual a n_2/n_1 veces el voltaje primario.

El voltaje secundario, y por lo tanto la ganancia, se puede hacer muy alto si la relación del enrollado es lo suficientemente alta. En los primeros tiempos del radio, cuando los tubos disponibles tenían una amplificación muy baja, se usaban extensamente transformadores con una relación de enrollado muy alta para obtener una ganancia mayor.

Sin embargo, hay un límite práctico a la relación de enrollado. Para obtener una relación alta, el enrollado secundario debe tener un gran número de vueltas. A medida que aumenta la frecuencia de la señal, ese enrollado tiene una capacitancia parásita lo suficientemente grande para limitar su reacción a la alta frecuencia. Para obtener una reacción a la frecuencia más uniforme (más plana) en los amplificadores de alta calidad, la relación de vueltas raramente excede 5 a 1.

Es importante conectar correctamente el transformador en un amplificador acoplado por transformador. Una razón, es que la relación de vueltas no se debe invertir. Otra razón más importante es que el enrollado secundario no se construye para que conduzca una apreciable cantidad de corriente. Pero el primario tiene que conducir una corriente de placa considerable. Al conectar el transformador al revés en el circuito se puede quemar el secundario.

También es importante no invertir los dos terminales de cada enrollado, especialmente cuando se trabaja con un ancho alcance de frecuencias. Los enrollados se disponen en forma tal que un extremo tiene una capacitancia a tierra menor que la otra. Se usa un código de colores para indicar las conexiones correctas y este se debe seguir siempre.

Los métodos explicados hasta ahora que se usan para acoplar etapas amplificadoras bloquean todos los voltajes CC y se utilizan solamente con señales CA. Sin embargo, a veces es necesario amplificar las señales CC.

- P34. Solamente la..... que fluye en el primario de un transformador acoplado induce señales en el secundario.
- P35. El circuito primario trabaja con la impedancia del.....
- P36. El voltaje que se crea a través del enrollado secundario es igual al voltaje primario por.....
- P37. Un enrollado con un gran número de vueltas tiene una gran
- P38. Los terminales del transformador en un amplificador acoplado por transformador (se, no se) pueden intercambiar.

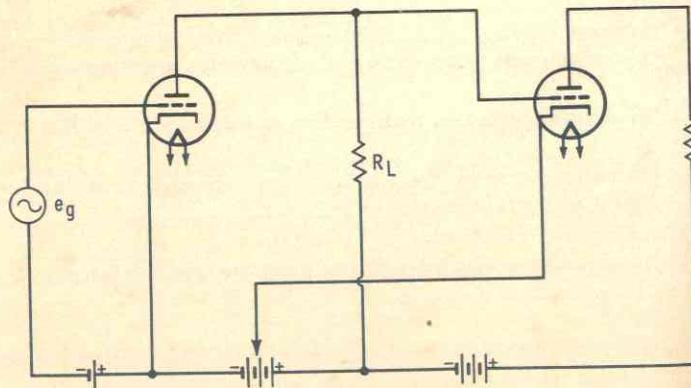
Sus respuestas deben ser:

- R34. Solamente la **CA** que fluye en el primario de un transformador acoplador induce señales en el secundario.
- R35. El circuito primario trabaja con la impedancia del **enrollado primario**.
- R36. El voltaje que se crea a través del enrollado secundario es igual al voltaje primario multiplicado por la **relación de vueltas**.
- R37. Un enrollado con un gran número de vueltas tiene una gran **capacitancia parásita**.
- R38. Los terminales del transformador en un amplificador acoplado por transformador **no se pueden intercambiar**.

AMPLIFICADORES DE TUBO DE VACIO DE CORRIENTE CONTINUA

Los amplificadores de tubos de vacío de corriente continua también se conocen como *amplificadores de corriente continua* o amplificadores de acoplamiento directo (amplificadores CC abreviadamente). Ellos se denominan amplificadores de acoplamiento directo porque no hay un condensador o transformador entre la salida de una etapa y la entrada de la próxima que le permita el paso a las señales CC de una etapa a la próxima etapa. Se deben usar medios especiales para impedir que el alto potencial de placa de una etapa afecte el funcionamiento del circuito de rejilla de la próxima

CIRCUITO DE LOFTIN-WHITE



etapa. Una de las principales dificultades que se encuentra con los amplificadores CC es la *deriva*, o sea, el cambio gradual en el voltaje de salida sin producirse un cambio en la entrada. Como es natural, es deseable no tener voltaje de salida alguno cuando la entrada es cero. La deriva se puede producir por un cambio gradual en los valores de los componentes del circuito o por el cambio de un tubo.

La figura en la página opuesta muestra uno de los circuitos amplificadores CC más comunes, el Loftin-White. Note como se obtiene la polarización de rejilla al dividir el voltaje de alimentación de placa de la etapa anterior. En un circuito práctico las baterías se reemplazan por un resistor divisor de voltaje en el suministro de fuerza de CC principal. Debido a la complejidad del suministro de fuerza que se requiere, la tendencia del amplificador a derivar, y la necesidad de redes de compensación, los amplificadores CC no se usan tanto como las unidades acopladas por RC o por transformador.

¿QUE ES UN OSCILADOR?

Los *osciladores* son circuitos que producen señales CA que tienen varias aplicaciones en equipos electrónicos. Los osciladores generan las portadoras de radio-frecuencia para las transmisiones de radio y televisión. Entonces la señal de audio o de video se sobrepone en la portadora. Cada receptor de radio superheterodino emplea un oscilador local, y algunos órganos electrónicos tienen una serie de osciladores que producen diferentes frecuencias de tono. Todos estos osciladores son *sinusoidales*, esto es, su salida se asemeja a una onda sinusoidal.

Otra clase importante de circuitos osciladores incluye los tipos no sinusoidales, circuitos que producen una salida CA que no es una onda sinusoidal. Estos tipos de osciladores se llaman generalmente *generadores de impulso* o de *ondas cuadradas*. Ellos incluyen los generadores de impulsos para radares, generadores de onda cuadrada para comprobar televisores, etc., generadores de diente de sierra para exhibición de televisores, osciladores para marcar, y muchos otros más.

- P39. Uno de los tipos más comunes de amplificador de acoplamiento directo es el circuito.....
- P40. En un amplificador CC el cambio gradual en el voltaje de salida sin un cambio correspondiente en la entrada se llama
- P41. ¿Por qué el amplificador de acoplamiento directo recibe ese nombre?

Sus respuestas deben ser:

R39. Uno de los tipos más comunes de amplificador de acoplamiento directo es el circuito **Loftin-White**.

R40. En un amplificador CC el cambio gradual en el voltaje de salida sin un cambio correspondiente en la entrada se llama **deriva**.

R41. El amplificador de acoplamiento directo recibe ese nombre debido a **que la señal de salida de una etapa se alimenta directamente a la rejilla de la próxima etapa sin pasar a través de un condensador acoplador**.

FUNCIONAMIENTO DE UN OSCILADOR

¿Cómo funciona un oscilador? Suponga que se conecta un amplificador capaz de amplificar una frecuencia deseada. Es natural que sin una entrada no habrá una salida. Conecte ahora de nuevo la salida a la entrada, en forma de gaza, asegurándose que la relación de fase es tal que esta *retroalimentación* reforzará, en vez de reducir, cualquier entrada al amplificador.

Cualquier señal pequeña en los terminales de entrada se amplificará, se retroalimentará a la entrada, se amplificará de nuevo, y así sucesivamente. La señal continúa yendo alrededor de la gaza. Ya que todos los circuitos electrónicos son hasta cierto punto sensitivos a la frecuencia, esto sólo sucederá en cierto alcance de frecuencias. El circuito oscila; esto es, genera una señal CA sin una entrada CA externa. Las oscilaciones se pueden empezar hasta por un pequeño ruido de fondo en el tubo.

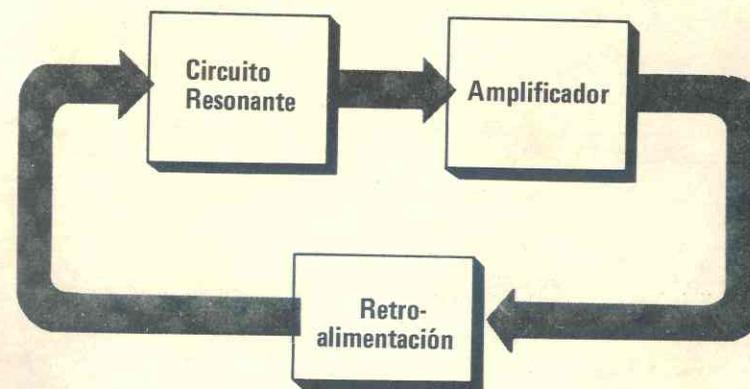
Hay dos condiciones que se deben cumplir para que se produzca una oscilación en el circuito. La primera es que se requiere una retroalimentación en la fase correcta de la salida a la entrada. Esto se conoce como *retroalimentación positiva* y se puede realizar por medio de varias clases de redes de acoplamiento. La segunda es que la cantidad de retroalimentación debe ser suficiente para cubrir cualquier pérdida interna en el circuito de forma que la oscilación no disminuya gradualmente.

Es importante el tener en cuenta que el tubo en sí no oscila; solamente amplifica. En realidad, la oscilación ocurre en el *circuito resonante* que forma parte del circuito oscilador completo. Esto es, que las constantes del circuito determinan la frecuencia de la oscilación. El circuito resonante, a

veces llamado *circuito de tanque*, funciona como un volante que gira a su velocidad natural. Hay algunas pérdidas debido a la resistencia en el circuito. El suministro de fuerza proporciona pequeñas cantidades de energía en cada ciclo para reemplazar estas pérdidas y mantener la oscilación.

El oscilador básico tiene tres partes necesarias; el sistema oscilatorio, que es generalmente un circuito de tanque resonante; un aparato amplificador, con un tubo o un transistor, para controlar las pequeñas cantidades de energía que se suministran en cada ciclo; y un sistema de retroalimentación que puede ser una red de circuito o la capacitancia interelectrónica del tubo.

OSCILADOR DE RETROALIMENTACION



El tipo de oscilador que se explica en este capítulo produce una forma de onda de salida que se considera como una onda sinusoidal. El oscilador que produce ese tipo de salida se llama a veces oscilador sinusoidal. Más adelante en este volumen conocerá los osciladores no sinusoidales.

P42. Se puede hacer un oscilador al añadirle..... a un amplificador.

P43. El circuito resonante de un oscilador también recibe el nombre de.....

P44. ¿En qué parte del oscilador ocurre la verdadera oscilación?

P45. ¿Qué es lo que generalmente empieza las oscilaciones en un circuito oscilatorio?

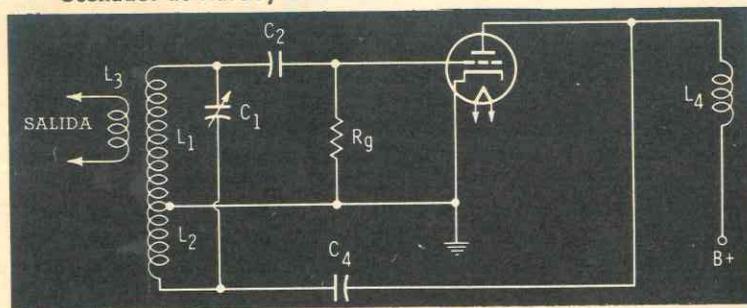
Sus respuestas deben ser:

- R42. Se puede hacer un oscilador al añadirle **retroalimentación positiva** a un amplificador.
- R43. El circuito resonante de un oscilador también recibe el nombre de **circuito de tanque**.
- R44. La verdadera oscilación ocurre en el **circuito de tanque**.
- R45. El **ruido de fondo** empieza generalmente las oscilaciones en un circuito oscilatorio.

El oscilador de Hartley

Uno de los circuitos osciladores más comunes es el de Hartley. El circuito que se muestra abajo es un *circuito de Hartley alimentado por derivación*, que tiene la ventaja de que toda la CC se bloquea por medio de condensadores del circuito oscilatorio de tanque.

Oscilador de Hartley alimentado en Paralelo



El ruido de fondo producirá una entrada pequeña al circuito resonante en paralelo compuesto de L_1 , L_2 y C_1 . Este es el circuito de tanque. La entrada de ruido produce la creación de una corriente circulante en esta gaza a la frecuencia resonante. Una corriente grande fluye hacia delante y hacia atrás entre los componentes inductivos y capacitivos a esta frecuencia cuando se aplica nada más que un pequeño voltaje. Note que L_2 , la mitad inferior de la bobina de tanque derivada (bobina con conexión central) también está en el circuito de placa CA. Por lo tanto, L_2 sirve para acoplar la energía CA en el circuito de placa al circuito de tanque por medio de la inductancia mutua (acción transformadora), que existe entre las dos mitades de la bobina (L_1 y L_2). Esto proporciona un circuito de tanque oscilatorio (com-

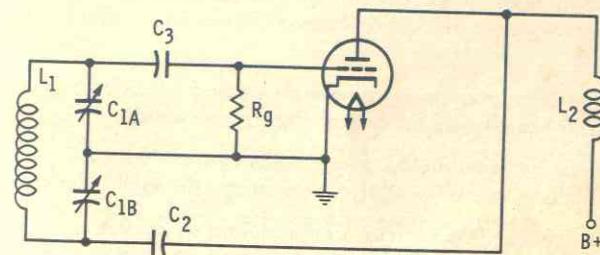
puesto de L_1 , L_2 y C_1) y un amplificador. C_1 bloquea la entrada en el circuito de tanque de la CC en el circuito de placa.

El voltaje oscilante en el circuito de tanque se acopla a la rejilla del tubo amplificador por medio de un acoplamiento en RC como el que se usa entre las etapas amplificadoras. La red de acoplamiento se compone de C_2 y R_g . Note que la señal de rejilla se toma de uno de los extremos de la bobina. El amplificador invierte la fase de esta señal y la devuelve al extremo opuesto de la bobina, donde tiene la fase adecuada para aumentar la oscilación en lugar de cancelarla. Al variar la capacitancia de C_1 se cambia la frecuencia resonante del circuito de tanque y, por lo tanto, la frecuencia de la salida del oscilador.

El oscilador de Colpitts

El Colpitts es otro circuito oscilador común. Este tipo de oscilador se parece al de Hartley, alimentado por derivación, excepto que usa un condensador fraccionado en lugar de una bobina derivada.

