

CURSO
DE
FÍSICA

W. WATSON

TERCERA EDICIÓN

EDITORIAL LABOR, S. A.
BARCELONA-MADRID

W. WATSON †

Miembro de la «Royal Society», Profesor de Física del
«Imperial College of Science and Technology», de Londres

CURSO DE FÍSICA

INCLUYENDO UN APÉNDICE
ACERCA DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD

AMPLIADO POR

HERBERT MOSS

Doctor en Ciencias, Profesor de Física del «Imperial
College of Science and Technology», de Londres

TRADUCCIÓN DE LA OCTAVA EDICIÓN INGLESA

POR

D. JOSÉ MAÑAS Y BONVÍ †

Ingeniero Industrial, Catedrático de Física y de Química
general en la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona

589 figuras y numerosos
ejemplos demostrativos

—
TERCERA EDICIÓN
REIMPRESIÓN

Jau, Julio de 1952.



EDITORIAL LABOR, S. A.

BARCELONA - MADRID - BUENOS AIRES - RIO DE JANEIRO
MÉXICO - MONTEVIDEO

1950

Si no existiera intervalo de aire, la inducción habría resultado

$$\frac{5 \cdot 2400 \cdot 4}{30} = 1600 \text{ tubos unidad}$$

Este ejemplo demuestra la enorme influencia del intervalo de aire en el valor de la inducción.

536. Telégrafo eléctrico. Aprovechando la propiedad de la aguja de los galvanómetros de desviarse en uno u otro sentido según sea el de la corriente que pasa por su bobina, es posible utilizar un aparato de esta clase para recibir señales transmitidas desde un punto alejado en el que se disponga un conmutador y una batería conectados mediante un alambre aislado con un galvanómetro situado en la estación receptora. En este montaje el circuito se completa con tierra. Si cada una de las estaciones tiene su correspondiente batería, su galvanómetro y su conmutador, siempre es posible, mediante un segundo conmutador, establecer la comunicación del hilo de línea con el aparato transmisor o con el receptor y transmitir mensajes en ambos sentidos entre las estaciones.

Tal era el fundamento del primitivo telégrafo, cuyos aparatos de recepción eran galvanómetros poco sensibles cuya aguja oscilaba en uno u otro sentido haciendo así visibles las señales convencionales transmitidas. En la actualidad se emplea en telegrafía más que ningún otro el sistema MORSE. El aparato receptor MORSE consiste en un pequeño electroimán por cuyas bobinas circula la corriente procedente de la estación transmisora produciendo una imantación que atrae una armadura muy ligera de hierro dulce normalmente separada del electroimán por la acción de un resorte. Al golpear la armadura contra el núcleo del electroimán se produce un ruido característico, y del número de golpes y de los intervalos entre ellos deduce el operador las señales que se le transmiten. La transmisión se realiza utilizando un manipulador que cierra e interrumpe a voluntad el circuito constituido por la batería, la línea, el aparato receptor y tierra. A continuación damos una tabla con las señales convencionales del sistema MORSE generalmente empleado, o *alfabeto Morse*, como suele llamarse. Los trazos indican corrientes de mayor duración que las indicadas por los puntos y corresponden en la recepción a intervalos mayores entre el golpe inicial y el final de cada señal.

ALFABETO MORSE

A	- - -	J	- - - - -	S	- - -
B	- - - -	K	- - - -	T	- - -
C	- - - - -	L	- - - -	U	- - - -
D	- - - - -	M	- - - -	V	- - - -
E	-	N	- - -	W	- - - -
F	- - - - -	O	- - - - -	X	- - - - -
G	- - - - -	P	- - - - -	Y	- - - - -
H	- - - - -	Q	- - - - -	Z	- - - - -
I	- -	R	- - -		

Para transmitir señales a grandes distancias no es suficiente la tensión ordinaria aplicada directamente, pues a causa de la resistencia grande del hilo conductor que enlaza las dos estaciones, la corriente

resulta muy poco intensa y la armadura del aparato receptor no es atraída por el electroimán. En estos casos se emplea en la estación receptora un *relais*, es decir, un electroimán excitado por la débil corriente recibida que atrae una armadura muy ligera y perfectamente equilibrada. Esta armadura oscila entre dos topes, y cuando es atraída por el electroimán y queda aplicada contra uno de los citados topes, cierra el circuito de una batería local conectada con el aparato receptor. El electroimán de recepción funciona, por consiguiente, con la corriente que le suministra la batería local, cuyo circuito se cierra únicamente cuando la corriente de transmisión excita el relais.