OSCILADOR DE COLPITTS



C_{1A} , C_{1B} , y L_1 componen el circuito de tanque. La frecuencia resonante del tanque se cambia al variar C_{1A} y C_{1B} . (Estos condensadores generalmente están en un eje común para que ambos se puedan ajustar al mismo tiempo.) La salida del amplificador se introduce en el circuito de tanque a través de los condensadores C_2 y C_{1B} . El voltaje del circuito de tanque se introduce en la rejilla del amplificador por medio de la red acopladora que consiste en C_3 y R_g .

- P46. ¿Cómo se obtiene la retroalimentación en el oscilador de Hartley?
- P47. ¿En qué se diferencia el oscilador de Colpitts del oscilador de Hartley?
- P48. ¿Cómo se obtiene la retroalimentación en el oscilador de Colpitts?

Sus respuestas deben ser:

- R46.** En el oscilador de Hartley se obtiene la retroalimentación al **hacer regresar la salida del amplificador a una parte de la bobina** en el circuito resonante.
- R47.** El oscilador de Colpitts usa un **condensador fraccionado** en el circuito de tanque. El oscilador de Hartley usa una **bobina derivada** en el circuito de tanque.
- R48.** En el oscilador de Colpitts se obtiene la retroalimentación al **hacer regresar la salida del amplificador a una parte del condensador fraccionado** en el circuito resonante.

LO QUE HA APRENDIDO

1. El amplificador es un circuito que actúa como una válvula, controlando una gran cantidad de fuerza CC para reproducir una pequeña señal de entrada.
2. Los amplificadores de tetrodo y de pentodo funcionan con el mismo principio básico que los amplificadores de triodo.
3. Se puede seleccionar un punto de funcionamiento CC para un tubo al examinar las curvas de características de rejilla del tubo.
4. Al trazar una línea de carga en un juego de curvas de características de placa, se pueden obtener los valores de la corriente y el voltaje de placa para el voltaje de una señal dada.
5. En un amplificador de clase A la rejilla no se hace nunca positiva.
6. En los amplificadores de clase A, la polarización de rejilla debe ser una en la cual el voltaje de la señal esté siempre en la porción lineal de la curva de características de la rejilla.
7. Los amplificadores de clase B son aquellos en que los tubos conducen durante más o menos la mitad del ciclo de entrada.
8. Los amplificadores de clase C son aquellos en que los tubos conducen durante menos de la mitad de un ciclo de entrada.
9. Mientras mayor sea la resistencia de carga de un amplificador de tubo, mayor será la amplificación de voltaje.
10. Se obtiene la mayor amplificación de fuerza cuando la resistencia de carga es igual a la resistencia de placa del tubo.

11. Un circuito de polarización de rejilla automático altera la polarización de la rejilla a medida que la corriente CC del cátodo varía, y así compensa las variaciones en el voltaje de placa.
12. Los amplificadores de etapas múltiples proporcionan una amplificación mayor que la que se puede obtener por medio de una sola etapa. Esto se lleva a cabo al amplificar la salida de cada amplificador, uno después del otro.
13. Los amplificadores pueden ser: de resistencia-capacitancia, de impedancia, de transformador, o de acoplamiento directo.
14. Los tres primeros métodos arriba mencionados se diseñan para que solamente pasen señales CA de etapa a etapa, mientras que el último también puede pasar señales CC.
15. Los circuitos equivalentes para tubos de vacío se pueden trazar para simplificar el análisis de los circuitos amplificadores.
16. Los osciladores sinusoidales se usan para producir salidas de onda sinusoidal.
17. Se usan osciladores no sinusoidales para producir formas de onda del tipo de impulso.
18. Básicamente, el oscilador sinusoidal es una combinación de las conexiones de un circuito resonante, un amplificador, y una retroalimentación positiva.
19. El oscilador de Hartley obtiene la retroalimentación por medio de una derivación en la parte inductiva del circuito resonante.
20. El oscilador de Colpitts obtiene la retroalimentación por medio de una derivación en la parte capacitativa del circuito resonante.

LO QUE APRENDERÁ

Cuando acabe de estudiar este capítulo sabrá calcular la ganancia de voltaje y de fuerza en un amplificador de transistores. Conocerá varias combinaciones de polarización y sabrá como se seleccionan los voltajes y corrientes de polarización apropiados. También aprenderá cómo los amplificadores de transistores se acoplan por RC, por transformador, directamente, y por sintonización.

AMPLIFICADORES DE TRANSISTORES

El transistor, como un tubo al vacío triodo, puede amplificar. Esto significa que puede controlar el flujo de una gran corriente usando una pequeña señal. El amplificador proporciona una señal de salida que tiene una *amplitud mayor* que la de la señal de entrada. Idealmente, eso es todo lo que hace; deja igual la forma de onda de la señal. Si las señales de entrada y de salida difieren en otra forma que no sea la amplitud, se dice que el amplificador ocasiona *distorsión*.

La amplificación, o ganancia, se mide comparando la salida a la entrada. Se debe tener cuidado de comparar las mismas cantidades. La ganancia de corriente es la corriente de salida dividida entre (comparada con) la corriente de entrada. La ganancia de voltaje es el voltaje de salida dividido entre el voltaje de entrada. Para tener amplificación, la ganancia debe ser mayor de uno.

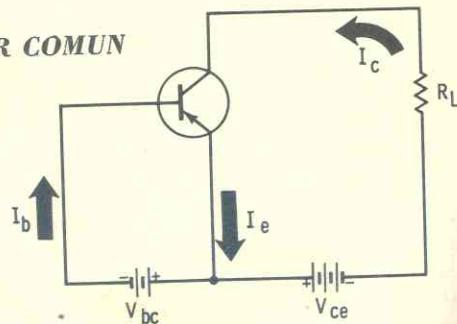
Cualquier amplificador individual tiene cifras muy diferentes para la ganancia de corriente, la ganancia de voltaje, y la ganancia de fuerza. En

circuitos de transistores, la ganancia también depende de como se conecta el transistor: éste se puede usar como un circuito de emisor común, de base común, o de colector común.

La ganancia de corriente

En el capítulo sobre transistores aprendió que en un circuito amplificador de emisor común, como el que se muestra abajo, la ganancia de corriente es $\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$. Esto se llama también *relación de transferencia de corriente hacia delante de emisor común* porque, en un circuito de emisor común sencillo, representa la ganancia de corriente del transistor (si el voltaje del colector se mantiene constante).

CIRCUITO DEL EMISOR COMUN



Como ya sabe, a es la relación del cambio de corriente de colector al cambio de corriente del emisor y es igual a $a = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_e}$. También se llama *relación de transferencia de corriente hacia delante de base común*. Si se conectara el transistor a un circuito de base común, a representaría su ganancia de corriente (manteniendo a un valor constante el voltaje del colector).

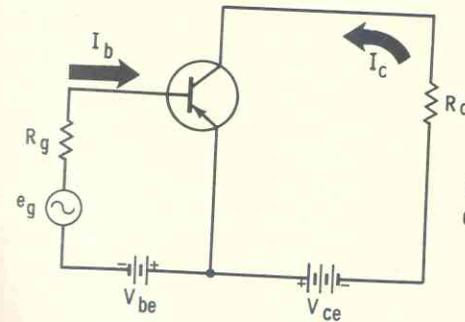
El transistor, cuando se conecta a un circuito de emisor común, tiene una ganancia de corriente de β . Esto significa que cada cambio en la corriente de entrada (circuito de base) se aumenta β veces en el circuito colector. Los valores típicos de β varían entre 20 y 50. a (que también se llama h_{fb}) y que β (que también se llama h_{fe}) están relacionadas entre sí

por las relaciones $\beta = \frac{a}{1 - a}$ y $a = \frac{\beta}{1 + \beta}$.

Ganancia de voltaje

Para convertir la amplificación de corriente en ganancia de voltaje, es necesario conocer la resistencia en el circuito de entrada y en el circuito de salida.

En el diagrama inferior, la resistencia de carga es R_L , y R_g es la resistencia interna de la fuente de señal CA (e_g). La corriente de señal en el circuito de base es ΔI_b . Al usar la ley de Kirchhoff en el circuito de base, el voltaje CA entre la base y el emisor es igual al voltaje de la fuente (e_g) menos la caída de voltaje a través de R_g , o $e_g - \Delta I_b R_g$. El voltaje del emisor a la base también es $\Delta I_b R_i$, donde R_i es la resistencia de entrada del transistor. Recuerde que R_i es una propiedad del transistor y no una resistencia separada del circuito.



Circuito del Emisor Común con Fuente de Señal de CA

El voltaje a través de la resistencia de carga R_L (que es una propiedad separada del circuito) es $\Delta I_c R_L$, donde ΔI_c es la corriente de señal en el circuito colector.

Ahora se puede determinar la ganancia de voltaje como la relación entre el voltaje a través de la resistencia de carga y el voltaje de entrada entre el emisor y la base, o $\frac{\Delta I_c R_L}{\Delta I_b R_i}$. Note que $\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$ no es β porque el voltaje colector debe ser constante cuando se mide β .

- P1. Cuando un amplificador cambia cualquier característica de la señal que no sea la amplitud, este cambio recibe el nombre de.....
- P2. Cuando se mide la ganancia de un amplificador, el voltaje de salida se debe comparar con el....., o la corriente de salida con.....
- P3. ¿A qué es igual la ganancia de voltaje de un amplificador de emisor común?

Sus respuestas deben ser:

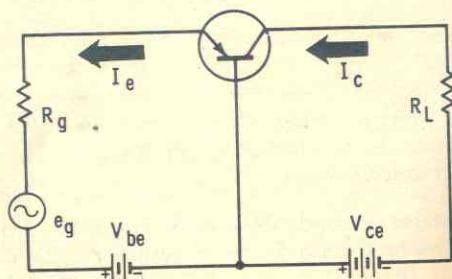
- R1. Cuando un amplificador cambia cualquier característica de la señal que no sea la amplitud, este cambio recibe el nombre de **distorsión**.
- R2. Cuando se mide la ganancia de un amplificador, el voltaje de salida se debe comparar con el **voltaje de entrada**, o la corriente de salida con la **corriente de entrada**.
- R3. La ganancia de voltaje de un amplificador de emisor común es igual a $\frac{\Delta I_c R_L}{\Delta I_b R_i}$

$$\text{común es igual a } \frac{\Delta I_c R_L}{\Delta I_b R_i}$$

Amplificación de la señal

Ahora trate de determinar la ganancia de voltaje de un circuito amplificador de base común. De nuevo, el voltaje del emisor a la base es e_g menos el voltaje a través de R_g ; esto es, $e_g - I_e R_g$. Esto también es igual

Circuito de Base Común con Fuente de Señal de CA



a $\Delta I_e R_i$. El voltaje a través del resistor de carga es $\Delta I_c R_L$. La ganancia de voltaje en este caso es $\frac{\Delta I_c R_L}{\Delta I_e R_i}$. Note que $\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$ no es α en este caso debido a que el voltaje colector no permanece constante.

Resistencia de entrada

Las fórmulas de ganancia anteriores hacen uso de la impedancia de entrada R_i del transistor. Esta es la resistencia CA de la base al emisor, y se representa como $R_i = \frac{\Delta V_{be}}{\Delta I_b}$ para el circuito de emisor común, y

$R_i = \frac{\Delta V_{be}}{\Delta I_b}$ para el circuito de base común. Ya que la ley de Kirchhoff

se cumple en el circuito de entrada en forma de gaza, el voltaje de la fuente (e_g) debe ser igual a la caída de voltaje a través de la resistencia R_g y a través de la resistencia de entrada del transistor. De esto, la resistencia R_i se puede escribir como $\frac{\Delta e_g}{\Delta I_b} - R_g$ para el circuito de emisor

común y para el circuito de base común. La resistencia de entrada de un transistor no es un valor fijo y sencillo que se puede medir con un ohmímetro.

La ganancia de fuerza

La ganancia de fuerza de un amplificador de transistores se puede calcular al multiplicar la ganancia de voltaje por la ganancia de corriente. Por lo tanto, la ganancia de fuerza de un amplificador de emisor común es:

$$\left(\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}\right)\left(\frac{\Delta I_c R_L}{\Delta I_b R_i}\right) = \left(\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}\right)^2 \frac{R_L}{R_i}$$

La ganancia de fuerza del amplificador de base común es:

$$\left(\frac{\Delta I_c}{\Delta I_e}\right)^2 \frac{R_L}{R_i}$$

Las fórmulas de ganancia para los diferentes tipos de amplificadores de transistores se muestran en la siguiente tabla:

	Emisor Común	Base Común
Ganancia de Corriente	$\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$	$\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$
Ganancia de Voltaje	$\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} \frac{R_L}{R_i}$	$\frac{\Delta I_c}{\Delta I_e} \frac{R_L}{R_i}$
Ganancia de Fuerza	$\left(\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}\right)^2 \frac{R_L}{R_i}$	$\left(\frac{\Delta I_c}{\Delta I_e}\right)^2 \frac{R_L}{R_i}$

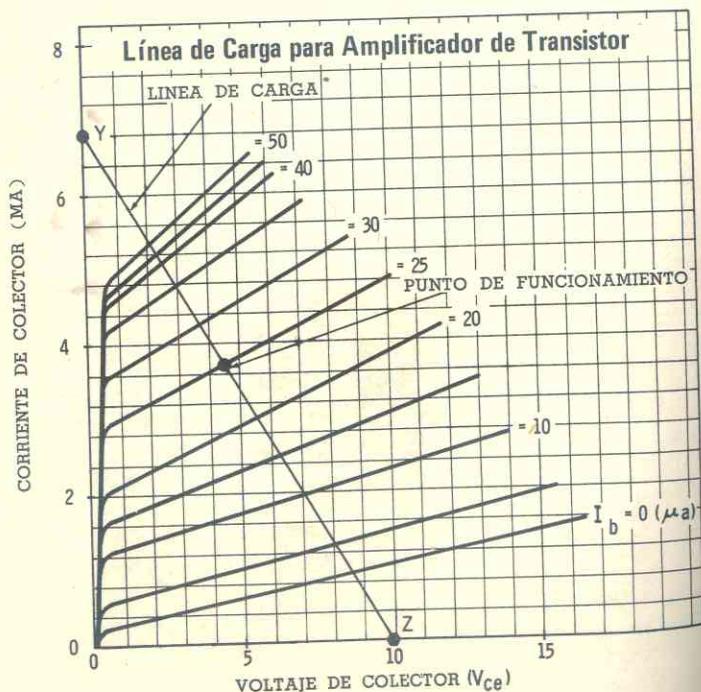
- P4. ¿Qué le pasa a la ganancia de voltaje de un amplificador de base común a medida que aumenta la resistencia de carga?
- P5. ¿Qué efecto tendrá un aumento en la resistencia de entrada sobre la ganancia de voltaje de un transistor de amplificadores?
- P6. Si conoce la ganancia de corriente y la ganancia de voltaje de un amplificador, ¿cómo podría determinar la ganancia de fuerza?

Sus respuestas deben ser:

- R4. Un aumento en la resistencia de carga produce un **aumento en la ganancia de voltaje**, si no se alteran otros factores.
- R5. Un aumento en la resistencia de entrada produce una **disminución en la ganancia de voltaje**, si no se alteran otros factores.
- R6. La ganancia de fuerza de un amplificador se puede obtener al **multiplicar la ganancia de corriente por la ganancia de voltaje**.

PUNTO DE FUNCIONAMIENTO

Hasta ahora nada más que hemos estudiado el funcionamiento de los amplificadores de transistores. En el capítulo sobre aparatos semiconductores aprendió sobre las curvas de características de transistores de corriente de colector (I_c) trazadas contra el voltaje del colector-emisor (V_{ce}) para unos valores constantes diferentes de corriente de base (I_b).



Cuando se diseña un amplificador de transistores, es generalmente importante el asegurarse que el transistor funcionará en la porción lineal (en línea recta) de la curva; de no ser así, la salida se distorsionará.

Al igual que los tubos de vacío, se puede usar un grupo de curvas de características de transistores para determinar los puntos entre los cuales es deseable que funcione el transistor. El punto en el cual la línea de carga intersecta una línea apropiada de corriente de base se escoge como el punto de funcionamiento del transistor. Esto significa que sin una señal de entrada (el estado quiescente del amplificador), la corriente de colector, el voltaje de colector-emisor, y la corriente de base estarán en los valores que determinan el punto en las curvas. Cuando se aplica una señal de entrada, las condiciones cambian a lo largo de una línea recta que pasa por el punto de funcionamiento. Mientras mayor sea la entrada, las condiciones de funcionamiento girarán a mayor distancia del punto de funcionamiento. La línea a lo largo de la cual se mueven las condiciones es la línea de carga. Su inclinación se determina por el valor de la resistencia de carga. En la página opuesta se muestra un ejemplo de punto de funcionamiento y de línea de carga.

Note la similitud entre la determinación del punto de funcionamiento en un amplificador de transistores y el hallar el punto de funcionamiento en un amplificador de un tubo de vacío triodo.

Polarización fija

Después de determinar por medio de las curvas donde debe estar el punto de funcionamiento, se deben proporcionar los voltajes y las corrientes apropiadas para el funcionamiento en este punto quiescente. Este método es similar al que se usa con los tubos de vacío. En ese caso, se proporcionaron los voltajes de placa y de rejilla adecuados. En un transistor, la polarización consiste en el suministro de un voltaje polarizado hacia adelante a través de la unión del emisor-base y un voltaje inversamente polarizado a través de la unión de base-colector. Estas polarizaciones de las uniones son esenciales para que el transistor funcione correctamente.

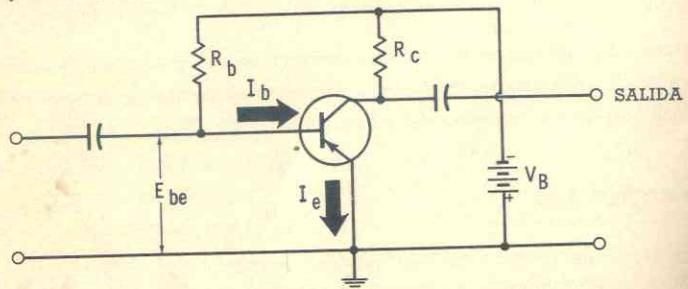
- P7. ¿Qué es una línea de carga?
- P8. El punto en la línea de carga que muestra las condiciones de funcionamiento del transistor sin aplicarse una señal es el punto de.....
- P9. La inclinación de la línea de carga se determina por medio de la..... del.....

Sus respuestas deben ser:

- R7. Una línea de carga es aquella que se traza en un grupo de curvas características. Muestra el camino que sigue el punto de funcionamiento cuando se aplica una señal.
- R8. El punto en la línea de carga que muestra las condiciones de funcionamiento del transistor sin aplicarse una señal es el punto de funcionamiento.
- R9. La inclinación de la línea de carga se determina por medio de la resistencia del resistor de carga.

Para establecer el punto de funcionamiento en la curva de característica, se deben suministrar los valores correctos del voltaje del colector y la corriente del emisor. Esto se puede hacer usando una batería solamente, como se muestra abajo, resultando en un circuito de polarización fija.

Circuito para la aplicación de Polarización Fija



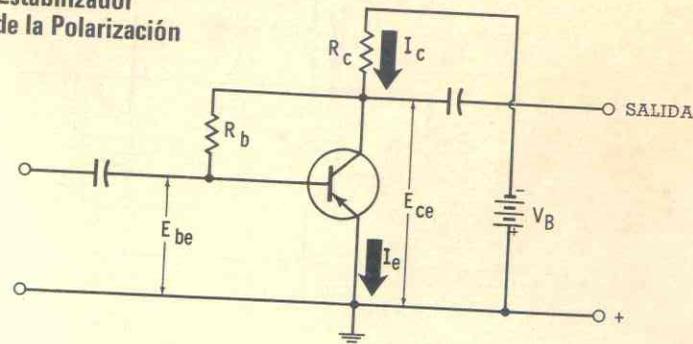
El voltaje de polarización de base se extrae del resistor R_b . La resistencia de R_b es $\frac{V_B - V_{be}}{I_{be}}$. Ya que E_{be} es generalmente pequeña comparada con V_B , ella se puede pasar por alto al determinar los voltajes de polarización, por lo que $R_b = \frac{V_B}{I_b}$. I_b es el valor que se escoge de la corriente

de base quiescente. R_b generalmente está entre 100K y 1 megaohmio. Una desventaja del circuito de polarización fija es que la corriente de colector varía con los cambios de temperatura. Además, puede ser que la corriente no sea la misma para todos los transistores del mismo tipo. Generalmente, es necesario proporcionar compensación para los efectos de la temperatura sobre I_c , que es un elemento altamente sensitivo a la temperatura. A medida que la temperatura aumenta, la corriente de colector también aumenta. Esto tiende a calentar el transistor, produciendo así otro au-

mento en la corriente. Si se permite que continúe esta reacción en cadena, puede ocurrir una condición que se llama fuga térmica, y el calor excesivo destruirá el transistor.

Abajo se ilustra un circuito compensador de la temperatura. Aunque su ganancia no es tan grande como la del circuito anterior, es más estable.

Circuito Estabilizador de la Polarización

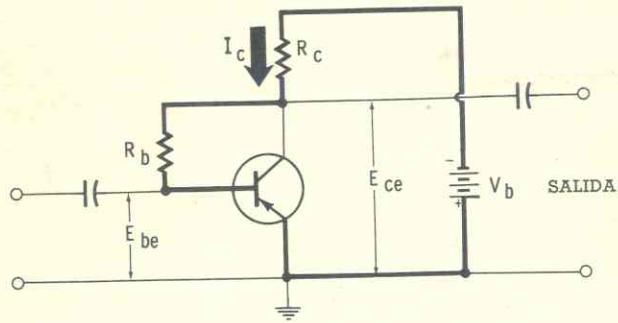


Si se aumenta I_c en el circuito anterior, se aumentará la caída de voltaje a través de R_c . Dado que el voltaje de suministro (V_B) es relativamente constante, E_{ce} debe disminuir a medida que aumenta el voltaje a través de R_c . La unión de base-emisor y R_c se conectan en serie a través de E_{ce} . Por lo tanto, la corriente de base depende de E_{ce} . Esto significa que a medida que disminuye E_{ce} , la corriente de base e I_c disminuyen, y se oponen al aumento original de I_c .

- P10. Si la temperatura de funcionamiento de un transistor aumenta, la corriente de colector.....
- P11. En el diagrama superior, trace el circuito que suministra la corriente de base.
- P12. Si I_c aumenta, la caída de voltaje a través de R_c
- P13. Si I_c aumenta, el voltaje entre el emisor y la base.....
- P14. Si el voltaje de emisor-base disminuye, ¿qué efecto tendrá esto sobre la corriente de base?
- P15. ¿Qué efecto tendrá una disminución en la corriente de base sobre I_c ?

Sus respuestas deben ser:

- R10. Si la temperatura de funcionamiento de un transistor aumenta, la corriente del colector **aumenta**.
- R11. La línea gruesa muestra el camino de la corriente de base.



- R12. Si I_c aumenta, la caída de voltaje a través de R_c **aumenta**.
- R13. Si I_c aumenta, el voltaje entre el emisor y la base **disminuye**.
- R14. Si el voltaje de emisor-base disminuye, esto hace que la corriente de base **disminuya**.
- R15. La disminución de la corriente de base tiende a **disminuir** I_c .

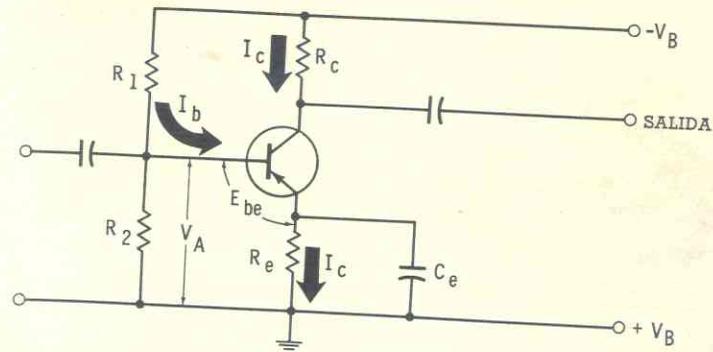
Resistor estabilizador de emisor

Otro circuito estabilizador muy común usa un resistor en serie con el emisor. En la próxima página se muestra un circuito de este tipo. R_1 y R_2 forman un divisor de voltaje a través del suministro de voltaje V_b , suministrando la base con un voltaje $V = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_b$. (Se supone que la corriente I_b sea tan pequeña que se pueda descontar.)

Para tener una buena compensación, V_A debe permanecer igual a pesar de las variaciones de I_b . Esto se realiza al escoger los valores de la resistencia en forma tal que la corriente a través de R_1 y de R_2 sea mucho mayor que I_b .

El resistor R_e en el circuito emisor hace que se reduzca E_{be} si I_c aumenta debido a los cambios de la temperatura. El hace esto debido a que cuando I_c aumenta, el voltaje a través de R_e también aumenta. Cuando esto sucede, E_{be} se reduce porque el voltaje V_A es casi constante. Entonces, una caída en E_{be} produce una disminución en I_b y en I_c .

CIRCUITO QUE USA RESISTOR ESTABILIZADOR DEL EMISOR



El condensador C_e se conecta a través de R_e para derivar la corriente de señal CA. Si no se usara este condensador, el voltaje de señal se presentará a través de R_e . Si esto sucede, la acción que se describió tenderá a reducir la ganancia del amplificador. Esto es un tipo de retroalimentación negativa y es la misma acción que ocurre en un amplificador de triodo en el que el resistor del cátodo no se deriva.

Aunque la resistencia de entrada del amplificador de emisor común es generalmente de alrededor de 1,000 ohmios, el divisor de voltaje lo reduce a unos 750 ohmios.

- P16. Debido al divisor de voltaje compuesto de los resistores R_1 y R_2 , el voltaje entre la base y tierra (V_A) será siempre igual a.....
- P17. El voltaje entre la base y el emisor equivale a V_A menos la caída de voltaje a través del resistor.....
- P18. En el circuito superior, ¿qué efecto tendrá un aumento en la corriente de colector sobre el voltaje entre el emisor y la base?
- P19. En el circuito superior, ¿qué efecto tendrá un aumento en la corriente de colector sobre la corriente de base?

Sus respuestas deben ser:

R16. Debido al divisor de voltaje compuesto de los resistores R_1 y R_2 , el voltaje entre la base y tierra (V_B) será igual a

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_B$$

R17. El voltaje entre la base y el emisor equivale a V_A menos la caída de voltaje a través del resistor R_e .

R18. Si la corriente de colector aumenta, el voltaje entre el emisor y la base **disminuirá**.

R19. Si la corriente del colector aumenta, la corriente de base **disminuirá**.

AMPLIFICADORES DE DOS ETAPAS

Un amplificador de un solo transistor no da generalmente la cantidad de amplificación necesaria. En este caso, se pueden conectar conjuntamente dos o más amplificadores para formar una cadena de dos, tres, o más etapas. Cada etapa añade cierta amplificación al total. Para el propósito de una explicación, nada más que consideraremos dos etapas.

Para tener un amplificador de dos etapas, se necesita un método de alimentar la salida de la primera etapa a la entrada de la segunda etapa. Al escoger una red de acoplamiento entre las etapas se deben considerar los siguientes factores:

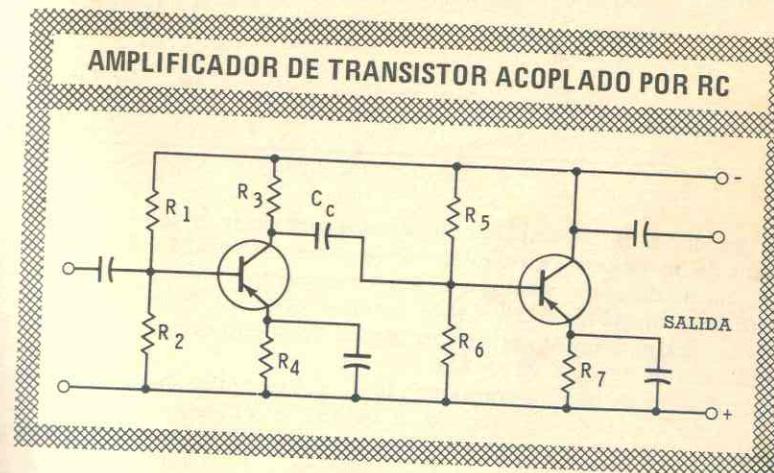
La respuesta de frecuencia. La red debe tener un efecto igual en cada una de las frecuencias deseadas. También es a veces necesario el filtrar, o remover, todas las otras frecuencias. El alcance de las frecuencias deseadas se llama *banda de paso*.