En telegrafía submarina las distancias son, por lo general, muy grandes y suelen emplearse como aparatos de recepción galvanómetros de espejo muy sensibles, cuyas oscilaciones hacia la derecha y

hacia la izquierda corresponden, respectivamente, a los trazos y puntos del alfabeto MORSE.

El *telégrafo dúplex* permite transmitir mensajes simultáneamente en ambos sentidos por un hilo único. Para ello se utiliza un galvanómetro cuya bobina (fig. 525) tiene dos arrollamientos dispuestos de manera que cuando la batería *B* queda conectada con el circuito haciendo descender el manipulador *K* hasta apoyarlo sobre el contacto *a*, la corriente procedente de dicha batería se subdivide y circula por los arrollamientos en opuestos sentidos. Uno de los arrollamientos de la bobina está conectado con el hilo de la línea de transmisión que se dirige a la otra estación, y el otro comunica, a través de una resistencia *R* regulable, con una placa *E* enterrada. En estas condiciones, si la resistencia total del circuito formado por el primer arrollamiento, el hilo de línea, el receptor de la otra estación y la tierra como conductor de retorno es igual a la resistencia del segundo arrollamiento más la *R*, la corriente que procede de la batería *B* se subdivide en dos

de igual intensidad que circulan por los arrollamientos de la bobina; y como son opuestos los sentidos de estas corrientes en los arrollamientos, sus efectos sobre la aguja del galvanómetro se neutralizan. La corriente de transmisión no afecta, pues, al aparato receptor. En cambio, la corriente que llega de otra estación transmisora circula solamente por uno de los arrollamientos de la bobina y crea en su interior un campo que desvía la aguja.

Se emplean también otros sistemas de telegrafía dúplex, así como procedimientos para transmitir más de dos mensajes simultáneamente por un hilo único. Renunciamos a describirlos por no disponer del espacio necesario.

537. Teléfono. El teléfono fué inventado por GRAHAM BELL. La figura 526 representa un tipo moderno de teléfono, el cual consiste en un imán permanente de forma anular, *M*, terminado en dos piezas polares de hierro dulce, *P*, alrededor de las cuales se colocan dos bobinas, *A*, formadas de un número grande de espiras de hilo muy fino

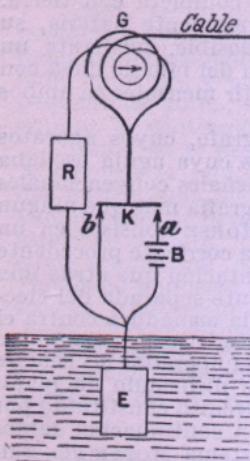


Fig. 525

aislado. Las dos bobinas se conectan en serie y los extremos libres del hilo único que las forma se unen a los bornes, c. Un diafragma, d, o disco de lámina de hierro muy delgada se sujeta por su borde de manera que quede muy próximo a los extremos de las piezas polares. El diafragma queda protegido por una boquilla, e, cuyo agujero central permite a las ondas producidas por la palabra en el aire llegar al diafragma y hacerlo vibrar.

El diafragma se imanta por inducción y su imantación reacciona sobre la de las piezas polares p con intensidad que depende de la distancia que los separa. Cuando se habla contra el aparato, las vibra-

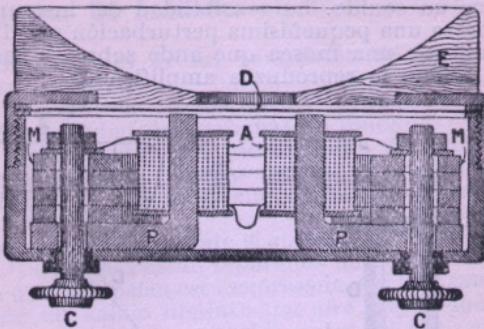


FIG. 526

ciones del aire son reproducidas por el diafragma, cuyas oscilaciones producen variaciones semejantes en la imantación de las piezas polares. El resultado de estas variaciones es la variación alternativa del número de tubos de inducción que atraviesan las bobinas A y la creación en éstas de corrientes inducidas alternas. Si los terminales c están conectados mediante hilos conductores con otro aparato igual al primero, las corrientes inducidas en éste se transmiten al segundo y producen una variación alternativa de la imantación de sus piezas polares acompañada de una oscilación del diafragma de igual período que la oscilación comunicada por la voz al diafragma del aparato transmisor. En el aire inmediato al diafragma de recepción se producirán ondas que serán una reproducción más o menos amortiguada de las ondas que chocan contra el diafragma de transmisión.

La amplitud de las oscilaciones del diafragma en el aparato descrito son excesivamente pequeñas. Según los resultados de los experimentos de BARUS, no exceden de $1/10^4$ cm. cuando el sonido emitido es ligeramente audible. Las corrientes son extraordinariamente débiles: unos $2 \cdot 10^{-4}$ amperios en la transmisión de la voz corriente.

538. Micrófono. El micrófono, aparato inventado por HUGHES, consiste esencialmente en una combinación de un teléfono y una batería eléctrica en cuyo circuito se encuentran intercalados dos conductores entre los que se ejerce una presión muy ligera y variable. Un micrófono de este sistema es el representado en la figura 527. Está formado por una pequeña varilla de carbón de retorta, d, afilada en sus dos extremos y sostenida entre dos pequeñas cavidades de las piezas c y c' del mismo material. La varilla d no queda inmóvil entre

ias dos piezas c y c', sino que simplemente descansa sobre la inferior sin que pueda caer por apoyar su extremo superior lateralmente contra la cavidad de la pieza c. Los terminales del circuito que contiene el teléfono y la batería se conectan con las piezas de carbón c y c', por medio de los hilos a y b. Cuando se produce una perturbación en la base del instrumento — los golpes de la marcha de un reloj de bolsillo, por ejemplo — la varilla d se mueve muy ligeramente y varían la presión con que apoya sobre la pieza de carbón c' y la resistencia del aparato, la cual es función de la primera. Las variaciones de la resistencia se traducen en variaciones de la intensidad de la corriente que circula por el circuito y en una vibración del diafragma del teléfono, el cual produce un sonido. La sensibilidad del instrumento es muy grande, pues basta una pequeñísima perturbación próxima, como, por ejemplo, el ruido de una mosca que ande sobre la base de madera, para que el teléfono lo reproduzca amplificado.

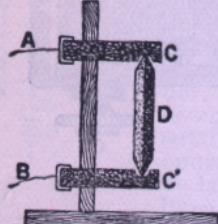


FIG. 527

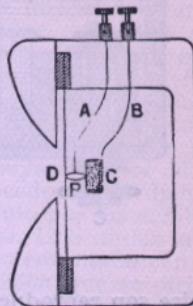


FIG. 528

El micrófono se aplica a los aparatos telefónicos emisores en substitución de las bobinas y el imán, conservándose esta disposición en los receptores. La figura 528 representa el aparato microfónico transmisor BLAKE. Consta de un diafragma, D, sujeto por su borde entre dos anillos de goma detrás de una boquilla protectora. Un trozo pequeño de alambre de platino P, unido a una lámina elástica muy flexible, A, apoya por uno de sus extremos contra el centro del diafragma y por el otro contra un bloque de carbón de retorta, C, sostenido por la lámina flexible B. Las dos láminas A y B están unidas a dos bornes con los que se conectan los hilos del circuito de transmisión que comprende la batería, el hilo de línea y el circuito del teléfono en la estación receptora. Cuando se habla contra la boquilla, el diafragma vibra y sus oscilaciones se transmiten al alambre de platino, cuya presión contra el bloque de carbón varía alternativamente, haciendo variar en sentido inverso la resistencia entre ambos. La intensidad de la corriente que circula por el aparato es asimismo variable paralelamente a la presión del alambre de platino contra el carbón, es decir, a las oscilaciones del diafragma. Las variaciones de la corriente así producidas se transmiten al aparato receptor, cuyo diafragma vibra con oscilaciones de igual periodo que las del diafragma transmisor, aunque utiliza para su movimiento la energía que le suministra una batería local y no exclusivamente la energía que procede del aparato transmisor. El aparato microfónico desempeña, por consiguiente, el papel del relais empleado en la telegrafía a larga distancia.