Igualación de impedancia. La red debe presentar la impedancia de salida correcta a la primera etapa para una ganancia máxima. También debe presentar la impedancia correcta a la entrada de la segunda etapa para que pueda efectuarse una transferencia de energía máxima.

Puntos de funcionamiento. Es posible que ambas etapas requieran diferentes voltajes, corrientes, y polaridades para establecer sus mejores puntos de funcionamiento. La red de acoplamiento entre las etapas debe ser una en la cual las condiciones de CC en las diferentes etapas no se afecten entre sí.

Amplificadores acoplados por RC

El amplificador de audiofrecuencia sencillo y de pequeña señal que se ilustra abajo tiene dos etapas con un acoplamiento de resistor-condensador. Cada una de las dos etapas se estabiliza por el método ya familiar del divisor de voltaje.



La salida de la primera etapa se crea como si fuera un voltaje a través del resistor de carga (R_3) y se alimenta al circuito de base de la segunda etapa a través del condensador acoplador C_c . Este condensador representa un circuito abierto a todos los voltajes CC. Así que, los voltajes CC en los otros elementos no influyen sobre los circuitos de polarización de las dos etapas.

El valor del condensador acoplador C_c determina el límite inferior de la banda de paso del amplificador completo. No hay un punto de corte repentino. La respuesta de la unidad disminuye gradualmente a medida que la frecuencia disminuye. En la práctica, este límite inferior de la frecuencia se toma generalmente como la frecuencia en la cual la resistencia capacitativa de C_c iguala la resistencia total en serie con C_c . Esta resistencia total es la suma de la resistencia de salida de la primera etapa y la resistencia de entrada de la segunda etapa.

P20. ¿Cuáles son los resistores que estabilizan los transistores en el circuito superior?

P21. ¿Pueden pasar las señales CC de una etapa a la otra? ¿Por qué?

P22. El condensador no pasa las frecuencias..... con facilidad.

Sus respuestas deben ser:

R20. Los resistores R_4 y R_7 son los que proporcionan la estabilización.

R21. Las señales CC no pueden pasar de una etapa a la otra porque el condensador de acoplamiento las bloquea.

R22. El condensador no pasa las frecuencias bajas con facilidad.

La ganancia de un amplificador de dos etapas es el producto de las ganancias de las etapas individuales. Si se aumenta algo 25 veces y entonces el resultado de ese aumento, a su vez, se aumenta 25 veces, el resultado final será un aumento de 625 veces la cantidad original. Si cada etapa de un amplificador de transistores de dos etapas tiene una ganancia de 25, la ganancia total es de $25 \times 25 = 625$.

La ganancia de cada etapa depende de su resistencia de carga. Cuando se conecta una segunda etapa a la salida, se reduce la resistencia de carga efectiva de la primera etapa. Esto es porque la resistencia de carga está en paralelo con la resistencia de entrada de la próxima etapa.

Supongamos que el resistor de carga de la primera etapa es de 3,000 ohmios y la resistencia de entrada de la segunda etapa es de 1,000 ohmios. La resistencia de carga efectiva de la primera etapa es la combinación en

paralelo de estas dos resistencias, o $\frac{3,000 \times 1,000}{3,000 + 1,000} = 750$ ohmios.

Entonces se reduce la ganancia de la primera etapa en $\frac{750}{1,000}$, o 0.75.

Si la ganancia de la primera etapa era de 25 antes de que se añadiera la segunda etapa, entonces su ganancia real es solamente de $0.75 \times 25 = 18.75$ después que se añadió la segunda etapa.

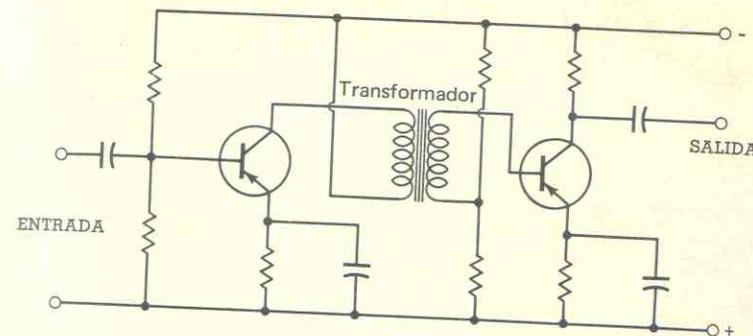
Amplificador acoplado por transformador

Los transformadores acoplados por RC son apropiados para suministrar una amplificación de voltaje cuando la ganancia no necesita ser muy alta. Para una ganancia un poco más alta se puede usar un amplificador acoplado por transformador, como el circuito que se muestra en la próxima página. Note que el transformador no pasa la CC. Como el amplificador acoplado por RC, la ganancia del amplificador acoplado por transformador disminuye en los límites de alta y baja frecuencia del alcance de frecuencia.

Para obtener una transferencia de energía máxima entre la primera y

la segunda etapas, es deseable el escoger un transformador de acoplamiento con una relación de vueltas que iguale la resistencia de salida del transistor de la primera etapa (generalmente sobre 25K) a la menor resistencia de entrada del transistor de la segunda etapa (alrededor de 1,000 ohmios).

AMPLIFICADOR DE TRANSISTOR ACOPLADO POR TRANSFORMADOR



Suponga que la impedancia de salida de la primera etapa es de 25K y la impedancia de entrada de la segunda etapa es de 1,000 ohmios. ¿Cuál es la relación de vueltas que necesita el transformador acoplador? En un transformador, la relación de la impedancia es igual al cuadrado de la relación de vueltas. La relación de vueltas que se necesita se puede calcular en la forma siguiente:

$$\frac{N_1^2}{N_2^2} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{25,000}{1,000}$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{25}{1}} = \frac{5}{1}$$

Por lo tanto, la relación de vueltas debe ser de 5 a 1.

- P23. Si se conoce la ganancia de cada etapa de un amplificador, ¿cómo se puede calcular la ganancia del amplificador?
- P24. Cuando se usa un acoplamiento en RC entre dos etapas ¿qué efecto tendrá la adición de la segunda etapa sobre la ganancia de la primera etapa?
- P25. El acoplamiento por transformador permite una ganancia que el acoplamiento por RC.
- P26. ¿Cómo se puede obtener una igualación de impedancia entre las etapas de amplificación?

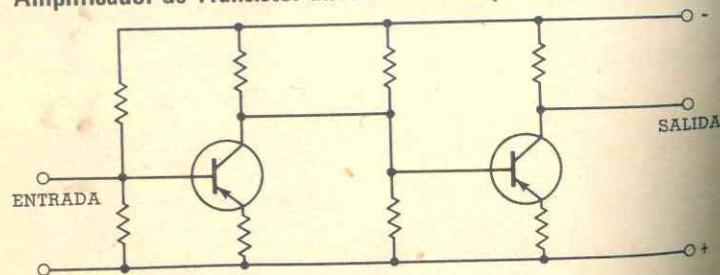
Sus respuestas deben ser:

- R23. La ganancia de un amplificador se calcula **multiplmando los valores de las ganancias individuales** en el amplificador.
- R24. Cuando se usa un acoplamiento por RC entre las etapas, **la impedancia de entrada de la segunda etapa está en paralelo con la resistencia de carga de la primera etapa**. Esto reduce la carga que entra en la primera etapa y por lo tanto **reduce la ganancia de la primera etapa**.
- R25. El acoplamiento por transformador permite una ganancia **mayor** que el acoplamiento por RC.
- R26. Se puede usar un **transformador de acoplamiento** para igualar la impedancia de salida de la primera etapa a la impedancia de entrada de la segunda etapa.

Amplificadores acoplados directamente

Es a veces necesaria la amplificación de señales que incluyen frecuencias muy bajas, aún de CC. Las bajas frecuencias y la CC no se pueden

Amplificador de Transistor directamente acoplado



amplificar cuando se usan transformadores o condensadores para el acoplamiento entre las etapas. Pero los amplificadores se pueden acoplar sin usar transformadores o condensadores. El conectar el colector de la primera etapa directamente a la base de la próxima etapa, como se muestra arriba, se conoce como **acoplamiento directo**. Tales amplificadores se conocen como **amplificadores acoplados directamente**, **amplificadores de corriente continua**, o simplemente **amplificadores de CC**.

El acoplar el colector de la primera etapa directamente a la base de la segunda etapa presenta varios problemas especiales. La base de la segunda etapa se coloca en el mismo potencial que el colector de la pri-

mera etapa. Tal arreglo es solamente aceptable si los voltajes del emisor y colector de la segunda etapa se pueden ajustar para proporcionar la derivación de funcionamiento necesaria.

El hecho de que los voltajes de derivación de las dos etapas no están aislados mutuamente requiere un circuito de suministro de fuerza más complicado. Esto se debe a que el punto de funcionamiento de cada etapa se debe ajustar sin provocar cualquier interacción con cualquiera de las demás etapas. Los suministros de fuerza también deben ser muy precisos y estables. Un amplificador de CC amplificará los voltajes de CC, así que cualquier variación del suministro de fuerza se transmitirá de etapa en etapa y por lo tanto afectará la salida final del amplificador.

El amplificador de CC se usa generalmente para que proporcione una salida proporcional a la señal de entrada. La amplificación debe ser constante. Es muy importante que cuando la entrada sea cero, la salida sea también cero. Esto es difícil debido al hecho de que no hay transformadores o condensadores de bloqueo entre las etapas. Cualquier cambio en el punto de funcionamiento, por lo tanto, afecta todas las otras etapas. Tal cambio se puede deber a variaciones en la temperatura, que siempre afectan la corriente de *dispersión* del colector (I_{co}) de un transistor.

Como resultado, es muy importante el uso de buenos circuitos estabilizadores y compensadores de temperatura en un amplificador de CC. De otra forma resultará una *deriva*, y la salida no será ya estrictamente proporcional a la entrada.

Los resistores que se muestran en los terminales de emisor se usan para estabilizar. No hay condensadores de derivación porque este circuito se usa para bajas frecuencias donde los condensadores tendrán una reactancia muy alta y por lo tanto no podrán pasar la señal.

P27. ¿Por qué los amplificadores acoplados por RC y por transformador no son adecuados para amplificar señales de frecuencias muy bajas?

P28. ¿Cuándo es aceptable conectar el colector de una etapa en un amplificador de transistores directamente a la base de la próxima etapa?

P29. Cuando la entrada de un amplificador de CC es cero, la salida debe ser.....

Sus respuestas deben ser:

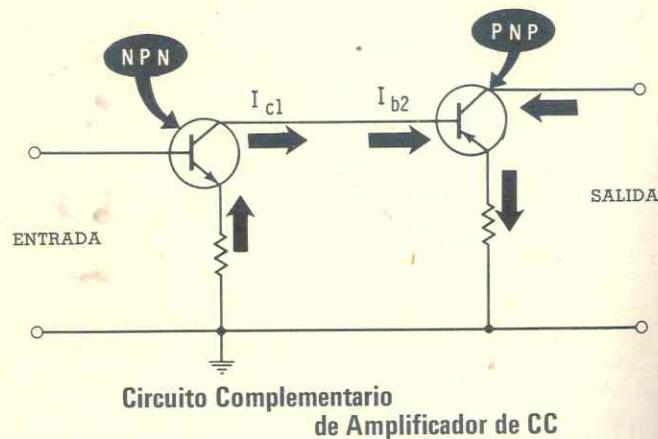
R27. Los amplificadores acoplados por RC y por transformador no son adecuados para amplificar señales de frecuencia muy baja porque los transformadores o condensadores de acoplamiento bloquean estas señales.

R28. El colector de una etapa se puede conectar a la base de la segunda etapa si los voltajes de emisor y de colector se pueden ajustar para que mantengan la polarización adecuada.

R29. Cuando la entrada de un amplificador de CC es cero, la salida debe ser cero.

Circuitos complementarios

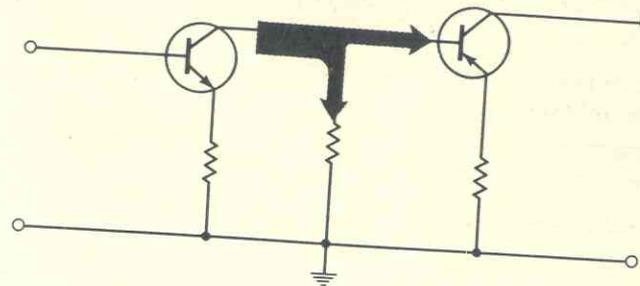
Una de las formas de acoplar las etapas de un amplificador de CC se vale del hecho de que hay dos tipos de transistores: PNP y NPN. Este tipo de circuito alterna los dos tipos y se conoce como circuito complementario.



En el transistor NPN de la primera etapa, la corriente colectora fluye del transistor. En el circuito de base del transistor PNP de la segunda etapa, el circuito de base fluye hacia el transistor. Si el colector NPN se acopla directamente a la base PNP la corriente entre ellos fluye en la misma dirección. (Los suministros de fuerza no se ilustraron en el diagrama a fin de simplificarlo.)

Es a veces necesario tener una corriente de colector en la primera etapa que sea considerablemente mayor que la corriente de base de la segunda etapa. Esto se puede realizar al derivar una parte de la corriente en un resistor, como se ilustra abajo.

Amplificador Complementario con corriente de Colector mayor que la base



Amplificadores sintonizados

Los amplificadores sintonizados amplifican solamente una estrecha banda de frecuencias (por ejemplo, un pequeño alcance de frecuencia comparado con la frecuencia central). Por lo que, los amplificadores sintonizados son selectivos.

Los amplificadores sintonizados se usan ampliamente en comunicaciones, como en receptores de radio y televisión, para amplificar frecuencias RF e IF. Los amplificadores sintonizados hacen posible seleccionar la estación que se desea entre el grupo de las estaciones cuyas señales pueden alcanzar el receptor. Los circuitos sintonizados hacen posible la separación de las señales de sonido y de imagen en un receptor de TV. En los transmisores, se usan amplificadores sintonizados para generar grandes cantidades de fuerza a las frecuencias asignadas a la estación.

- P30. En el circuito en la página opuesta, ¿cuál es la relación entre la corriente de base de la segunda etapa y la corriente de colector de la primera etapa?
- P31. ¿Cuál será la función de un resistor entre la base de la segunda etapa y tierra?
- P32. Los amplificadores sintonizados se diseñan para que amplifiquen solamente una..... de frecuencias.

Sus respuestas deben ser:

- R30. La corriente de base de la segunda etapa y la corriente de colector de la primera etapa **son idénticas**.
- R31. Un resistor entre la base de la segunda etapa y la tierra derivará una parte de la corriente en forma tal que la **corriente de base de la segunda etapa será menor que la corriente de colector de la primera etapa**.
- R32. Los amplificadores sintonizados se diseñan para que amplifiquen solamente una **estrecha banda** de frecuencias.

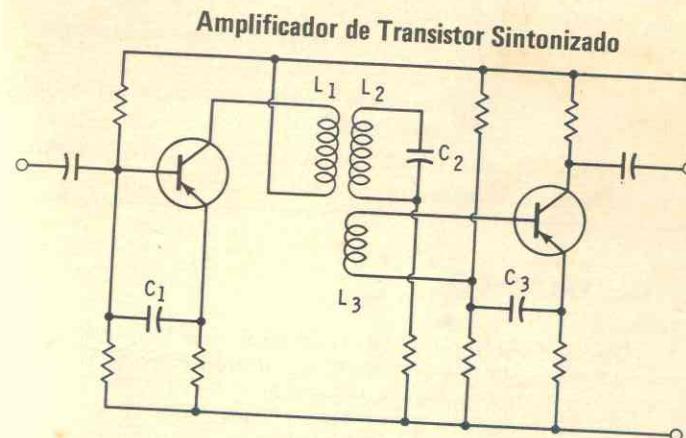
En los amplificadores sintonizados se obtiene la selectividad, o sintonización, mediante el uso de redes acopladoras que esencialmente son filtros. Esto es, ellos pasan energía entre las etapas en una estrecha banda de frecuencias solamente y rechazan las señales en todas las frecuencias fuera de esta banda. Estas redes de acoplamiento son casi siempre circuitos paralelo-resonantes (sintonizados). Un circuito paralelo-resonante tiene una alta impedancia en y cerca de su frecuencia resonante. La salida de corriente de la primera etapa solamente crea un voltaje a través del circuito sintonizado en una banda sintonizada muy estrecha. Por lo tanto la etapa siguiente recibe una corriente de entrada solamente para señales en esta banda de frecuencias.

Se usa el mismo principio en los amplificadores sintonizados de tubos de vacío. Estos son más fáciles de construir porque los amplificadores de tubos tienen altas resistencias de entrada y de salida. El problema es más difícil con los transistores porque ellos tienen una resistencia relativamente baja en la entrada y la salida. Cuando se acopla una etapa de un amplificador de transistores a un circuito paralelo-resonante, la baja resistencia del transistor reduce el Q del circuito resonante, lo que reduce la selectividad.

Esto hace necesario el diseñar un circuito que de alguna forma iguale las resistencias de las etapas y deje el Q efectivo del acoplamiento tan alto como sea posible para una selectividad adecuada. Tal circuito se muestra en la próxima página. Este es un amplificador de una sola sintonización que usa un circuito resonante que tiene un enrollado terciario (tercero). El circuito sintonizador se acopla por transformador al circuito colector del primer transistor por los enrollados L_1 y L_2 . Se acopla al circuito de base del segundo transistor por los enrollados L_2 y L_3 . Para asegurar la máxima

transferencia de energía entre las etapas, las relaciones de enrollados deben igualar la resistencia de salida del primer transistor a la resistencia de entrada del segundo transistor.

El circuito sintonizado L_2C_2 proporciona la selectividad en este circuito. Cuando se aplica una señal en la frecuencia resonante, una gran corriente circula entre el condensador y el inductor del circuito sintonizado. Se trans-



fiere energía fácilmente a L_3 por medio de acción transformadora. En todas las otras frecuencias, la corriente que circula es mucho menor, y la transferencia de energía es muy baja.

En la práctica, es también necesario usar otros componentes en los circuitos de transistores. Una de las redes de componentes que se usa generalmente es para contrarrestar la retroalimentación de señales de la salida a la entrada. Tales componentes forman lo que se conoce como redes de unilaterización.

- P33. Un circuito paralelo-resonante tiene una..... impedancia en la resonancia.
- P34. ¿Qué efecto tiene el conectar una etapa de transistor-amplificador a un circuito sintonizado sobre el Q del circuito sintonizado?
- P35. Otro nombre para el tercer enrollado es el de enrollado.....
- P36. ¿Qué es lo que determina la selectividad del circuito sintonizado?
- P37. Los circuitos de unilaterización se usan para impedir la.....

Sus respuestas deben ser:

- R33. Un circuito paralelo-resonante tiene una **alta** impedancia en la resonancia.
- R34. El conectar una etapa de un amplificador de transistores a través de un circuito sintonizado **reduce el Q del circuito.**
- R35. Otro nombre para el tercer enrollado es el de enrollado **terciario.**
- R36. El **Q del circuito resonante** determina la selectividad del amplificador sintonizado.
- R37. Las redes de unilateralización se usan para impedir la **retroalimentación.**

LO QUE HA APRENDIDO

1. La ganancia de voltaje de un amplificador de transistores depende de su ganancia de corriente y de la relación entre su resistencia de carga y su resistencia de entrada.
2. La resistencia de entrada de un amplificador de transistores es una propiedad de un circuito en particular.
3. Se selecciona un punto de funcionamiento de un transistor trazando una línea de carga por un juego de curvas de características.
4. Para mantener el punto de funcionamiento deseado, se deben proporcionar la corriente de base, el voltaje de colector-emisor, y la corriente de colector adecuadas.
5. El circuito de polarización fija usa una sola fuente de fuerza y resistores de caída de voltaje.
6. Los circuitos estabilizadores de divisores de voltaje pueden compensar los efectos de los cambios de temperatura.
7. La respuesta de baja frecuencia de un amplificador acoplado por RC se limita por medio de un condensador de acoplamiento.
8. El acoplamiento por RC pasa solamente señales de CA.
9. El acoplamiento por transformador influye sobre la respuesta a la frecuencia del amplificador y solamente pasa la CA.
10. El acoplamiento de CC deja pasar la baja frecuencia o las señales de CC pero complica los arreglos de la polarización al hacerlo.
11. Los transistores NPN y PNP se pueden combinar en un amplificador de acoplamiento de CC para simplificar los problemas de polarización.
12. Los circuitos paralelo-resonantes se usan en los amplificadores sintonizados.

LO QUE APRENDERÁ

En este capítulo aprenderá la diferencia que existe entre los circuitos de impulsos y los circuitos de ondas sinusoidales. Se discutirá la importancia de la respuesta transitoria en los circuitos de impulsos. Descubrirá cómo los circuitos de impulsos pueden contar, añadir números, integrar formas de onda, y funcionar como interruptores. Aprenderá a reconocer estos circuitos y cómo hacer el diagrama de algunos de ellos. También se familiarizará con las aplicaciones de los circuitos de impulsos.

¿QUE SON LOS CIRCUITOS DE IMPULSOS?

Ya usted conoce los circuitos de suministros de fuerza, en los que la CA se convierte en voltajes específicos de CC. También estudió los circuitos amplificadores y osciladores que se diseñan para generar y amplificar las señales de ondas sinusoidales. Estos circuitos se usan extensamente en electrónica, especialmente en radiocomunicación, televisión y la reproducción de sonido.

En contraste, los circuitos de impulsos se diseñan para trabajar con señales *no-sinusoidales*. Las señales típicas que se hallan en los circuitos de impulsos son las ondas cuadradas, las de dientes de sierra, voltajes de hiperamplitud, e impulsos rectangulares anchos. Los circuitos de impulsos se usan para contar y realizar operaciones matemáticas; para hacer cambios, como en los sistemas telefónicos de cuadrantes; y para sincronizar el funcionamiento de otros circuitos. En la televisión y el radar, por ejemplo, se deben encender y apagar muchos circuitos diferentes exactamente en el mismo momento para que el sistema funcione apropiadamente. Todas las formas de ondas de impulsos son en realidad combinaciones complejas

de frecuencias de ondas sinusoidales. Esto significa que la respuesta de frecuencia de un circuito es importante para la debida reproducción de la forma de onda de impulsos. Los circuitos de impulsos generalmente deben responder bien a una banda de frecuencias muy ancha. Las señales de impulsos son generalmente grandes comparadas con las señales de ondas sinusoidales, y generalmente el nivel de la señal cambia casi instantáneamente del punto de corte al de saturación (de un extremo de la línea de carga a la otra).

FUNCIONAMIENTO TRANSITORIO

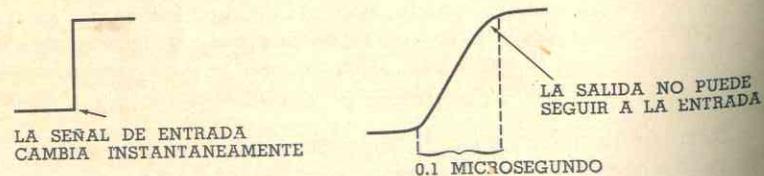
El funcionamiento transitorio describe la forma en que los circuitos y componentes reaccionan a los rápidos cambios en el nivel de la señal. En los circuitos de radios, los tubos y transistores funcionan generalmente a lo largo de la porción lineal de sus curvas de características, y el funcionamiento transitorio del tubo o el transistor no es muy importante.

Pero por otra parte, el funcionamiento de los circuitos de impulsos normalmente envuelve señales grandes. Esto significa que la operación amplificadora puede cambiar rápidamente de un estado noconductor a la etapa saturada, o vice-versa. La respuesta transitoria de los circuitos de transistores y de tubos en cualquiera de estos estados extremos es muy importante en el funcionamiento del circuito de impulsos.

El tiempo que se requiere para encender un tubo o transistor puede ser de 0.08 a 0.10 microsegundos y el tiempo para apagarlo de 0.10 a 0.12 microsegundos.

Pero generalmente, los impulsos se alzan y caen bruscamente y su entera duración se puede medir en microsegundos. Por lo tanto, el tiempo

Respuesta transitoria Limitada de un Transistor



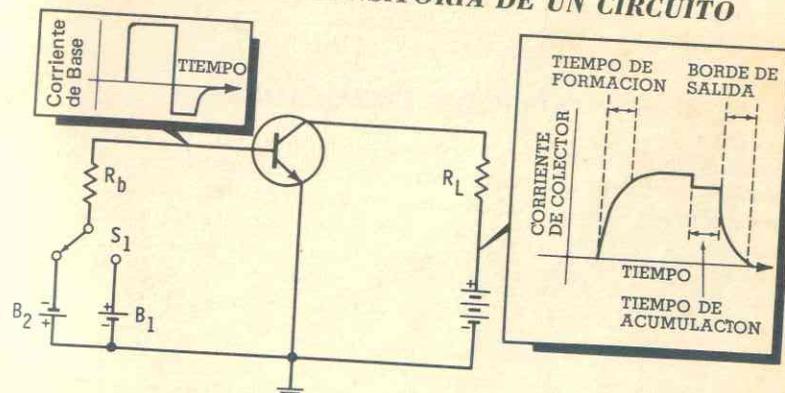
que le toma a un electrón el ir del cátodo a la placa en un tubo de vacío ya no es insignificante. Por la misma razón el tiempo en el que los electrones o agujeros se difundan del emisor al colector en un transistor debe tomarse en consideración.

Otros factores que afectan el funcionamiento transitorio son la impedancia de la carga, la capacitancia del transistor o del elemento del tubo, y las condiciones operatorias antes de la llegada del impulso.

FUNCIONAMIENTO TRANSITORIO DEL TRANSISTOR

La figura inferior muestra un transistor NPN que se conecta a un amplificador de emisor común. Con el interruptor S_1 en la forma mostrada, la unión del emisor a la base se polariza inversamente, y la corriente colector no fluye. Cuando S_1 se mueve a la otra posición, el voltaje de la

RESPUESTA TRANSITORIA DE UN CIRCUITO



batería B_1 polariza hacia delante la unión del emisor a la base. La corriente de base alcanza rápidamente el máximo y la corriente de colector también aumenta. El tiempo que se requiere para un aumento del 10% del máximo es el tiempo de alza o elevación.

Cuando se coloca S_1 en su posición original, la corriente de base cae rápidamente y se excede. Esta inversión se debe a las portadoras menores que se almacenan en la base durante el período de polarización hacia delante. La polaridad inversa de la batería B_2 produce un flujo de corriente inversa. La corriente de colector no cambia inmediatamente durante el corte del voltaje de la base. Esta demora se llama tiempo de almacenamiento y es el tiempo que se requiere para colector las portadoras menores que permanecen en la base.

A medida que la corriente en la base declina, declina también la corriente en el colector. Esta porción de la forma de onda recibe el nombre de frente posterior. El tiempo que le toma al frente posterior disminuir del 90% al 10% de la corriente colector máxima es el tiempo de declinación.

- P1. ¿A qué período también se le puede llamar tiempo de caída?
- P2. Las señales de impulsos tienen también amplitudes.....
- P3. Un amplificador de impulsos debe tener también un ancho de banda.....

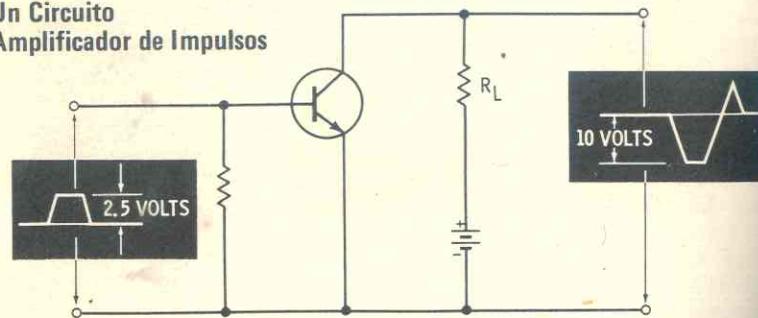
Sus respuestas deben ser:

- R1. Al período de **declinación** también se le puede llamar tiempo de caída.
- R2. Las señales de impulsos tienen también amplitudes **grandes**.
- R3. Un amplificador de impulsos también debe tener un ancho de banda **grande**.