un trío de tubos reflejados que encuentran a los incidentes y producen con éstos un sistema de vientres y nodos, los primeros en los puntos en que se encuentren los tubos incidentes y los reflejados del mismo sentido, y los segundos donde coincidan un tubo incidente y uno reflejado inverso. Este experimento es análogo al que se realiza al determinar la velocidad del sonido en los gases por el método de KUNDT descrito en el § 317; al oscilador que produce las ondas eléctricas corresponde en el experimento acústico la varilla que vibra y hace vibrar el gas en el tubo. El puente del experimento eléctrico corresponde al extremo cerrado del tubo en el acústico; en ambos se produce un nodo: un movimiento mínimo del aire en un caso y un corrimiento eléctrico mínimo en el otro. El corrimiento eléctrico es nulo en el puente por tener los dos hilos conductores constantemente el mismo potencial en su extremo y no existir fuerza electrostática. Las ondas estacionarias producidas en la experiencia de KUNDT alcanzan su máxima intensidad si la longitud del tubo es un múltiplo exacto de la mitad de la longitud de onda de las vibraciones comunicadas por la varilla al gas. Análogamente, en el experimento eléctrico la amplitud de las ondas estacionarias es máxima cuando se coloca el puente en una posición tal que determine una longitud de los hilos paralelos que sea múltiplo exacto de la mitad de la longitud de onda de las oscilaciones eléctricas producidas por el aparato.

La posición de los nodos puede determinarse colocando un tubo de GEISSLER, l (§ 384), en contacto con los dos hilos paralelos formando un puente. Si el tubo se mueve a lo largo de los hilos, se produce en él una luminosidad intensa cuando se coloca en los puntos correspondientes a los vientres, y permanece oscuro colocado en los nodos. Por este procedimiento se determina la longitud de onda de las oscilaciones propagadas por los hilos, y, si se conoce el período de las oscilaciones primarias, puede calcularse su velocidad de propagación por los hilos. El cálculo de esta velocidad y la comparación directa de la velocidad de propagación por el aire libre y la de propagación por hilos conductores han demostrado que las ondas se propagan a través de un dieléctrico libre con la misma velocidad que por un hilo conductor. La velocidad de propagación es independiente del material de que están formados los hilos, pero depende del poder inductor específico del dieléctrico que los rodea. Este resultado es una prueba concluyente de que la energía no se transmite por los hilos conductores, sino a través del dieléctrico que los separa, como afirma la teoría de MAXWELL.

595. Telegrafía sin hilos. Una aplicación práctica de las ondas hertzianas es la telegrafía sin hilos o transmisión de señales entre lugares alejados sin necesidad de hilos metálicos que comuniquen la estación emisora con las receptoras. La iniciativa y desarrollo inicial del empleo de las ondas electromagnéticas como medio de transmitir señales a distancia se debe a MARCONI.

La figura 576 representa, esquemáticamente, en *a* uno de los aparatos transmisores empleados por MARCONI, y en *b* un aparato receptor. El primero está constituido por una bobina de inducción, *c*, a cuyo primario se conecta una batería, *B*, y un manipulador MORSE, *A*, un par de esferas, *s*, conectadas con el secundario y con un circuito formado por el condensador *K* y la bobina de pocas espiras *D*; otra bobina, *E*, próxima a la *D*, conectada por un extremo con una toma

de tierra — formada por varios cables radiales enterrados — y por el otro unida a un contacto móvil, que se puede hacer deslizar a lo largo de una bobina, G , conectada con un hilo, o una serie de hilos, F ; estos últimos se colocan elevados y constituyen la antena. Cuando el manipulador A cierra el circuito, el vibrador de la bobina se pone en movimiento, produciéndose en aquel momento una serie de chispas entre las esferas S y oscilaciones eléctricas en el circuito DK . *Las* corrientes oscilantes que atraviesan la bobina D inducen otras, también oscilantes, en la E , que se transmiten a la antena, emitiendo