ESTADOS DEL TRANSISTOR

Un transistor se puede hacer funcionar en el estado de corte, activo, o saturado. Considere el circuito inferior. En el estado de corte, no fluye corriente colectora. Esta condición existe cuando no hay corriente a través de la unión del emisor a la base. El estado activo es la condición de funcionamiento del transistor en la que éste se puede usar como un amplificador, y éste es el estado que estudió en el capítulo anterior. En el estado saturado el transistor llegó al punto en el cual un aumento en la entrada no produce un aumento en la salida.

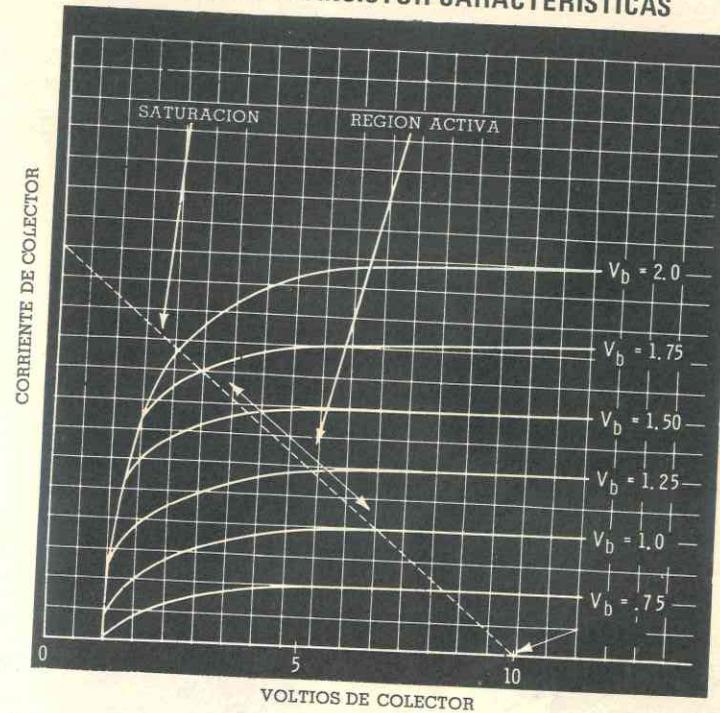
Un Circuito Amplificador de Impulsos



Cuando no se aplica una señal a la base en el circuito superior, no fluye una corriente colectora (descontando la pérdida a través del aislador) por lo que el transistor está en el estado de corte. Cuando se aplica una señal grande a la base, el transistor pasa rápidamente al estado activo y de éste al saturado, y fluye una corriente máxima. La corriente de colector se alza rápidamente a una velocidad que depende de la capacitancia, el tiempo de difusión de los electrones y los agujeros, y la impedancia de la carga. El voltaje de colector disminuye debido a la caída de voltaje a través de R_L . Ahora la corriente de colector está en su punto máximo. El voltaje de colector es menor que los 2.5 voltios del voltaje de la base. Ambas uniones están ahora polarizadas hacia adelante.

El corte ocurre en el extremo de voltaje máximo de la línea de carga del transistor (fíjese en el cuadro inferior). La saturación ocurre cerca del extremo de máxima corriente, aunque la corriente durante la saturación nunca alcanza el máximo teórico. Las regiones de corte y de saturación

CURVAS DE TRANSISTOR CARACTERISTICAS



se denominan respectivamente el estado de reposo o *quiescente* y el estado estable. Cuando las uniones del emisor a la base y la del colector a la base están inversamente polarizadas, el transistor está en estado de reposo. Cuando ambas uniones están polarizadas hacia adelante, el transistor está en estado saturado.

- P4. Un transistor se puede hacer funcionar en el estado.....
- P5. En el circuito que se analizó, el voltaje de colector..... cuando la corriente del colector aumenta.
- P6. Cuando ambas uniones están polarizadas hacia adelante, el transistor está en el estado.....

Su respuesta debe ser:

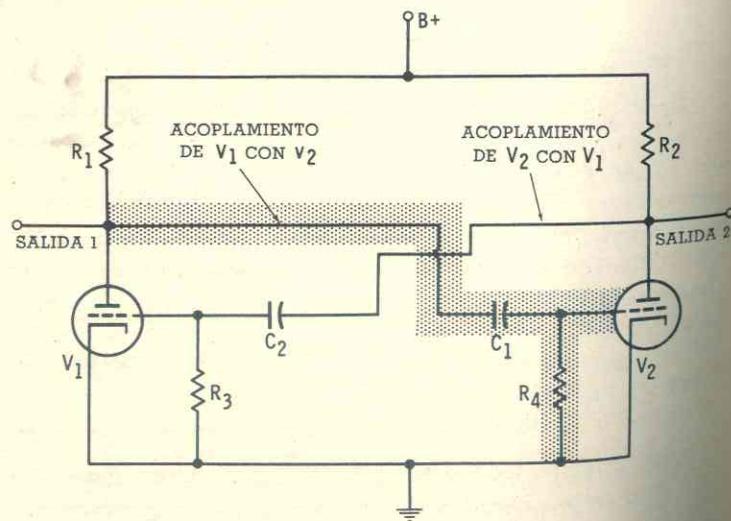
R7. El voltaje de carga que se aplica al circuito RC, por los valores R y C (que determinan la constante de tiempo RC), y el voltaje de la rejilla del tiratrón determinan la frecuencia del generador de impulsos.

Multivibradores

El multivibrador es un circuito que se usa para generar impulsos rectangulares o cuadrados. Como el generador de diente de sierra, su frecuencia se determina por la constante de tiempo de un circuito de RC. Como un oscilador de onda sinusoidal convencional, hace uso de una retroalimentación positiva.

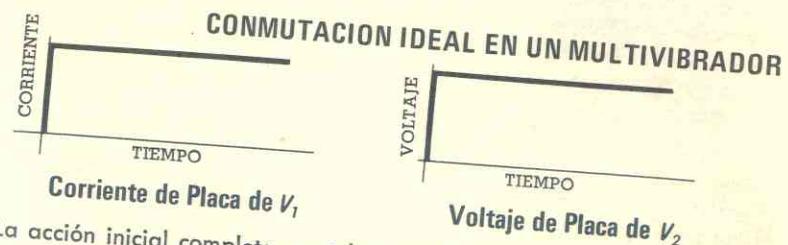
Un multivibrador básico es un simple amplificador de dos etapas acoplado por RC en el que la salida de la segunda etapa se acopla a la entrada de la primera. Esto forma una gaza cerrada. La señal de salida de la primera etapa (salida 1) se acopla por RC a la rejilla de la segunda etapa (entrada 2). La señal de salida de la segunda etapa (salida 2) se acopla por RC a la rejilla de la primera etapa (entrada 1).

UN CIRCUITO MULTIVIBRADOR



¿Cómo funciona este circuito? Cuando se aplica el voltaje B, ambos tubos empiezan a conducir, como en un amplificador normal. Si la corriente en ambos tubos es exactamente igual, esto es todo lo que pasará. Sin embargo, debido a pequeñas diferencias en los tubos u otros componentes, un tubo conducirá un poco más de corriente que el otro.

Por ejemplo, si V_1 empieza a conducir ligeramente más que V_2 , este aumento en conducción se torna en una señal de entrada a V_2 , haciendo que éste conduzca menos. Esta disminución en conducción de V_2 , se vuelve entonces una señal de entrada a V_1 , haciendo que éste conduzca más. Este proceso continúa hasta que V_2 se corta con gran rapidez.



La acción inicial completa, un tubo que alcanza la conducción máxima y el otro que se corta, ocurre casi instantáneamente. Si el voltaje a través de V_2 se usa como la salida de este circuito, cambiará con gran rapidez de un valor mínimo al máximo.

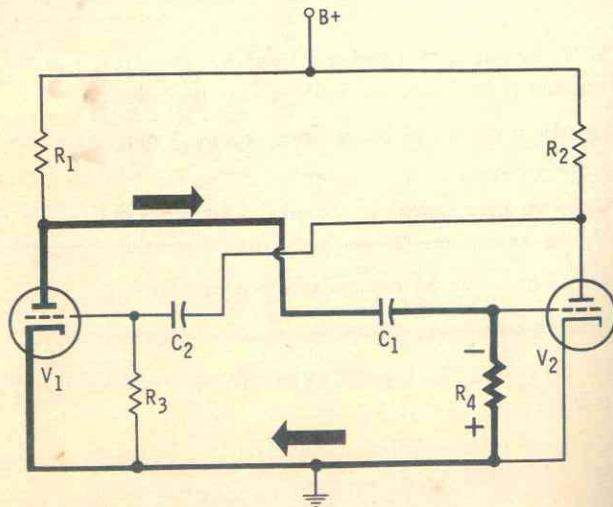
- P8. Si V_1 empieza a conducir ligeramente más que V_2 , ¿qué le pasará a la caída de voltaje a través de R_1 ?
- P9. La placa de V_1 se hace (más, menos) negativa con respecto a B+.
- P10. Cuando esta señal se acopla a través de C_1 a la rejilla de V_2 , la rejilla de V_2 se hace más (positiva, negativa).....
- P11. Esto hace que la corriente de placa en V_2
- P12. Esto hace que la caída de voltaje a través de R_2
- P13. La placa de V_2 se hace (más, menos) negativa con respecto a B+.
- P14. Cuando esta señal se acopla a través de C_2 a la rejilla de V_1 , la rejilla de V_1 se hace.....
- P15. ¿Qué efecto ejerce esto sobre la corriente que fluye por V_1 ?

Sus respuestas deben ser:

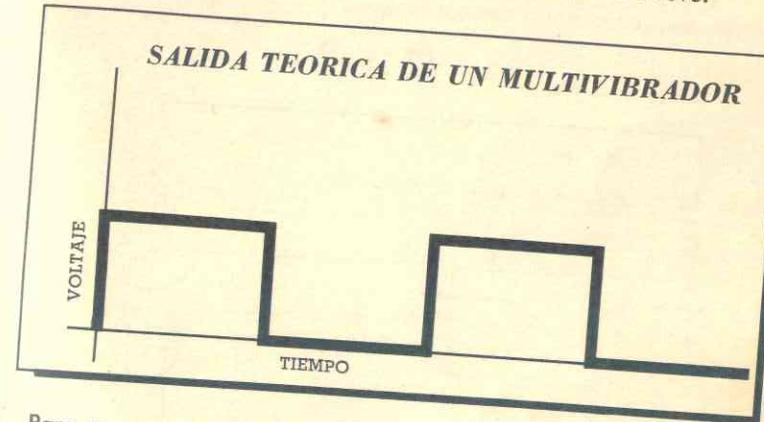
- R8. Si V_1 empieza a conducir ligeramente más que V_2 , la caída de voltaje a través de R_1 **aumenta**.
- R9. La placa de V_1 se hace **más negativa** con respecto a $B+$.
- R10. Cuando esta señal se acopla a través de C_1 a la rejilla de V_2 , la rejilla de V_2 se hace **más negativa**.
- R11. Esto hace que la corriente de placa en V_2 **disminuya**.
- R13. La placa de V_2 se vuelve **menos negativa** con respecto a $B+$.
- R14. Cuando la señal se acopla a través de C_2 a la rejilla de V_1 , la rejilla de V_1 se hace **menos negativa**.
- R15. Esto **aumenta la corriente que fluye por V_1** .

En la primera etapa de la acción del circuito, V_2 se corta y V_1 conduce mucho. Cuando el tubo alcanza este estado estable y las señales ya no están cambiando, el acoplamiento por RC ya no es efectivo. El voltaje que mantiene a V_2 en estado de corte disminuirá gradualmente.

RECORRIDO DE DESCARGA EN UN MULTIVIBRADOR



Es fácil ver qué pasa si se fija en el acoplamiento entre V_1 y V_2 . La rejilla de V_2 la hizo negativa el voltaje de placa variable que fluye por V_1 acoplado a través de C_1 . Cuando el voltaje de placa de V_1 deja de cambiar, la rejilla de V_2 se mantiene negativa por medio de la carga del condensador acoplado C_1 . Pero C_1 se descarga gradualmente a través de V_1 , que está conduciendo mucho, y R_4 . Cuando V_2 empieza a conducir, comienza un proceso exactamente igual a la primera etapa. V_1 se lleva el corte, y V_2 empieza a conducir mucho. Entonces el condensador acoplado entre V_2 y V_1 se descargará, y el ciclo se repetirá de nuevo.



Para reparar: un multivibrador básico son dos amplificadores acoplados mutuamente por RC. Cuando empiezan a funcionar, uno se lleva inmediatamente al corte y el otro conduce mucho. Continúan en este estado hasta que la red acoplada por RC descarga lo suficiente para permitir que el amplificador cortado conduzca de nuevo. Cuando esto pasa, el primer amplificador se corta y el segundo conduce mucho. Los dos amplificadores continúan alternando estados de conducción a una velocidad que se determina por medio de la constante de tiempo de las redes acopladas por RC.

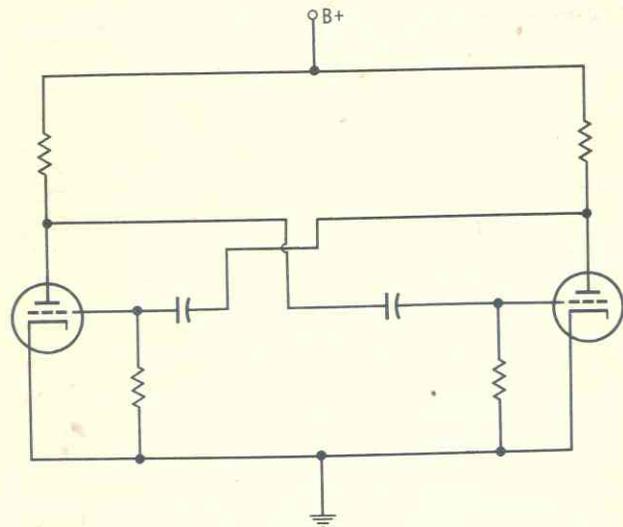
- P16. La..... de la red acoplada por RC determina la velocidad en que se descarga C_1 .
- 17. ¿Qué le pasa a la corriente en V_2 a medida que se descarga C_1 ?
- P18. Trace un esquema de un multivibrador básico. Empiece dibujando un amplificador de dos etapas acoplado por RC, y entonces añada el circuito acoplado extra.