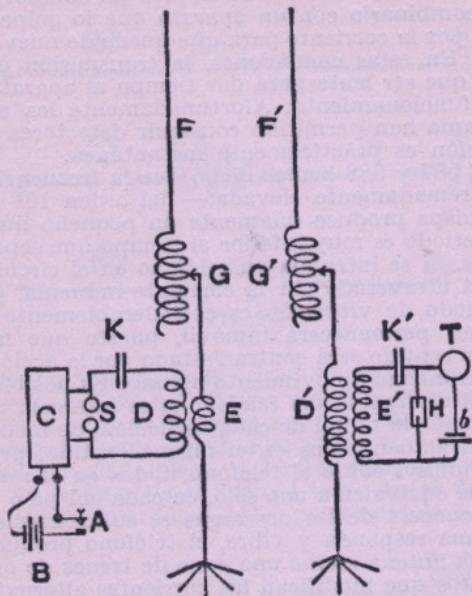


FIG. 576

estas ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio con velocidad igual a la de la luz. El contacto móvil en la bobina G se emplea para modificar el periodo de oscilación del circuito de antena, variando el coeficiente de autoinducción de la parte de bobina intercalada en él. Por este medio puede conseguirse que los períodos de oscilación del circuito de antena y del circuito DK sean iguales, condición necesaria para obtener en la antena oscilaciones de máxima energía cuyo alcance sea también máximo para una potencia dada de la estación transmisora.

El aparato receptor de MARCONI consta de los elementos siguientes: una antena, r' , en la que las ondas electromagnéticas incidentes producen oscilaciones eléctricas; una bobina, G' , variable, conectada con uno de los extremos de la antena; una segunda bobina, D' , intercalada en serie en el circuito de antena y en comunicación directa con tierra por uno de sus extremos; un circuito oscilante, $K'THE'$,

formado por una bobina, E' , próxima a la D' , un condensador, K' , un detector, H , que puede ser un cohesor (§ 591), un galvanómetro, T , y una batería, b . Cuando hay oscilaciones en la antena por efecto de las ondas recibidas, la bobina D' induce en la E' corrientes alternativas que producen oscilaciones en el circuito $E'K'H$; en estas condiciones el cohesor adquiere propiedades conductoras y es atravesado, lo mismo que el galvanómetro T , por una corriente procedente de la batería.

596. Detectores. Cuando se emplea un cohesor como detector, es necesario combinarlo con un aparato que lo golpee cada vez que es atravesado por la corriente para que quede de nuevo en disposición de funcionar. En estas condiciones, la transmisión de señales tiene forzosamente que ser lenta para dar tiempo al aparato receptor para su adecuado funcionamiento. Afortunadamente los adelantos logrados en este ramo han permitido construir detectores de varios sistemas cuya acción es prácticamente instantánea.

En los §§ 587 y 588 hemos dicho que la frecuencia de las oscilaciones es extremadamente elevada — del orden 10^6 por segundo — y que cada chispa produce solamente un pequeño número de vibraciones cuyo período es muy inferior al tiempo que separa cada chispa de la siguiente. Si se intercala un teléfono en el circuito oscilante de recepción, será atravesado por la corriente inducida, pero el diafragma, cuyo período de vibración es considerablemente superior al de las oscilaciones, permanecerá inmóvil, puesto que la acción de la corriente en un sentido será contrarrestada por la acción inversa antes de que se haya iniciado movimiento alguno. Es posible, sin embargo, hacer vibrar el diafragma del teléfono si se intercala un instrumento que anule o atenue la mitad de cada oscilación, de modo que las mitades que restan actúen todas en el mismo sentido, produciendo una sucesión de impulsos sobre el teléfono, todos en el mismo sentido, y tan rápidos que equivalen a uno solo, en cada chispa o tren de ondas; y como la frecuencia de las descargas es suficientemente baja para que el diafragma responda y vibre, el teléfono produce un zumbido cada vez que la antena recibe una serie de trenes de ondas.