Sus respuestas deben ser:

R16. La constante de tiempo de la red acoplada por RC determina la velocidad en que se descarga C_1 .

R17. A medida que se descarga C_1 el voltaje de la rejilla de V_2 disminuye. Cuando el voltaje de la rejilla pasa el nivel de corte, V_2 empieza a conducir.

R18. Su esquema debe ser como éste:



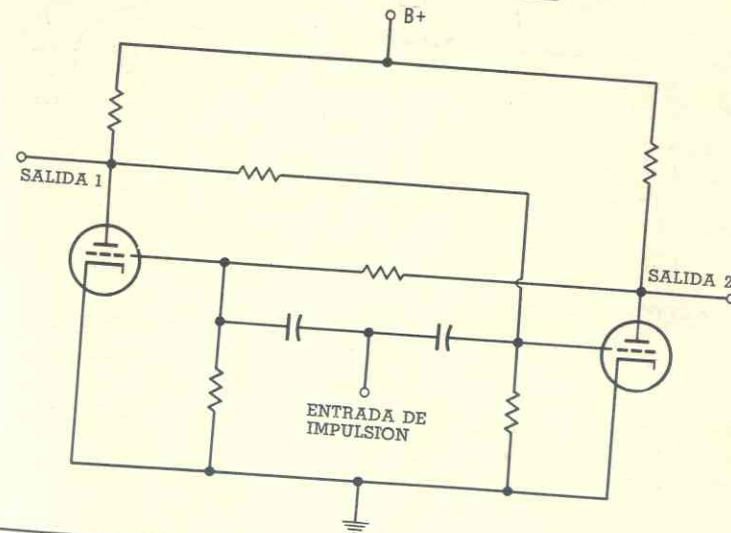
Multivibradores biestables

Un *multivibrador biestable* es una variación muy útil del multivibrador básico. Como verá más tarde en este capítulo es uno de los circuitos básicos de los computadores digitales.

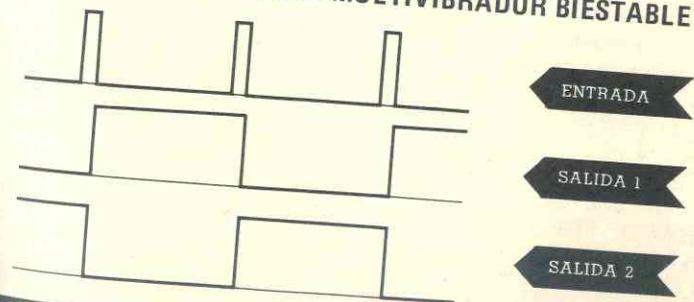
Como el multivibrador básico, el multivibrador biestable consiste de un amplificador de dos etapas con la salida acoplada a su entrada. La diferencia entre los dos circuitos estriba en que las etapas están acopladas directamente en lugar de estarlo por RC. Por lo que no hay condensadores de acoplamiento que carguen, descarguen, y controlen la conducción del tubo. Cuando el circuito asume un estado, permanece así hasta que se aplica una señal exterior para que empiece el proceso de cambio. Entonces el multivibrador cae en el estado opuesto.

En el circuito inferior, un impulso positivo en la entrada de gatillo no surtirá efecto sobre el tubo que ya está conduciendo, pero hará que el tubo en estado de corte empiece a conducir y así inicie el proceso de cambio.

UN CIRCUITO DE GENERADOR DE RELAJACION BIESTABLE



FUNCIONAMIENTO DEL MULTIVIBRADOR BIESTABLE



P19. En un multivibrador biestable, ¿a qué tubo afectará el impulso negativo? ¿Cómo será afectado?

P20. ¿Cuántos impulsos de entrada se requieren para producir un solo impulso de salida de un multivibrador biestable?

Sus respuestas deben ser:

- R21. Al interrumpir circuitos, los tubos y transistores van del estado de corte al de saturación.
- R22. En el circuito superior, la acción del interruptor depende del cambio del voltaje del cátodo.

Apagado y encendido automático de los circuitos

Ya vio como un interruptor electrónico puede apagar o encender un aparato. La televisión es un ejemplo práctico de un interruptor automático. El haz del tubo de pantalla se debe encender y apagar 15,750 veces por segundo. Para realizar esto, la estación de radiotransmisión envía los impulsos de blanqueo a esta frecuencia. El receptor usa estos impulsos para activar un interruptor electrónico. Cada vez que se recibe un impulso de blanqueo, se interrumpe la señal de la imagen para permitir que el haz electrónico regrese a través del tubo de pantalla para que empiece una nueva línea. Si no se usara esta combinación, al regresar el haz, tendería a llenar las áreas oscuras en la imagen.

Envío de señales a diferentes puntos

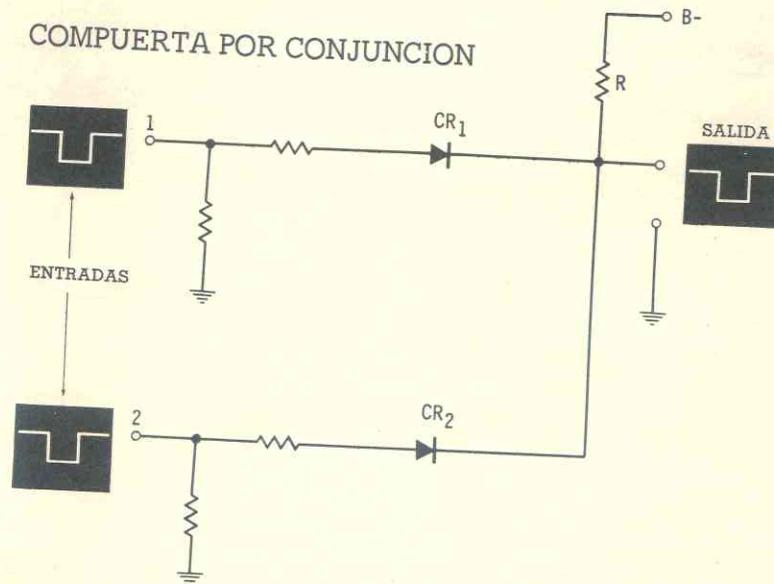
Los circuitos de entrada llevan a cabo generalmente acciones interruptoras más complicadas. El circuito de entrada solamente le permite el paso a las señales cuando se satisfacen ciertas condiciones, pero cuando estas no se satisfacen, no puede pasar señal alguna.

Los circuitos de entrada de transistores se usan frecuentemente en aplicaciones de computadores. Funcionan como entradas para dirigir el flujo de las señales a diferentes puntos en el conjunto de circuitos. Debido a que son capaces de determinar operaciones computadoras basándose en las condiciones de entrada, estos circuitos reciben el nombre de circuitos lógicos. Las entradas AND y las OR son dos clases de entradas que se usan en las operaciones lógicas. Las entradas AND pueden usar tubos transistores, o diodos semiconductores, siendo los últimos los más comunes.

La entrada AND que se muestra en la página opuesta requiere que ambas entradas estén presentes, antes de que se genere una salida. Sin señales, la corriente fluye del terminal negativo de la batería a través del resistor grande (R) y de ambos diodos, hasta llegar a tierra.

Como resultado, la salida es un voltaje negativo, constante y pequeño. Un impulso negativo en el punto 1 polarizará inversamente el diodo CR₁, pero la corriente sigue fluyendo por el diodo CR₂. Dado que R es muy

grande comparado con los otros dos resistores, la salida permanece casi igual. Para ver porqué esto es cierto, note que la resistencia de R determina principalmente el flujo de corriente total. Por lo tanto, la caída de voltaje a través de R cambia solamente en una pequeña cantidad cuando CR₁ deja de conducir. Cuando los impulsos negativos aparecen en los puntos 1 y 2 al mismo tiempo, ambos diodos se polarizan inversamente. El flujo de corriente cesa, y el voltaje de salida se hace igual al del terminal



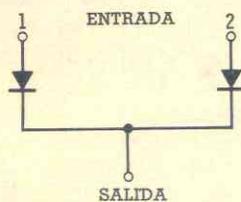
negativo de la batería por la duración de los impulsos de entrada. Por lo tanto, para producir una salida, el impulso 1 y el impulso 2 deben estar presentes. La condición necesaria para producir una salida de esta entrada AND es la de que los dos impulsos negativos deben ocurrir al mismo tiempo.

- P23. ¿Qué es un circuito de entrada?
- P24. En un circuito AND con dos entradas, solamente hay una salida si los dos impulsos de entrada ocurren a (el mismo tiempo, diferentes tiempos).
- P25. El tipo más común de entrada AND es el tipo de.....
- P26. Los circuitos de entrada (se usan, no se usan) en los computadores.

Sus respuestas deben ser:

- R23. Un circuito de entrada es el que le permite el paso a las señales solamente cuando se cumplen ciertas condiciones.
- R24. En un circuito AND con dos entradas, solamente hay una salida si los dos impulsos de entrada ocurren al mismo tiempo.
- R25. El tipo más común de entrada AND es el tipo de diodo semiconductor.
- R26. Los circuitos de entrada se usan en los computadores.

La entrada OR abajo ilustrada necesita la entrada 1 o la entrada 2 para producir una salida. Este circuito se usa cuando se van a usar muchas entradas en un solo circuito.

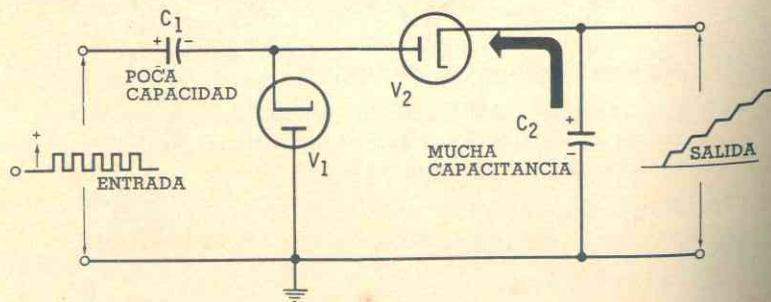


COMPUERTA
POR
DISYUNCION

Circuitos divisores de frecuencia

Una de las funciones más comunes de los circuitos de impulsos es la de contar. Un contador de pasos, o un circuito divisor de frecuencia realiza esto. Se puede usar este circuito para contar un número dado de impulsos de entrada o para dividir la frecuencia de los impulsos de entrada en una frecuencia menor. Abajo se ilustra un contador de pasos.

UN CIRCUITO CONTADOR DE IMPULSOS



Cuando se aplica el primer impulso positivo, se remueven electrones de la placa izquierda de C_1 . Esto hace que se muevan electrones de la placa superior de C_2 , a través del diodo V_2 , a la placa derecha de C_1 . Como resultado, C_1 y C_2 se cargan con las polaridades que se muestran. No fluyen electrones por V_1 , porque su placa es negativa con respecto a su cátodo. Al final del impulso, el voltaje de entrada regresa a cero. El condensador C_1 se puede descargar ahora a través de la fuente de impulsos y de V_1 . La carga en C_2 hace el cátodo de V_2 positivo con respecto a su placa. Por lo tanto, V_2 no puede conducir, y el condensador C_2 no puede descargar.

Cada impulso adicional produce una carga adicional que se añade a C_2 . A medida que se repite este ciclo, el voltaje a través de C_2 aumenta en etapas, o pasos.

Supongamos que se conecta a través de la salida un tiratrón u otro aparato interruptor sensible al voltaje. Cuando el voltaje a través de C_2 alcanza el valor deseado, el aparato interruptor cierra y C_2 se descarga. Entonces, el aparato interruptor abre y el proceso completo comienza de nuevo. En este ejemplo, el aparato interruptor produce un impulso de salida por cada cinco impulsos de entrada; la frecuencia de entrada se divide entre cinco.



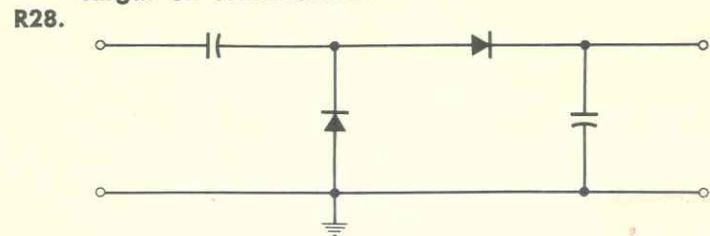
CARACTERISTICA DE
CARGA DEL CONDENSADOR

La figura superior muestra la forma en que carga un condensador. Los puntos muestran el aumento en el voltaje por cada impulso de entrada. La cantidad actual de voltaje depende de la naturaleza de los impulsos y el circuito. Es indeseable diseñar el condensador en forma tal que C_2 descargue cerca de su valor de carga máxima. Esto se debe a que cada impulso adicional produce un pequeño aumento en el voltaje, y es difícil el tener la seguridad de que el condensador descargará después del número de impulsos deseados.

- P27. Un circuito contador cuenta impulsos al usarlos para.....
- P28. Dibuje un circuito que use diodos de estado sólido.
- P29. ¿Qué es un circuito OR?

Sus respuestas deben ser:

R27. Un circuito contador cuenta impulsos al usarlos para cargar un condensador.

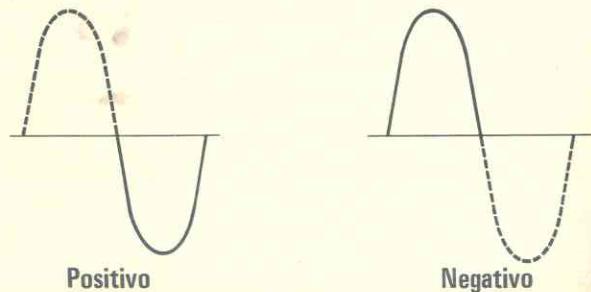


R29. Un circuito OR es un circuito de entrada que produce una salida cuando se aplica una señal a alguna de sus entradas.