Los aparatos que modifican las corrientes alternativas anulando o reduciendo las de un sentido determinado se llaman *detectores* y su efecto sobre las oscilaciones es el que se indica esquemáticamente en la figura 577. En (a) se representan las oscilaciones recibidas por la antena agrupadas en trenes de ondas amortiguadas cada uno de los cuales corresponde a una chispa del aparato transmisor; los trenes de ondas están separados por tiempos mucho mayores que el que dura cada tren. La corriente alternativa modificada por el detector es la que se representa en (b) y (c), según que el aparato anule totalmente la de un sentido (b), o que reduzca su amplitud simplemente (c). La curva (d) representa el efecto producido por la corriente modificada.

Si la descarga del condensador en el transmisor se prolonga más o menos para producir las señales cortas y largas del alfabeto MORSE, en el teléfono receptor se oyen sonidos de duraciones diferentes que corresponden exactamente con los transmitidos.

El detector más sencillo es el construido con un cristal de galena, carbono, etc., colocado en un soporte metálico y en contacto con una punta metálica. El cristal en estas condiciones da paso a la corriente en un sentido más fácilmente que en el opuesto. El circuito

oscilante con detector de cristal se monta del modo indicado en el esquema de la figura 578; d es el detector. Aun cuando los circuitos con detector de esta clase funcionan sin batería, puede ser conveniente su empleo con determinados cristales cuya sensibilidad aumenta si se someten a una diferencia de potencial constante.

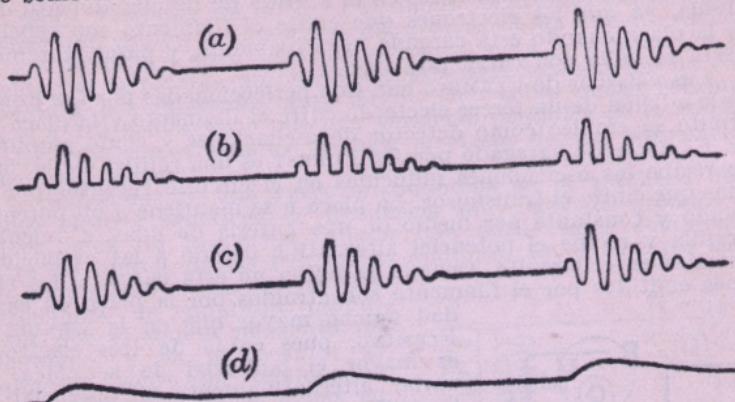


FIG. 577

597. Válvulas termoiónicas. Los detectores más perfectos son las válvulas termoiónicas inventadas por FLEMING en su forma más sencilla. Consisten estas válvulas en una ampolla de vidrio semejante a las de las lámparas para alumbrado, P (fig. 579), con un filamento, Q , y un electrodo, llamado placa, R , formado por una lámina metálica; en el interior de la ampolla se hizo el vacío antes de cerrarla. Si se mantiene incandescente el filamento Q por medio de la corriente suministrada por la batería local b , la válvula actúa como rectificador, y cuando R está cargado positivamente, pasa una corriente de R a Q (más exacto sería decir que pasa una corriente negativa en el sentido $Q \rightarrow R$); en cambio si R está cargado negativamente no pasa corriente en sentido inverso, o es ésta muy pequeña. Así una descarga en el transmisor produce una corriente de una sola dirección en QRE' en lugar de un corto tren de oscilaciones. Hemos indicado oportunamente (§ 569) que algunos metales calentados hasta la incandescencia emiten electrones (o partículas cargadas negativamente) en cantidad

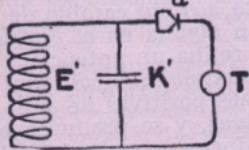


FIG. 578

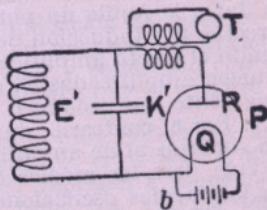


FIG. 579

nistrada por la batería local b , la válvula actúa como rectificador, y cuando R está cargado positivamente, pasa una corriente de R a Q (más exacto sería decir que pasa una corriente negativa en el sentido $Q \rightarrow R$); en cambio si R está cargado negativamente no pasa corriente en sentido inverso, o es ésta muy pequeña. Así una descarga en el transmisor produce una corriente de una sola dirección en QRE' en lugar de un corto tren de oscilaciones. Hemos indicado oportunamente (§ 569) que algunos metales calentados hasta la incandescencia emiten electrones (o partículas cargadas negativamente) en cantidad

que depende de la temperatura del metal y del grado de vacío. Cuando el electrodo R de la lámpara se carga positivamente, los electrones emitidos por el filamento Q son atraídos por el primero y circula una corriente por el circuito en que la válvula está intercalada. Si se producen oscilaciones de potencial en el circuito receptor, circulan por él corrientes intermitentes en el sentido de funcionamiento de la válvula, ya que los electrones que emite el filamento son repelidos por la placa cuando está cargada negativamente, y pasan libremente si ésta se halla con carga positiva.

Las válvulas de FLEMING han sido perfeccionadas por DE FOREST con la adición de un tercer electrodo entre el filamento y la placa que permite su empleo como detector de oscilaciones y como amplificador. El electrodo agregado por DE FOREST es una rejilla, v (fig. 580), que recibe las oscilaciones inducidas en el circuito receptor por las ondas que emite el transmisor. La placa R se mantiene a un potencial elevado y constante por medio de una batería de pilas, c, mientras la rejilla v recibe el potencial alternativo debido a las oscilaciones inducidas en el circuito. Cuando la rejilla no está cargada, los electrones emitidos por el filamento son atraídos por la placa en cantidad mucho mayor que en la válvula de FLEMING, pues en la de tres electrodo:

es mayor el potencial de la placa. Al variar alternativamente el potencial de la rejilla respecto del filamento, la corriente placa-filamento resulta aumentada durante los semiperíodos positivos del potencial de v, por la atracción de ésta sobre los electrones, y disminuida durante sus semiperíodos negativos a causa de su acción de repulsión sobre los electrones.

De este modo, las pequeñas variaciones

de potencial en el circuito E'v originan otras variaciones mucho mayores en el rqt. Puede modificarse la magnitud del poder amplificador de la válvula intercalando una pequeña batería en el circuito E'v para dar a la rejilla un potencial constante que se sume al variable que recibe por inducción de las oscilaciones del circuito de antena. Pero cuando el efecto amplificador es máximo, las oscilaciones en E'v se reproducen amplificadas en el circuito rqt sin cambio de forma y, por consiguiente, no producen vibración alguna en el diafragma del teléfono T. Por el contrario, dando a la rejilla un potencial constante inferior o superior al de amplificación máxima, el efecto amplificador de la válvula para las medias oscilaciones positivas de v no es igual que para las medias oscilaciones negativas, y se producen en el circuito rqt oscilaciones asimétricas, de forma semejante a la representada en la figura 577 (c), cuyo efecto sobre el diafragma es igual al que produciría una corriente intermitente de la intensidad media [fig. 577 (d)] de cada tren de oscilaciones. Un condensador adecuado que se coloca en el circuito de rejilla, intensifica los efectos de las oscilaciones sobre el teléfono.

Empleando diferentes potenciales de rejilla, puede combinarse una válvula que funcione como detector con otra que amplifique las oscilaciones ya rectificadas. En este montaje la corriente placa-filamento de la válvula detectora no pasa directamente por el teléfono, sino que circula por el primario de un transformador cuyo secundario hace las veces de la bobina E' en el circuito de la segunda válvula. Las

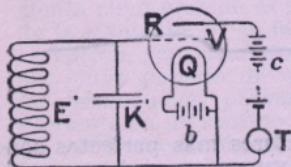


FIG. 580

variaciones de potencial del secundario producen, de este modo, variaciones amplificadas en el circuito del teléfono. La amplificación puede aumentarse agregando nuevas lámparas, empleándose hasta seis.