Limitadores

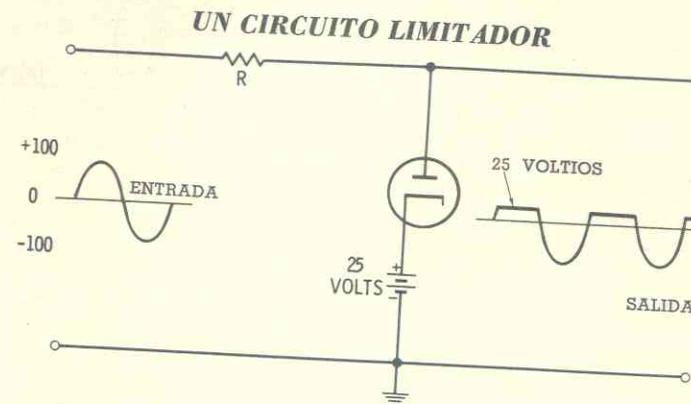
El circuito limitador más sencillo es el limitador de cristal positivo. La entrada es una onda sinusoidal. El circuito permite solamente el paso de la mitad negativa de la onda sinusoidal. Bloquea, o limita, la mitad positiva, (de ahí su nombre de limitador positivo). Obviamente, se obtiene una limitación negativa invirtiendo las conexiones del diodo. Este tipo de limitador usa un voltaje de cero como referencia. Sin embargo, se pueden usar otros potenciales de referencia.

ONDAS SENOIDALES LIMITADAS A CERO VOLTIOS



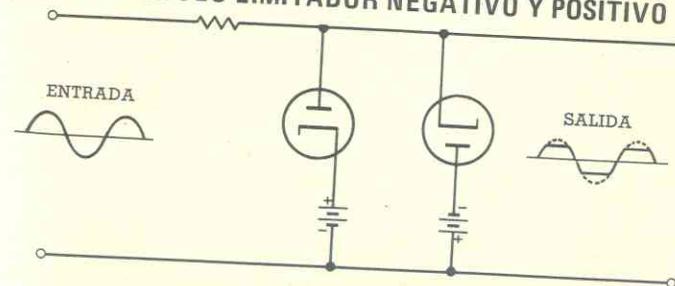
El diodo de tubo de vacío se puede usar para obtener una forma de onda positivamente limitada a un potencial positivo. En otras palabras, se suprime menos de la mitad de la onda sinusoidal de entrada. Esto se realiza manteniendo el cátodo en el valor de límite. La batería en la ilustración mantiene el cátodo en 25 voltios positivos con respecto a tierra. Cuando la

entrada de la onda sinusoidal se alza a 25 voltios, el voltaje de placa se alza a esta cantidad. Entonces, el tubo empieza a conducir. A medida que el voltaje de entrada aumenta, la corriente de placa también aumenta. La caída de voltaje a través de R también aumenta, pero el voltaje de placa no puede caer por debajo de 25 voltios. Por lo tanto, el voltaje de placa permanece en 25 voltios. Cuando el voltaje de la onda sinusoidal cae por debajo de los 25 voltios positivos, el voltaje de placa sigue al voltaje de entrada.



Quando se polariza un par de diodos en forma tal que uno sea positivo y otro negativo, se obtienen los límites positivo y negativo. La forma de onda de salida se conoce como una forma de onda trapezoidal.

UN CIRCUITO LIMITADOR NEGATIVO Y POSITIVO



P30. ¿Cómo puede el circuito limitador al principio de esta página usarse para limitar negativamente?

P31. Se puede obtener limitación positiva y negativa de una forma de onda usando.....

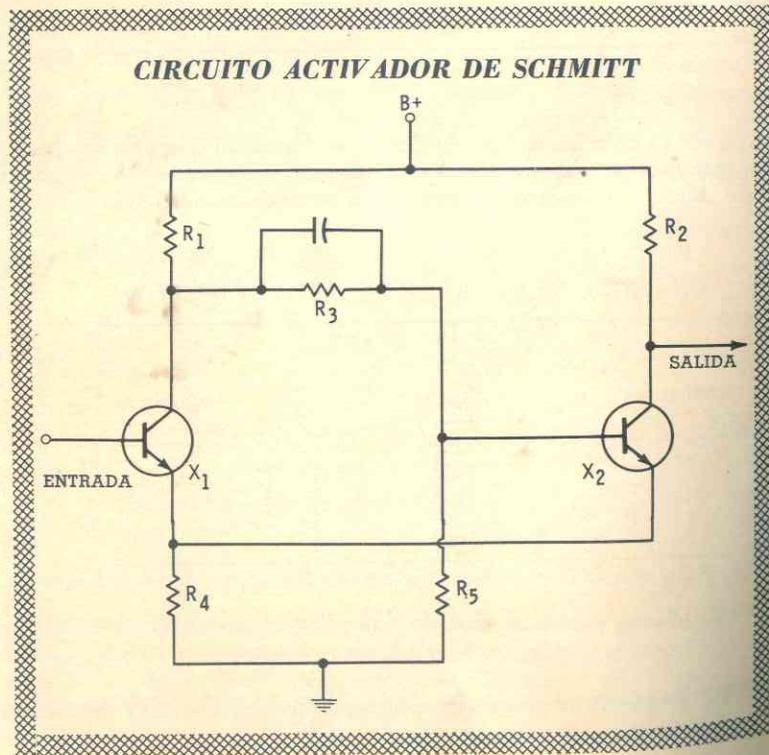
Sus respuestas deben ser:

R30. Si las conexiones de la batería y del diodo se invierten, se realizará una limitación negativa. En este caso, el voltaje de referencia es de -25 voltios. El voltaje de salida varía de -25 voltios a 100 voltios. La porción negativa de la onda sinusoidal se limita a -25 voltios.

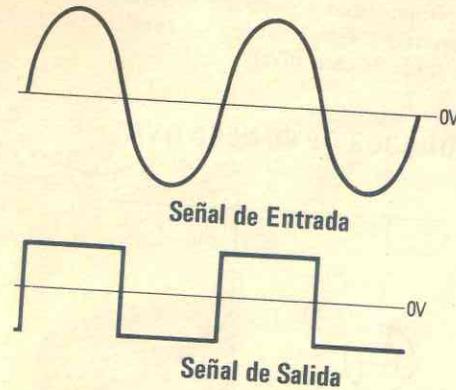
R31. Se puede obtener limitación positiva y negativa de una forma de onda usando dos diodos.

Circuito de cuadratura

Un típico circuito de cuadratura es el activador SCHMITT, que se muestra abajo. Este circuito puede convertir muchas formas de onda de entrada a una salida de onda cuadrada. Note como ella se parece a un circuito multivibrador en su acción.



Cuando no hay entrada, el transistor X_1 se corta, y su voltaje colector equivale al voltaje de la batería. Este voltaje se acopla a la base de X_2 a través de R_3 , por lo que el transistor X_2 se satura. Debido a la corriente emisora de X_2 , el tope del resistor R_4 es positivo. Ahora se coloca una entrada de onda sinusoidal en la base de X_1 . El voltaje de la señal positiva excede rápidamente el voltaje del emisor. Esto hace que X_1 conduzca. El voltaje colector de X_1 cae ligeramente, y este cambio se acopla a la base de X_2 , y el tope del resistor R_4 se hace menos positivo. Esto hace que X_1 conduzca más. La corriente en el transistor X_1 aumenta regenerativamente hasta que X_1 se satura. Esto corta inmediatamente el transistor X_2 , y su voltaje de colector se alza inmediatamente a su máximo valor positivo.



FORMAS DE ONDAS ACTIVADORAS DE SCHMITT

Este estado continúa hasta que la onda sinusoidal de entrada se torna negativa. Esto reduce la polarización hacia delante de la base de X_1 para disminuir la corriente del colector. El voltaje del colector de X_1 se alza. Este cambio se acopla a la base de X_2 haciendo que el transistor conduzca. El potencial alzándose en el tope del transistor R_4 ayuda a esta condición. El transistor X_1 se corta repentinamente, y el transistor X_2 se satura repentinamente. El voltaje del colector de X_2 cae a su valor mínimo. Por lo que, la entrada de una onda sinusoidal genera una onda cuadrada.

P32. El circuito activador Schmitt produce una salida..... de una entrada de onda sinusoidal.

P33. Los transistores en un circuito activador Schmitt oscilan entre..... y

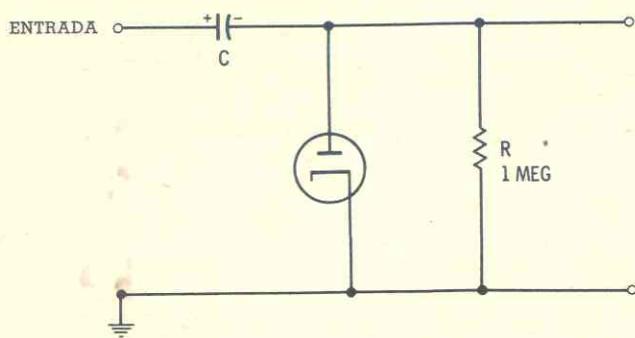
Sus respuestas deben ser:

- R32. El circuito activador Schmitt produce una salida de **onda cuadrada** de una entrada de onda sinusoidal.
- R33. Los transistores en un circuito activador Schmitt oscilan entre **corte y saturación**.

El restaurador de CC

Un *restaurador de CC* hace variar una forma de onda a un nivel superior o inferior al de un cierto voltaje. Esto se realiza esencialmente al cargar un condensador al nivel deseado. Esto también se conoce con el nombre de *fijación* de la forma de onda a este nivel.

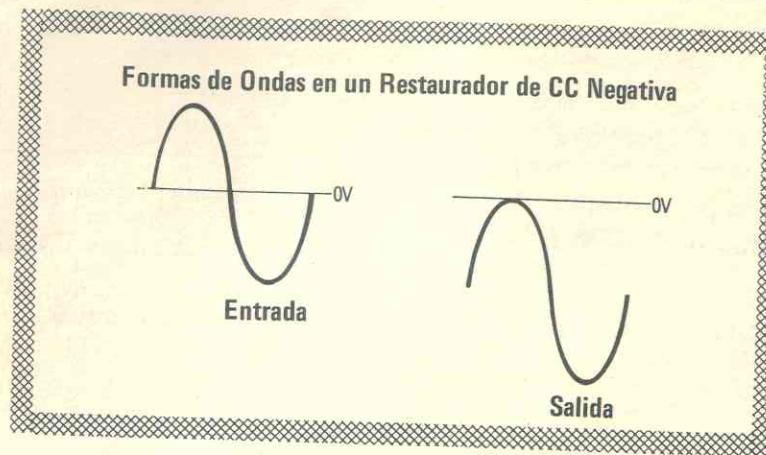
UN RESTAURADOR DE CC NEGATIVA



Debido a la presencia del diodo, los electrones pueden fluir con facilidad en el condensador cuando el voltaje de entrada es positivo. Sin embargo, el diodo no conduce en la dirección opuesta, así que el camino de descarga es a través de la alta resistencia de R. Por lo tanto, el condensador C descarga ligeramente entre los medios ciclos positivos solamente. Esta pequeña cantidad de carga se reemplaza durante el próximo medio ciclo positivo. Después de unos cuantos ciclos del voltaje de entrada, el condensador C se carga hasta llegar al voltaje máximo de la onda sinusoidal de entrada.

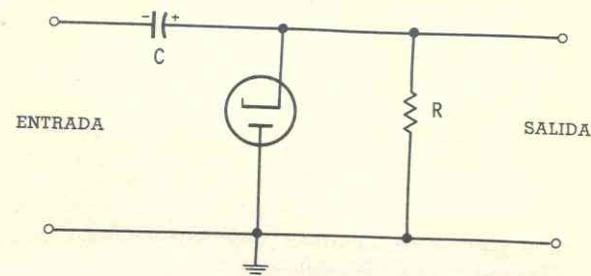
Con el condensador cargado como se muestra en el diagrama del circuito, el voltaje del condensador sustrae del voltaje de entrada cuando ésta es positiva. Los voltajes se añaden cuando la entrada es negativa. El re-

sultado es que el voltaje de salida es siempre negativo, y solamente alcanza cero cuando el voltaje de entrada está en su máximo positivo.



En esta forma, la forma de onda completa se cambió hasta llegar debajo del nivel de cero para asegurar el tope de la forma de onda a cero voltios. Este circuito se conoce como un *restaurador CC negativo*. Se puede obtener un *restaurador CC positivo* invirtiendo el diodo. En este caso,

UN RESTAURADOR DE CC POSITIVA



se cambia la forma de onda entera sobre el nivel de cero para asegurar la parte inferior de la forma de onda a cero.

- P34. Otro nombre que recibe el mover una forma de onda a un nivel superior o inferior al de cierto voltaje es el de.....
- P35. El asegurar depende primariamente de..... un condensador.
- P36. Se puede hacer un restaurador positivo de un restaurador negativo al.....

Sus respuestas deben ser:

- R34.** Otro nombre que recibe el mover una forma de onda a un nivel superior o inferior al de cierto voltaje es el **de asegurar**.
- R35.** El asegurar depende primariamente de **cargar** un condensador.
- R36.** Se puede hacer un restaurador positivo de un restaurador negativo al **invertir el diodo**.

LO QUE HA APRENDIDO

1. Los circuitos de impulsos se controlan por medio de señales grandes que son una combinación de un amplio alcance de frecuencias de ondas sinusoidales.
2. Esta clase de funcionamiento coloca un tubo o transistor en la porción no lineal de su curva de características.
3. Generalmente, los tubos y transistores se llevan rápidamente del estado de corte al de saturación; por lo tanto, su respuesta transitoria es muy importante con respecto al funcionamiento del tubo.
4. En los circuitos de impulsos, los impulsos en vez de las entradas sinusoidales generalmente son las fuentes de señales primarias.
5. Las ondas sinusoidales se pueden convertir a impulsos por medio de un activador Schmitt u otros circuitos de formación.
6. Los circuitos de impulsos se pueden usar para contar, formar formas de ondas, encender y apagar circuitos con gran rapidez y realizar funciones lógicas.
7. Los circuitos de impulsos se usan extensivamente en computadores, radar, y televisión, y en aplicaciones que requieren operaciones lógicas.
8. Los restauradores CC se usan para mantener la relación de una forma de onda a un voltaje de referencia determinado.



ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA

CURSO BASICO

Preparado por el cuerpo técnico de:
TRAINING & RETRAINING INC. de New York

- ▶ Principios Básicos. Volumen I
- ▶ Aplicaciones. Volumen II
- ▶ Circuitos de CA y CC. (1a. Parte). Volumen III
- ▶ Circuitos de CA y CC. (2a. Parte). Volumen IV
- ▶ Circuitos de Tubos y Transistores. Volumen V
- ▶ Instrumentos de Prueba. Volumen VI
- ▶ Motores y Generadores. Volumen VII
- ▶ Cuaderno de Trabajo. Volumen VIII