598. Telefonía sin hilos. Las ondas electromagnéticas amortiguadas que emiten las descargas disruptivas de un circuito oscilante no son adecuadas para telefonía sin hilos, pues la modulación producida por la palabra no puede impresionarse sobre trenes de ondas separados por intervalos muy largos, sino sobre ondas continuas. En el § 319 hemos visto que una variación periódica de la amplitud de las vibraciones sonoras produce el efecto de una vibración de frecuencia menor.

Análogamente, una variación periódica en la amplitud de las ondas electromagnéticas de frecuencia muy elevada produce una nueva onda de frecuencia inferior que puede estar comprendida entre los límites de las frecuencias audibles. En el aparato emisor se comunican a las ondas las variaciones de amplitud producidas por el sonido mediante un micrófono, y en el receptor se reproduce sobre un teléfono el sonido que deformó las ondas en su origen.

Empleando una disposición especial puede conseguirse una rápida sucesión de chispas que producen una onda relativamente aproximada a una onda continua. Otro procedimiento mejor de producir ondas continuas es el empleo de un alternador de frecuencia muy elevada, es decir, una dinamo cuya corriente no se rectifica por falta de conmutador (§ 529).

El método de POULSEN es una aplicación del arco cantante de DUDDELL: Se mantiene la descarga en un arco alimentado por un generador, shuntado con un condensador y conectado con una autoinducción convenientemente regulados para que el circuito oscile sin interrupción.

Los procedimientos indicados son muy inferiores al procedimiento más moderno, cuyo fundamento es la oscilación de una válvula de tres electrodos. La figura 581 representa esquemáticamente un aparato emisor de telefonía sin hilos con válvula termoiónica. L_1 y L_2 representan dos bobinas que actúan por autoinducción y por inducción mutua. En los mejores dispositivos el potencial de la rejilla v es nulo. Cuando se cierra el manipulador k , el potencial de la placa, R , y la corriente placa-filamento no alcanzan su valor máximo a causa del efecto retardador de la autoinducción L_2 , pero la inducción mutua entre L_1 y L_2 hace que el potencial de v se eleve momentáneamente sobre cero, contribuyendo así al establecimiento de la corriente $R \rightarrow Q$, la cual llega a alcanzar una intensidad más grande que la que alcanzaría si la rejilla se mantuviera a potencial cero. La porción de corriente interceptada por v y el alcanzar su valor máximo la corriente en L_2 , reduce el potencial de v , y la corriente en L_1 a cero, y, durante la reducción, el efecto de inducción mutua de L_1 sobre L_2 , y el descenso

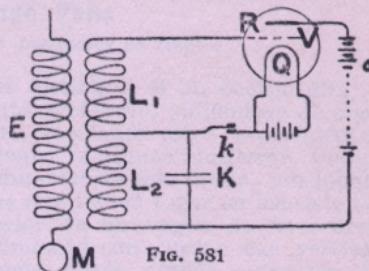


FIG. 581

del potencial de la rejilla hacen disminuir la corriente en RL_2 y el potencial de R . Estos efectos combinados dan como resultado la variación alterna de la corriente RL_2 entre valores más grandes que los que alcanzaría de no existir efectos de inducción en el circuito, y las oscilaciones se mantienen a expensas de la energía suministrada por las baterías, siempre que los coeficientes de autoinducción y el de inducción mutua de las bobinas L_1 y L_2 tengan valores adecuados. Las bobinas L_1 y L_2 inducen en la E oscilaciones continuas que se transmiten a la antena. Si se hace vibrar el micrófono M intercalado entre la bobina E y tierra hablando sobre él, su resistencia varía con las vibraciones del diafragma y modifica la amplitud de la corriente alterna del circuito de antena y la de las ondas electromagnéticas emitidas por la antena. Estas ondas moduladas son recibidas por los aparatos receptores, en los que se reproduce el sonido que produjo su modulación en la estación emisora.